

Física

Novo

Fundamental

VOLUME ÚNICO

JOSÉ ROBERTO BONJORNO

Bacharel e licenciado em Física pela Pontifícia
Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP)
Professor de Matemática e Física

REGINA AZENHA BONJORNO

Bacharel e licenciada em Física pela Pontifícia
Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP)
Professora de Matemática e Física

VALTER BONJORNO

Engenheiro naval pela Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo (USP-SP)

CLINTON MÁRCICO RAMOS

Bacharel e licenciado em Física pela
Universidade Mackenzie (SP)
Professor de Física



Todos os direitos reservados à EDITORA FTD
Matriz: Rua Rui Barbosa, 156 (Bela Vista) São Paulo - SP
CEP 01326-010 - Tel. (0XX11) 253 5011 - Fax (0XX11) 284-8500 r. 296
Caixa Postal 55149 - CEP da Caixa Postal 01390-970
Internet: <http://www.ftd.com.br>
E-mail: exatas@ftd.com.br

Editora

Júnia La Scala

Editora assistente

Fabiano A. L. Wolff

Zuleide Maria Vilca da Motta

Coordenação de revisão

Maria Ângela Pontual

Revisão

Fausto Alves Barreira Filho

Solange Martins

Iconografia

Coordenação: Sônia Oddi

Pesquisa: Sara Aquino Piaçá

Assistente: Maria Rosa Alexandre

Edição de arte

Maria Paula Santo Siqueira

Glaiz Alonso Arruda

Projeto gráfico

Maria Paula Santo Siqueira

Capa

Christof Gunkel sobre fotos de Corel Stock Photo e Mick Hutson/Intercontinental

Ilustrações

Aberturas: Francis Rodrigues, Saulo Garroux

Mais: Setup Bureau Editoração Eletrônica

Diagramação

Nelson Matsuda, Silvia Y. Arashiro

Editoração eletrônica

Setup Bureau Editoração Eletrônica

Digitação

Carmem Lúcia Germann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Física fundamental - Novo : volume único, 2º grau /
Regina Azenha Bonjorno ... [et al.]. — São
Paulo : FTD, 1999.
Outros autores: José Roberto Bonjorno, Vâlter
Bonjorno, Clinton Marcio Ramos.
Edição não-consumível.
Suplementado pelo livro do professor.
1. Física (Ensino médio) I. Bonjorno, Regina
Azenha. II. Bonjorno, José Roberto, 1946-
III. Bonjorno, Vâlter, 1944- IV. Ramos, Clinton
Marcio, 1943-

99-4192

CDD-530.07

Índices para catálogo sistemático:

1. Física : Ensino médio 530.07

ISBN - 85-322-4371-1 - ALUNO E MESTRE

APRESENTAÇÃO

F

ísica Fundamental — Novo foi totalmente reformulado, ganhando um projeto gráfico que o valorizou em todos os aspectos, e destina-se aos alunos do ensino médio (2º grau).

Procuramos atender ao rigor científico exigido no tratamento da Física sem, no entanto, torná-la inacessível.

Cada exposição teórica é seguida de problemas de aplicação, que complementam e ajudam no entendimento do texto e permitem ao aluno perceber como os conceitos de Física podem ser observados no dia-a-dia.

Também foram incluídos problemas propostos nos mais recentes vestibulares do país, para avaliar o conhecimento do aluno.

No final do volume foram contemplados testes de vestibulares de todo o país, permitindo que o aluno vá se preparando para o vestibular.

Nossa intenção foi apresentar um livro útil tanto para professores como para alunos.

Esperamos ter conseguido esse objetivo!

Os autores

ÍNDICE

1^a Série

UNIDADE I INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 1

A FÍSICA COMO CIÊNCIA EXPERIMENTAL

Evolução da Física	10
Importância da Física	14
Lei física	15
Método da Física	16
Sistema Internacional de Unidades	17
Unidades não-pertencentes ao Sistema Internacional	19
Potência de dez	20
Ramos da Física	22
Divisões da Mecânica	22

UNIDADE II CINEMÁTICA ESCALAR

CAPÍTULO 2

DEFINIÇÕES E CONCEITOS

O que é a Cinemática?	24
Ponto material e corpo extenso	24
Reposo, movimento e referencial	25
Trajetória	26
Posição escalar	26
Deslocamento e caminho percorrido	28
Velocidade escalar média	29
Velocidade escalar instantânea	33

CAPÍTULO 3

MOVIMENTO UNIFORME

O que é movimento uniforme?	36
Função horária	37
Ultrapassagem	43
O que é o som?	45
Interpretação de gráficos do movimento uniforme	47
Uma propriedade do gráfico $v = f(t)$	52

CAPÍTULO 4

MOVIMENTO UNIFORMEMENTE VARIADO

Aceleração escalar média	55
Aceleração escalar instantânea	56
• Movimento acelerado	56
• Movimento retardado	56
O que é movimento uniformemente variado?	58

Velocidade em função do tempo [$v = f(t)$]	59
Cálculo do espaço percorrido usando o gráfico $v = f(t)$	63
Posição em função do tempo [$s = f(t)$]	65
Aceleração em função do tempo [$a = f(t)$]	66
Encontro de dois corpos e ultrapassagem	68
Fórmula de Torricelli	69
Interpretação de gráficos do movimento uniformemente variado	71
• Posição em função do tempo [$s = f(t)$]	71
• Aceleração em função do tempo [$a = f(t)$]	74
Queda dos corpos	75
• Lançamento vertical para cima	76
• Lançamento vertical para baixo	77

UNIDADE III CINEMÁTICA VETORIAL

CAPÍTULO 5

COMPOSIÇÃO DE MOVIMENTOS

Vetor	84
Vetores iguais e vetores opostos	85
Adição de dois vetores	86
Adição de vetores de mesma direção	88
Vetor diferença	89
Componentes retangulares de um vetor	91
Vetor posição	93
Velocidade vetorial média	93
Velocidade vetorial instantânea	94
Movimento resultante	96
Lançamento oblíquo	99
Lançamento horizontal	102

CAPÍTULO 6

MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME

Velocidade angular média	105
Velocidade angular instantânea	105
O que é movimento circular uniforme (MCU)	106
Freqüência e período	106
Relações matemáticas no MCU	107
Aceleração centrípeta	109
Função horária angular	111
Acoplamento de polias	114
• Acoplamento por correia	114
• Acoplamento com mesmo eixo	114

UNIDADE IV DINÂMICA**CAPÍTULO 7
FORÇA E MOVIMENTO**

■ Teoria, seus criadores, sua prática	118
■ Força	119
■ Força resultante	120
■ Equilíbrio	122
• Equilíbrio estático	122
• Equilíbrio dinâmico	123
■ Princípio da inércia ou 1 ^a Lei de Newton	123
■ Massa de um corpo	124
■ Princípio fundamental da dinâmica ou 2 ^a Lei de Newton	125
■ Peso de um corpo	128
■ Medida de uma força	129
■ Lei de Hooke	131
■ Princípio da ação e reação ou 3 ^a Lei de Newton	134
■ Aplicações das Leis de Newton	139
■ Plano inclinado	146
■ Força de atrito	148
■ Influência da resistência do ar	151
■ Força centrípeta	158

**CAPÍTULO 8
GRAVITAÇÃO UNIVERSAL**

■ Introdução	163
■ Leis de Kepler	164
■ Lei da gravitação universal	166
■ Aceleração da gravidade	169
■ Satélite estacionário	171

**CAPÍTULO 9
ENERGIA**

■ O que é energia	173
■ Trabalho de uma força	174
■ Trabalho da força peso	178
■ Potência	181
■ Rendimento	184
■ Energia cinética	186
■ Teorema da energia cinética	189
■ Energia potencial gravitacional	191
■ Energia potencial elástica	194
■ Energia mecânica	196
■ Princípio da conservação da energia	197
■ Princípio da conservação da energia mecânica	198

CAPÍTULO 10**IMPULSO E QUANTIDADE DE MOVIMENTO**

■ Impulso de uma força	205
------------------------------	-----

■ Quantidade de movimento	206
■ Teorema do impulso	208
■ Sistema isolado de forças externas	211
■ Princípio da conservação da quantidade de movimento	211

UNIDADE V ESTÁTICA**CAPÍTULO 11****EQUILÍBRIOS DE UM CORPO**

■ Teoria, seus criadores, sua prática	216
■ Princípio de transmissibilidade das forças	217
■ Centro de gravidade	217
■ Condição de equilíbrio de um ponto material	219
■ Momento de uma força	223
■ Momento resultante	227
■ Equilíbrio estático de um corpo extenso	229
■ Máquinas simples	231
• Talha exponencial	231
• Alavanca	233
■ Condição de equilíbrio de uma alavanca	236

UNIDADE VI HIDROSTÁTICA**CAPÍTULO 12****PRESSÃO**

■ Teoria, seus criadores, sua prática	242
■ Fluido	242
■ Densidade de um corpo	243
■ O que é pressão?	244
■ Pressão de uma coluna de líquido	247
■ Pressão atmosférica	250
■ Cálculo da pressão atmosférica	250
■ Teorema de Stevin	253
■ Princípio de Pascal	257
■ Prensa hidráulica	258

CAPÍTULO 13**EMPUXO**

■ O que é empuxo?	261
■ Teorema de Arquimedes	261
■ Equilíbrio de corpos imersos e flutuantes	262

UNIDADE VII TERMÓLOGIA**CAPÍTULO 14****TERMOMETRIA**

■ Teoria, seus criadores, sua prática	266
■ Conceitos de temperatura e calor	267
■ Medida de temperatura	268
■ Escalas termométricas	269

CAPÍTULO 15 DILATAÇÃO TÉRMICA

■ Introdução	273
■ Dilatação linear	273
■ Dilatação superficial	276
■ Dilatação volumétrica	278
■ Dilatação dos líquidos	279

CAPÍTULO 16 CALORIMETRIA

■ Introdução	282
■ O que é o calor	283
■ Unidades de quantidade de calor	284
■ Calor sensível e calor latente	284
■ Calor específico	285
■ Capacidade térmica de um corpo	285
■ Fórmula fundamental da calorimetria	286
■ Princípio da igualdade das trocas de calor ...	290
■ Fases da matéria	293
■ Influência da temperatura no estado físico ...	293
■ Mudanças de fase	293
■ Tipos de vaporização	294
• Evaporação	294
• Ebulação	294
■ Calor latente	295
■ Curvas de aquecimento e de resfriamento ...	298
■ Transmissão de calor	302
• Condução	302
• Convecção	303
• Irradiação	304

CAPÍTULO 17 ESTUDO DOS GASES

■ Introdução	309
■ Leis das transformações dos gases	309
• Lei de Boyle-Mariotte	309
• Lei de Gay-Lussac	310
• Lei de Charles	311
■ Equação geral dos gases perfeitos	312

CAPÍTULO 18 TERMODINÂMICA

■ Introdução	317
■ Energia interna	317
■ Trabalho em um sistema	317
■ Primeiro princípio da termodinâmica	320
■ Balanço energético	321
■ Transformação cíclica	323
■ Segundo princípio da termodinâmica	327
■ Ciclo de Carnot	328

UNIDADE VIII ÓPTICA GEOMÉTRICA

CAPÍTULO 19 PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS

■ Teoria, seus criadores, sua prática	334
■ A divisão da óptica	335
■ Corpo luminoso e iluminado	335
■ Transparência, translucidez e opacidade	336
■ Velocidade da luz	337
■ Princípios da óptica geométrica	338
■ Câmara escura	342

CAPÍTULO 20 REFLEXÃO DA LUZ

■ Difusão e reflexão regular da luz	344
• Difusão da luz	344
• Reflexão regular	345
■ Espelho	345
■ Leis da reflexão	346
■ Formação de imagens	347
■ Associação de dois espelhos planos	350
■ A cor de um corpo	352
■ Espelhos esféricos	354
• Definição	354
• Condições de nitidez de Gauss	355
• Raios particulares	356
• Construção geométrica das imagens	357
■ Estudo analítico dos espelhos esféricos	359
• Convenção de sinais (referencial de Gauss)	359
• Equação de Gauss e equação do aumento linear transversal	360

CAPÍTULO 21 REFRAÇÃO DA LUZ

■ Definição	363
■ Índice de refração absoluto	363
■ Índice de refração relativo	364
■ Leis da refração	365
■ Conclusões a partir da lei de Snell-Descartes	366
■ Dioptrômetro	369
■ Lâmina de faces paralelas	372
■ Prisma óptico	374
■ Fenômenos que ocorrem por refração ou reflexão	377
• Altura aparente dos astros	377
• Miragem	378
• Arco-íris	378

■ Lentes esféricas	380
• Introdução	380
• Elementos geométricos	380
• Nomenclatura	381
• Focos de uma lente	383
• Raios particulares	383
• Construção de imagens	384
■ Estudo analítico das lentes esféricas	387
• Convênio de sinais (referencial de Gauss)	387
• Equações das lentes esféricas	388

UNIDADE IX ONDULATÓRIA

CAPÍTULO 22

ONDAS

■ Teoria, seus criadores, sua prática	394
■ Introdução	395
■ Classificação	396
• Quanto à natureza	396
• Quanto à direção de propagação	396
• Quanto à direção de vibração	397
■ Velocidade de propagação de uma onda unidimensional	397
■ Ondas periódicas	399
■ Reflexão de um pulso numa corda	401
■ Refração de um pulso numa corda	402
■ Princípio da superposição	404
■ Ondas estacionárias	405
■ Leis da reflexão	408
• Leis da reflexão	408
• Propriedades	408
■ Leis da refração	408
• Leis da refração	409
• Propriedades	409

CAPÍTULO 23

ACÚSTICA

■ Produção do som	411
■ Transmissão do som	412
■ Qualidades do som	413
■ Fenômenos sonoros	416
• 1 ^a propriedade: reflexão	416
• 2 ^a propriedade: refração	417
• 3 ^a propriedade: difração	417
• 4 ^a propriedade: interferência	417
• 5 ^a propriedade: ressonância	417
■ Efeito Doppler	420

UNIDADE X ELETROSTÁTICA

CAPÍTULO 24

PRIMEIROS CONCEITOS

■ Teoria, seus criadores, sua prática	424
■ Carga elétrica	426
■ Estrutura da matéria	427
■ Princípios da eletrostática	429
■ Isolantes e condutores	430
■ Eletrização por atrito	431
■ Eletrização por contato	431
■ Eletrização por indução	434
■ Eletroscópio	435
• Pêndulo eletrostático	435
• Eletroscópio de folhas	436

CAPÍTULO 25

FORÇA ELÉTRICA

■ Lei de Coulomb	438
■ Representação gráfica da lei de Coulomb	439

CAPÍTULO 26

CAMPO ELÉTRICO

■ O que é o campo elétrico	441
■ Vetor campo elétrico	442
■ Linhas de força do campo elétrico	443
■ Campo elétrico de uma carga puntiforme fixa	444
■ Campo elétrico de várias cargas puntiformes fixas	447
■ Campo elétrico uniforme	449

CAPÍTULO 27

TRABALHO E POTENCIAL ELÉTRICO

■ Trabalho da força elétrica	451
■ Expressão do trabalho da força elétrica	451
■ Energia potencial elétrica	452
■ Potencial elétrico	453
■ Potencial de várias cargas	456
■ Diferença de potencial	456
■ Variação de potencial ao longo de uma linha de força	458
■ Diferença de potencial num campo elétrico uniforme	459
■ Superfície equipotencial	461

CAPÍTULO 28

CONDUTORES EM EQUILÍBRIO ELETROSTÁTICO E CAPACITÂNCIA

■ Distribuição de cargas elétricas num condutor em equilíbrio	464
---	-----

■ Blindagem eletrostática	464	■ Associação de resistores	511
■ Densidade elétrica superficial	465	• Associação em série	512
■ Poder das pontas	465	• Associação em paralelo	515
■ Campo e potencial de um condutor esférico	467	• Associação mista	519
• Ponto externo à esfera	467	■ Utilização dos dispositivos de segurança e controle	523
• Ponto infinitamente próximo à esfera	467	■ Ponte de Wheatstone	528
• Ponto da superfície da esfera	467		
• Ponto interno	468		
■ Capacidade de um condutor	470		
■ Energia potencial elétrica armazenada por um condutor eletrizado	471		
■ Contato entre condutores eletrizados	472		
CAPÍTULO 29			
CAPACITORES			
■ Introdução	474		
■ Definição	475		
■ Energia armazenada por um capacitor	476		
■ Capacitor plano	477		
■ Associação de capacitores	479		

UNIDADE **XI** ELETRODINÂMICA

CAPÍTULO 30	
CORRENTE ELÉTRICA	
■ O que é a corrente elétrica	486
■ Sentido da corrente elétrica	486
■ Natureza da corrente elétrica	487
■ Intensidade da corrente elétrica	488
■ Tipos de corrente elétrica	488
■ Efeitos da corrente elétrica	491
• Efeito térmico ou efeito Joule	491
• Efeito luminoso	492
• Efeito magnético	492
• Efeito químico	492
• Efeito fisiológico	492
■ Elementos de um circuito elétrico	493
CAPÍTULO 31	
ESTUDO DOS RESISTORES	
■ Resistência elétrica	498
■ Leis de Ohm	499
• 1 ^a Lei de Ohm	499
• 2 ^a Lei de Ohm	501
■ Potência elétrica dissipada	504
■ Reostatos	508
■ Curto-circuito	509
■ Lâmpada de incandescência	509

■ Associação de resistores	511
• Associação em série	512
• Associação em paralelo	515
• Associação mista	519
■ Utilização dos dispositivos de segurança e controle	523
■ Ponte de Wheatstone	528

CAPÍTULO 32

ESTUDO DOS GERADORES

■ Gerador	532
■ Balanço energético	534
■ Rendimento do gerador	535
■ Corrente de curto-círcuito	535
■ Lei de Pouillet	537
■ Associação de geradores	540
• Associação em série	540
• Associação em paralelo	541

CAPÍTULO 33

ESTUDO DOS RECEPTORES

■ O que é um receptor	545
■ Balanço energético	547
■ Lei de Ohm generalizada	550
■ Leis de Kirchhoff	553
• 1 ^a lei: lei dos nós	553
• 2 ^a lei: lei das malhas	554

UNIDADE **XII** ELETROMAGNETISMO

CAPÍTULO 34

CAMPO MAGNÉTICO

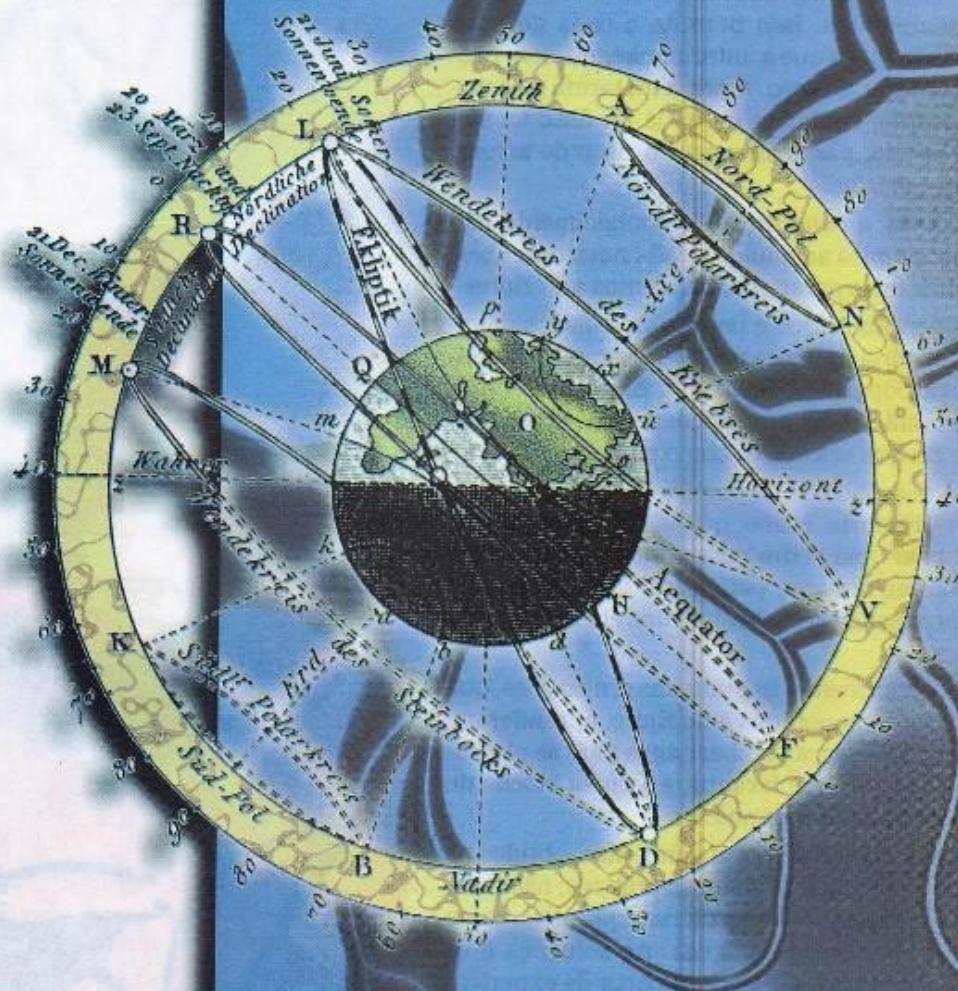
■ Introdução	560
■ Inseparabilidade dos pólos	561
■ Substâncias magnéticas e não-magnéticas	562
■ Campo magnético	563
■ Indução magnética	563
■ Campo magnético criado por corrente elétrica num fio retilíneo	564
■ Campo magnético criado por uma espira circular	569
■ Campo magnético criado por um solenóide	573

CAPÍTULO 35

FORÇA MAGNÉTICA

■ Força magnética sobre cargas elétricas	576
• Casos particulares	577
■ Força magnética sobre um condutor retilíneo	582

UNIDADE I



Introdução

CAPÍTULO 1

A FÍSICA COMO CIÊNCIA EXPERIMENTAL

Evolução da Física

O homem tem grande capacidade de acumular conhecimentos. Isso permite a cada geração partir do ponto em que a anterior chegou, sem precisar recomeçar do zero. A primeira tarefa do estudioso é, então, conhecer o que já foi feito na sua área de estudo, para não correr o risco de arrombar portas abertas.

Todavia, a construção do conhecimento não se faz por simples acúmulo. A cada nova descoberta devemos incorporar conhecimentos anteriores.

O espírito crítico é um dos postulados da ciência. A história da Física nos oferece muitos exemplos disso: Copérnico, Galileu ou Einstein se notabilizaram tanto pelas proposições novas como pela negação do que era aceito como verdade.

As descobertas no campo da Física remontam à Pré-História. Assim, quando o homem teve a idéia de usar uma pedra para abrir o crânio de um animal ou fez um arco para atirar uma flecha, ele estava incorporando conhecimentos elementares de Mecânica.

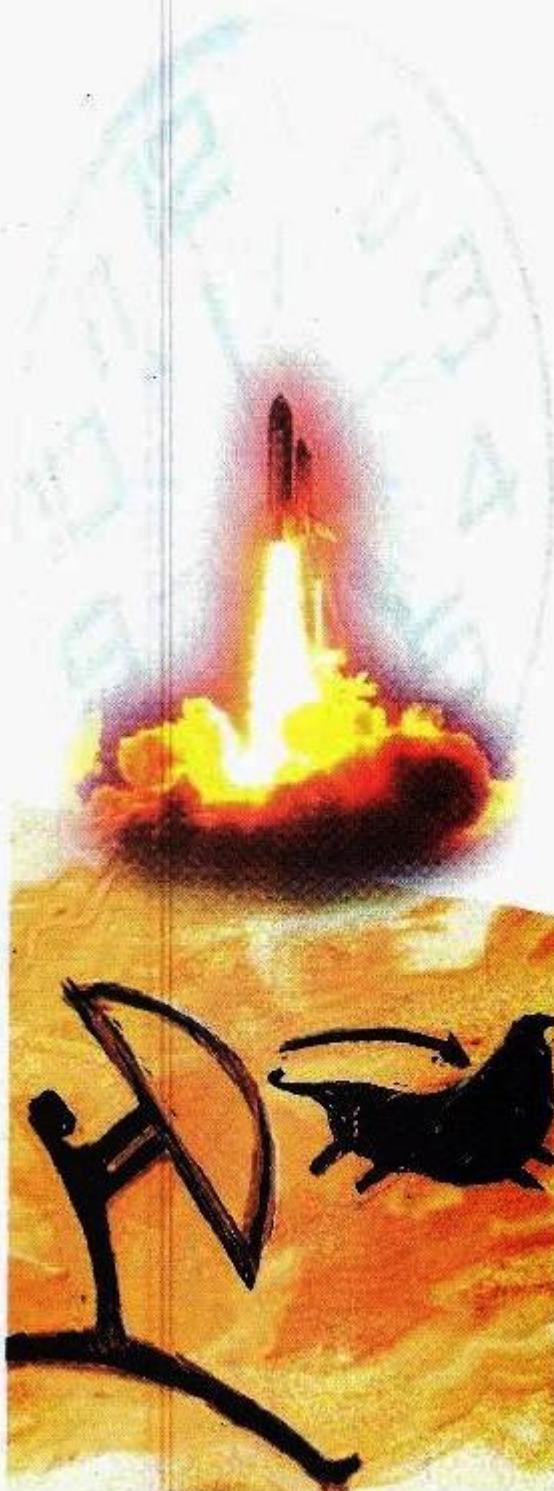
Posteriormente, as primeiras civilizações, que surgiram na Mesopotâmia e no Egito, aprenderam, entre outras coisas, a bombear água para as plantações, a transportar e levantar enormes blocos de pedras, a construir monumentos.

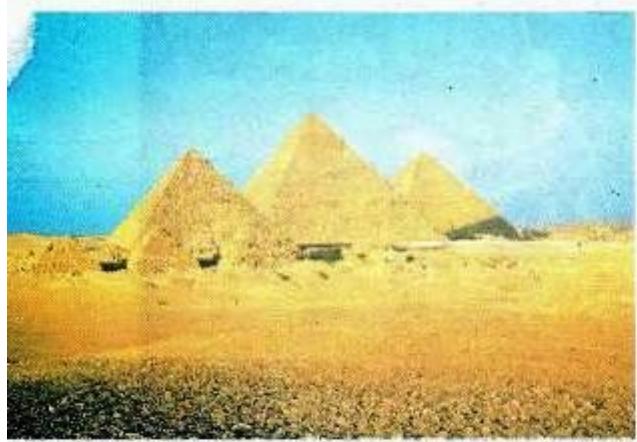
Esses numerosos conhecimentos, obtidos na tentativa de resolver problemas práticos, não estavam sistematizados em uma teoria explicativa, como é próprio da ciência moderna. As soluções e os inventos surgiram lentamente a partir da experiência empírica, misturados à religião.

Com os gregos nasceu a Filosofia, ou seja, uma tentativa de explicar o mundo por meio da razão.

Os gregos não foram um povo nem mais nem menos iluminado do que os outros, mas herdeiros de um longo processo de desenvolvimento cultural que ocorreu nas regiões próximas do Mediterrâneo.

Ao procurar a razão de ser das coisas, os gregos formularam princípios explicativos do movimen-





Danil Stock Photo

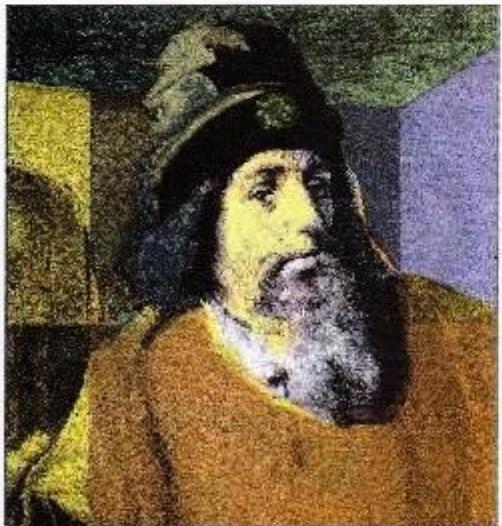
to, da constituição da matéria, do peso, do comportamento da água etc. Porém eles valorizaram demasiadamente as idéias e muito pouco a experimentação. Além disso, quase não se preocupavam com a aplicação prática dos conhecimentos, pois o trabalho braçal era realizado por escravos.

A decadência do Mundo Antigo e o advento da Idade Média representaram um enorme retrocesso para a ciência.

Uma sociedade basicamente rural, dominada pela religião, com o uso muito restrito da escrita e de livros, poucas possibilidades oferecia ao desenvolvimento científico.

O renascimento do comércio e da vida urbana, no final da Idade Média, criou um ambiente próprio para renovação cultural que lançou as bases da ciência moderna. Foi nesse universo urbano em formação que viveu, no século XVI, o personagem símbolo dessa ciência: Galileu Galilei.

Galileu Galilei ousou contestar as verdades de Aristóteles, que haviam sido reforçadas pela combinação da Filosofia com o cristianismo. A Igreja Católica contribuía, com sua autoridade, para dificultar a contestação do pensamento de Aristóteles.



Olavo Testório a partir de Jacto de Cane, Século XV

ARISTÓTELES (384-322 a.C.)

Filósofo, educador e cientista grego, foi um dos maiores e mais influentes pensadores da cultura ocidental. Como cientista é conhecido pelo realismo e pelo senso de observação: para ele a ciência é a busca de causas universais que dão uma explicação comum a um grupo de fenômenos.

Aristóteles cometeu erros monumentais no campo da Física e Galileu os corrigiu. Com base na experimentação, verificou que Aristóteles estava errado ao afirmar, por exemplo, que quanto mais pesado fosse um objeto, mais rápida seria a sua queda. Desse modo, Galileu introduziu um procedimento fundamental para o cientista: a necessidade de testar, com experiências concretas, as formulações teóricas. Além disso, o genial italiano mostrou, com sua prática, que o cientista precisa criar situações favoráveis de observação, eliminando fatores que interfiram na análise do fenômeno a ser estudado ou a prejudiquem.

GALILEU GALILEI (1564-1642)

Astrônomo e físico italiano, é considerado o fundador da ciência experimental moderna. Descobriu as leis da queda dos corpos e a lei que rege o movimento do pêndulo. Enunciou o princípio da composição dos movimentos. Aperfeiçoou instrumentos, como o relógio e o telescópio. Suas conclusões eram baseadas mais em observações e nos resultados dos experimentos do que na lógica dedutiva.

Atualmente, há consenso entre os cientistas de que a maioria dos experimentos só pode ser feita mediante situações artificialmente montadas.

Outro momento importante na constituição do conhecimento ligado à Física ocorreu no século XVII, com Isaac Newton. Ele realizou a primeira grande síntese da história da Física, por meio da formulação de leis gerais, possibilitando investigações novas em diversos campos.

Newton criou, ainda, um sistema matemático para resolver problemas de Física que antes não tinham soluções.

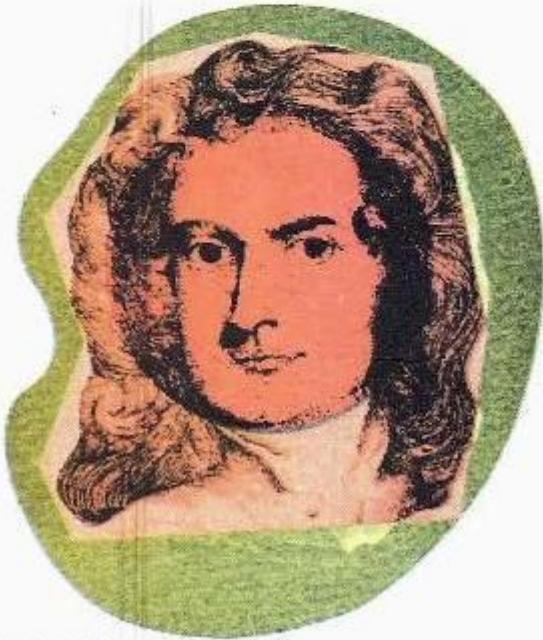
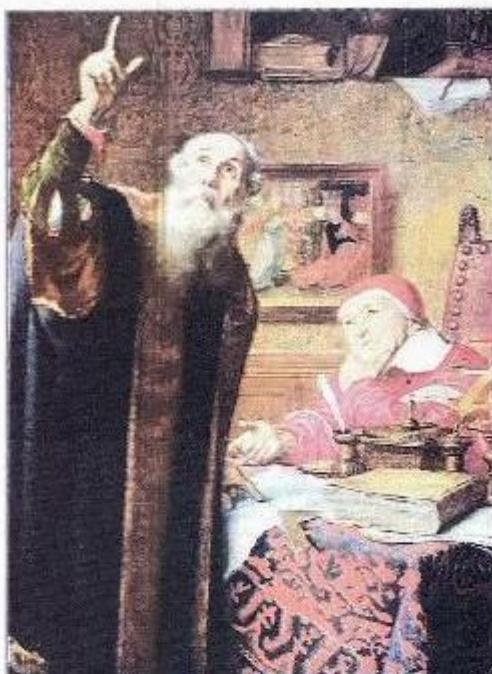
ISAAC NEWTON (1642-1727)

Físico e matemático inglês, tornou-se uma das maiores figuras da ciência em todos os tempos. Em Física, formulou os três princípios da Mecânica, conhecidos como leis de Newton, e a teoria da gravitação universal. Em Matemática, criou o cálculo infinitesimal.

Em 1666 fez as suas descobertas mais importantes. Interrogado, sobre como as conseguia, respondeu: "Para descobrir todos os fenômenos que deseja, basta ao sábio três coisas: pensar, pensar, pensar".

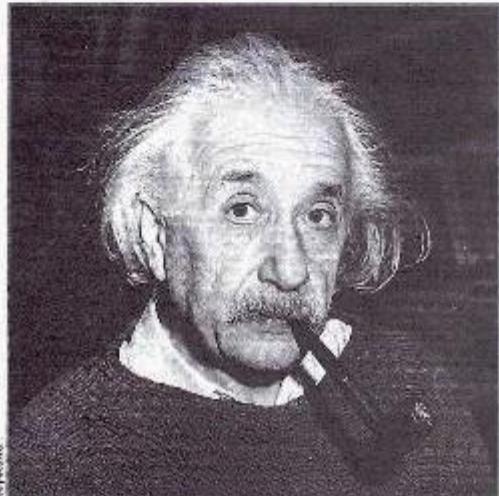
A partir dos fundamentos lançados por Newton ocorreram importantes inovações científicas e técnicas. No decorrer dos séculos XVIII e XIX, o progresso material oriundo dessas inovações foi notável.

O final do século XIX foi uma fase de excessivo otimismo. Muitos estudiosos julgavam conhecidos os princípios e as leis fundamentais do funcionamento do universo.



Olavo Tendré a partir de Newton Resende

A teoria da relatividade, publicada por Einstein em 1905, provocou uma verdadeira revolução no campo científico. As mais arraigadas certezas, baseadas nas leis mecânicas de Newton, tiveram que ser revistas.



Kodak

ALBERT EINSTEIN (1879-1955)

Físico alemão, criou a teoria da relatividade, que completou a Mecânica clássica onde esta era insuficiente. Em 1921, recebeu o Prêmio Nobel de Física pela formulação da lei do efeito fotoelétrico. Sua famosa equação $E = mc^2$ (a energia é igual ao produto da massa pelo quadrado da velocidade da luz) tornou-se a pedra fundamental do desenvolvimento da energia atômica.

De lá para cá, os avanços no campo da Física foram enormes. A obtenção de energia a partir da desintegração atômica, os satélites e as viagens espaciais são alguns importantes exemplos de progresso recente.



Prudential

Muitos outros cientistas estão ligados à evolução do conhecimento humano acerca do mundo físico. Essa evolução não é resultado da ação individual de alguns homens notáveis, mas fruto de uma obra coletiva. São as condições históricas de uma determinada sociedade que favorecem ou não a ampliação do saber. Alguns países produzem um grande número de conhecimentos, enquanto a maior parte das nações não consegue sequer assimilá-los.

Não é uma simples coincidência o fato de os países que conseguiram todo esse progresso científico e técnico serem os mesmos que, no passado, realizaram a Revolução Industrial.

Quanta diferença entre os equipamentos ultra-sofisticados — telescópios gigantescos, aceleradores de partículas, supercomputadores — usados atualmente e os instrumentos rudimentares construídos por Galileu!

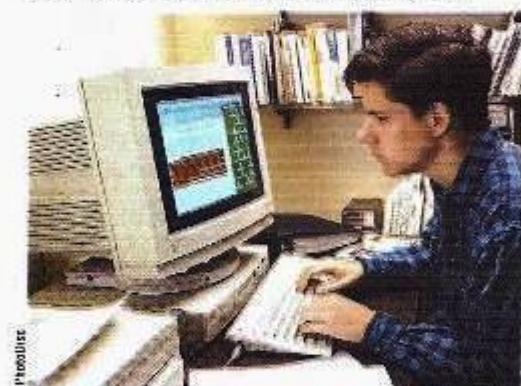
Ao iniciar aqui os seus estudos de Física, você provavelmente compreenderá uma das lições mais importantes da ciência: a de que a aparência é muito enganadora. Desconfiemos, pois, da obviedade.

IMPORTÂNCIA DA FÍSICA

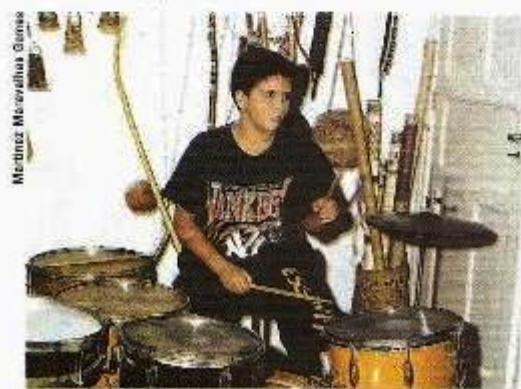
Uma das ciências mais antigas, a Física é responsável por grande parte do desenvolvimento científico alcançado pela humanidade.

Ela tem aplicações em praticamente todos os campos da atividade humana: na Medicina, nos transportes, nos esportes, nas comunicações, na indústria etc. Com a ajuda da Física, podemos utilizar algumas formas de energia e fazê-las trabalhar para nós:

Energia elétrica: enceradeira, geladeira, computador, ferro elétrico etc.



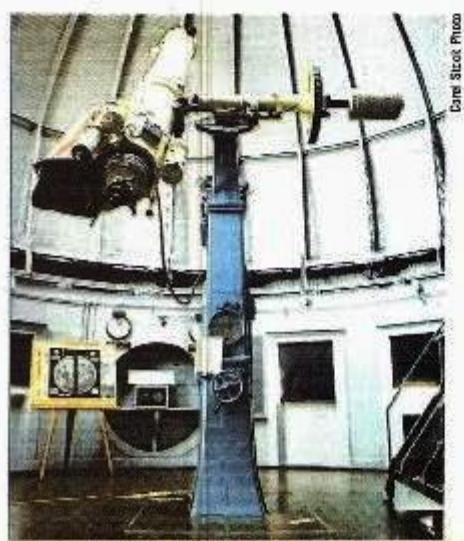
Energia sonora: rádio, disco, telefone, ultra-som, instrumentos musicais etc.



Energia mecânica: pontes, naves espaciais, rodovias, prédios etc.

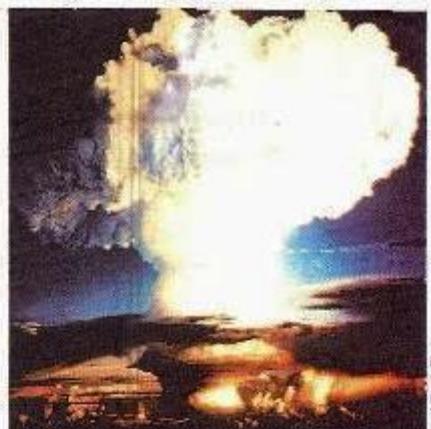


Energia luminosa: máquina fotográfica, telescópio, raio laser, análise de materiais etc.





Energia calorífica: máquina a vapor, câmaras frigoríficas, motores de automóvel etc.



Energia nuclear: energia elétrica, bomba atômica etc.

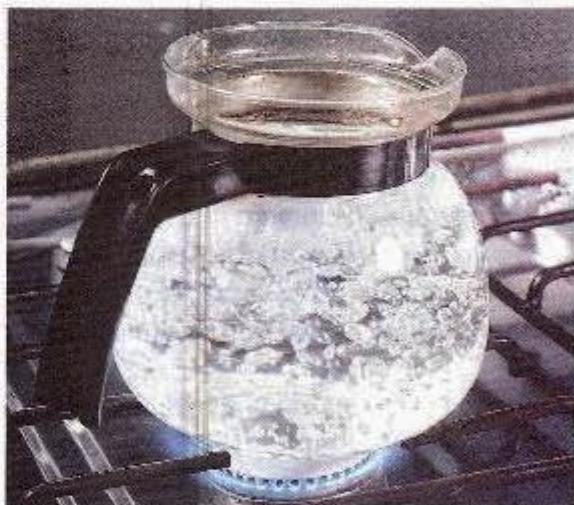
LEI FÍSICA

A palavra fenômeno vem do grego *phainómenon*, cujo significado é “aquilo que parece”. Etimologicamente, podemos dizer então que fenômenos são aquelas coisas que se nos apresentam.

É comum considerarmos como fenômeno algo misterioso, como um arco-íris, um furacão, uma tempestade etc. Em nosso curso, consideraremos como fenômeno toda e qualquer manifestação no tempo e no espaço, como, por exemplo, o movimento de um carro, o tiro de um canhão, o aquecimento da água etc.



Os fenômenos não se produzem ao acaso: entre eles existe uma interdependência. Tais relações de interdependência constituem as leis.



Série Dados Infra-Verde

Para estudar os fenômenos, a ciência procura, inicialmente, estabelecer uma relação quantitativa entre eles — as leis *quantitativas*.

Veja alguns exemplos:

- ✓ o calor dilata o ferro;
- ✓ a pressão diminui o volume dos gases;
- ✓ o atrito produz calor.

O conhecimento dessas leis não é suficiente; um estudo mais profundo sugere *medidas quantitativas*. Veja:

- ✓ de quanto se dilata a barra de ferro entre duas temperaturas?
- ✓ de quanto diminui o volume do gás quando a pressão duplica?
- ✓ quantas calorias são produzidas por um carro ao brecar e parar?

Quando é possível medir aquilo de que se está falando e exprimir essa medida por números, estabelecemos uma *lei física*.

Lei física é a relação matemática entre as grandezas que participam de um mesmo fenômeno.

A relação matemática $\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0}$, por exemplo, é uma lei física que relaciona o volume do gás com a temperatura Kelvin numa transformação isobárica (lei de Gay-Lussac).

MÉTODO DA FÍSICA

Na pesquisa de um fenômeno e das leis que o regem, deve-se obedecer a uma ordem progressiva, que constitui o método da ciência. Nesse sentido, a Física utiliza-se de dois processos: a *observação* e a *experimentação*.

A observação consiste no exame atento de um fenômeno e na pesquisa das circunstâncias que o envolvem.

Nesse caso, podemos utilizar os nossos sentidos ou instrumentos que aumentem o seu alcance (microscópio, luneta, telescópio, satélite, balança, amperímetro etc.).

Já a experimentação consiste em produzir o fenômeno artificialmente, em condições ideais para a observação.

Nesse caso, fazemos variar as circunstâncias que rodeiam o fenômeno para verificar quais dessas circunstâncias influem nele. Consideremos, por exemplo, o movimento oscilatório de um pêndulo e algumas circunstâncias que o rodeiam:

Podemos questionar:

- ✓ a massa do pêndulo influiu no tempo de oscilação?
- ✓ o comprimento do fio influiu no período?
- ✓ a temperatura e a pressão modificam o fenômeno?
- ✓ o local onde é realizada a experiência influiu no tempo de oscilação?

Quando os fatores que intervêm direta ou indiretamente numa lei física podem ser avaliados quantitativamente, isto é, podem ser medidos, passam a constituir uma *grandeza física*, classificada em escalar ou vetorial.

As grandezas escalares são caracterizadas por um número real, positivo ou negativo, acompanhado de uma unidade de medida.

Exemplos:

- 1) massa (A massa de um corpo é de 3 kg.)
- 2) volume (O volume de um cubo é de 20 cm³.)

As grandezas vetoriais são caracterizadas por um número real denominado *módulo* ou *intensidade*, acompanhado de uma unidade de medida, uma direção e um sentido.

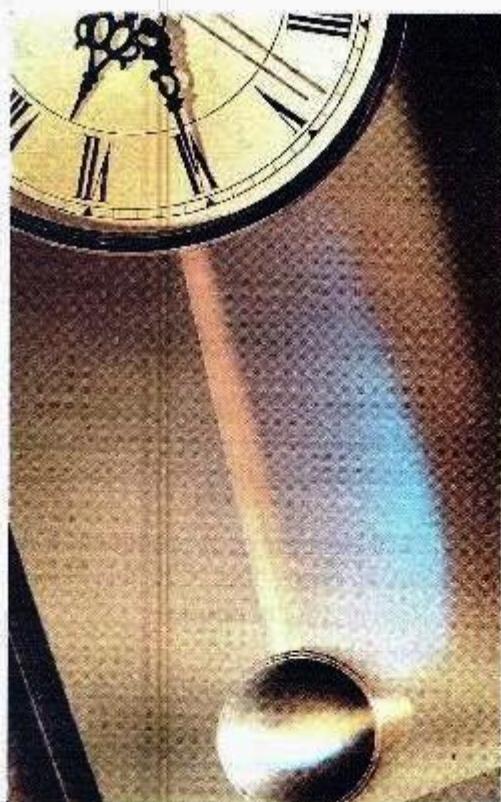
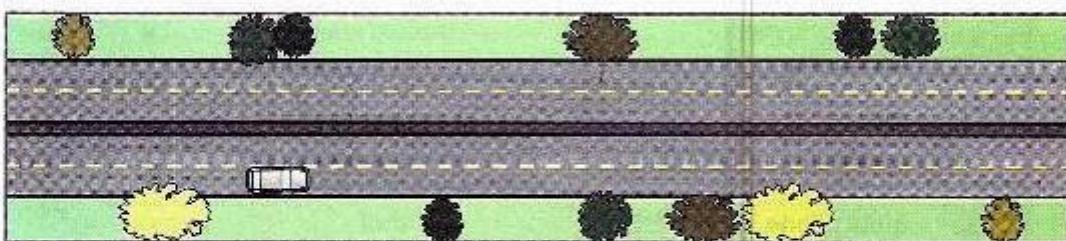


Foto: R. M. Karpman

Como exemplo, considere um carro se movimentando numa estrada retilínea, com velocidade de 20 km/h.

Para que a grandeza física *velocidade* fique caracterizada, precisamos conhecer seu módulo, sua direção e seu sentido.



Neste exemplo, temos:

✓ *módulo*: 20 ✓ *direção*: horizontal ✓ *sentido*: da esquerda para a direita

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

Nem sempre as unidades de medida usadas para medir o comprimento ou a massa de um corpo foram as mesmas em todo o mundo. Até meados do século XX eram usadas diferentes unidades de medida ou padrão.

Observe, nos quadros, alguns desses padrões e os países em que eram utilizados.

Unidades de comprimento

	NOME DA UNIDADE	VALOR APROXIMADO EM METROS (m)
Inglaterra e Estados Unidos	jarda polegadas	0,914 0,025
China	tsun jin	0,06 58,8
Rússia	versta	0,66

Unidades de massa

	NOME DA UNIDADE	VALOR APROXIMADO EM QUILOGRAMAS (kg)
Inglaterra e Estados Unidos	libra onça	0,45 0,028
China	pecul	71
Egito	rotolo	0,69

Como cada país fixava seu próprio padrão, as relações comerciais e as trocas de informações científicas entre os países se tornavam muito difíceis.

Para resolver os problemas oriundos desse fato, foram criados padrões internacionais. Surgiu, assim, o *Sistema Internacional de Unidades* (SI).

O SI estabelece sete unidades de base, cada uma delas correspondente a uma grandeza.

GRANDEZA	UNIDADE	SÍMBOLO
comprimento	metro	m
massa	quilograma	kg
tempo	segundo	s
intensidade de corrente elétrica	ampère	A
temperatura termodinâmica	kelvin	K
quantidade de matéria	mol	mol
intensidade luminosa	candela	cd

O SI é também denominado MKS, onde as letras *M*, *K* e *S* correspondem às iniciais de três unidades do SI:

	COMPRIMENTO	MASSA	TEMPO
MKS	m	kg	s

Existem ainda dois outros sistemas, o CGS e o MKgfS:

	COMPRIMENTO	MASSA	TEMPO
CGS	cm	g	s
MKgfS	m	u.t.m. ^(*)	s

* u.t.m. = unidade técnica de massa

O correto é usarmos apenas as unidades do SI, mas é comum o emprego, em algumas situações, das unidades dos sistemas CGS e MKgfS.

Observações importantes:

- 1º) Quando escritas por extenso, as iniciais das unidades devem ser sempre minúsculas, mesmo que sejam nomes de pessoas. Exemplo: metro, newton, quilômetro, pascal etc.
- 2º) A unidade de temperatura da escala Celsius, o *grau Celsius*, é a única exceção à regra. Neste caso, utilizamos a letra maiúscula.
- 3º) Os símbolos representativos das unidades também são letras minúsculas. Entretanto, serão maiúsculas quando estiverem se referindo a nomes de pessoas.

Exemplos:

UNIDADE	ampère	newton	pascal	metro
SÍMBOLO	A	N	Pa	m

- 4º) Os símbolos não se flexionam quando escritos no plural. Assim, para indicarmos 10 newtons, por exemplo, usamos 10 N e não 10 Ns.
- 5º) As unidades de base, combinadas, formam outras unidades, denominadas *unidades derivadas*, que serão estudadas no decorrer do nosso curso.

UNIDADES NÃO-PERTENCENTES AO SISTEMA INTERNACIONAL

Algumas unidades do SI são empregadas conjuntamente com outras que não fazem parte do SI, já estando amplamente difundidas. Veja no quadro a seguir:

GRANDEZA	NOME	SÍMBOLO	VALOR EM UNIDADE DO SI
comprimento	quilômetro	km	$1 \text{ km} = 1\ 000 \text{ m}$
	decímetro	dm	$1 \text{ dm} = 0,1 \text{ m}$
	centímetro	cm	$1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$
	milímetro	mm	$1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$
tempo	minuto	min	$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$
	hora	h	$1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3\ 600 \text{ s}$
	dia	d	$1 \text{ d} = 24 \text{ h} = 86\ 400 \text{ s}$
ângulo plano	grau	°	$1^\circ = \left(\frac{\pi}{180}\right) \text{ rad}$
	minuto	'	$\left(\frac{1}{60}\right)^\circ = \left(\frac{\pi}{10\ 800}\right) \text{ rad}$
	segundo	"	$\left(\frac{1}{60}\right)' = \left(\frac{\pi}{648\ 800}\right) \text{ rad}$
volume	litro	ℓ	$1 \ell = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$
massa	tonelada	t	$1 \text{ t} = 1\ 000 \text{ kg}$
	grama	g	$1 \text{ g} = 0,001 \text{ kg}$

QUESTÕES

Q1 Dé os seguintes valores em unidades do SI:

- a) 7 km $7\ 000 \text{ m}$
- b) 5 min 300 s
- c) 8 h $28\ 800 \text{ s}$
- d) 580 cm $5,80 \text{ m}$
- e) 15 000 mm 15 m
- f) 85 cm $0,85 \text{ m}$
- g) 600 g $0,6 \text{ kg}$
- h) 4 t $4\ 000 \text{ kg}$
- i) 3 200 g $3,2 \text{ kg}$

Q2 Escreva os seguintes valores em unidades do SI:

- a) 2 km^2 $2\ 000\ 000 \text{ m}^2$
- b) $0,08 \text{ km}^2$ $80\ 000 \text{ m}^2$
- c) $9\ 000 \text{ cm}^2$ $0,9 \text{ m}^2$
- d) $12\ 000 \text{ mm}^2$ $0,012 \text{ m}^2$
- e) 150 dm^2 $1,5 \text{ m}^2$
- f) 10 cm^2 $0,001 \text{ m}^2$

Q3 Transforme em unidades do SI:

- a) $1\ 000 \text{ cm}^3$ $0,001 \text{ m}^3$
- b) 500ℓ $0,5 \text{ m}^3$
- c) 60 dm^3 $0,06 \text{ m}^3$
- d) 10ℓ $0,01 \text{ m}^3$
- e) 36 km/h 10 m/s
- f) $1\ 200 \text{ cm/min}$ $0,2 \text{ m/s}$

Q4 Um fenômeno foi observado desde o instante 2h 30min até o instante 7h 45min. Quanto tempo durou esse fenômeno? $5\text{h }15\text{min}$

Q5 (Fuvest-SP) Um livro possui 200 folhas, que totalizam uma espessura de 2 cm. A massa de cada folha é de 1,2 g e a massa de cada capa do livro é de 10 g.

- a) Qual a massa do livro? 260 g
- b) Qual a espessura de uma folha? $0,01 \text{ cm}$

Q6 Num campo de futebol não-oficial, as travessas verticais do gol distam entre si 8,15 m. Considerando que 1 jarda vale 3 pés e que 1 pé mede 30,48 cm, qual a largura, em jardas, que mais se aproxima desse gol? $8,9$ jardas

Q7 A fórmula matemática a seguir mostra a relação que existe entre o volume V , em m^3 , de uma pessoa e sua massa m , em kg.

$$V = \frac{m}{1\ 000}$$

Limite de validade: $2,5 \text{ kg} < m < 130 \text{ kg}$

- a) Utilizando uma fórmula, calcule o seu volume.
- b) Quantas pessoas iguais a você caberiam em 1 m^3 ? **respostas pessoais**

Q8 Consideremos as seguintes medidas:

5,8 m; 9 s; 4 km/h; 12 cm² e 6 ℥.

a) Qual o nome das unidades em que estão expressas?

b) Qual o nome da grandeza a que essas unidades se referem? *respostas no final do livro*

Q9 Das palavras a seguir, indique as que são grandezas físicas: velocidade, força, bondade,

calor, caráter, temperatura, potência, volume, curiosidade, coragem. *velocidade, força, calor, temperatura, potência e volume*

Q10 Qual o diâmetro, em centímetros, de um cano de 8 polegadas de diâmetro? *20 cm*

Q11 De quantos quilômetros é o mar territorial do Brasil, sabendo que ele é equivalente a 200 milhas marítimas?

(Dado: 1 milha marítima = 1 852 m) *370,4 km*

POTÊNCIA DE DEZ

Na prática, escrevemos o valor de uma grandeza como um número compreendido entre 1 e 10, multiplicado pela potência de 10 conveniente.

Quando um número é representado nesta forma, dizemos que está em *notação científica*.

1º caso: o número é muito maior que 1.

$$\frac{136\,000}{5 \text{ casas}} = 1,36 \cdot 10^5$$

Exemplos:

1) $2\,000\,000 = 2 \cdot 10^6$

2) $33\,000\,000\,000 = 3,3 \cdot 10^{10}$

3) $547\,800\,000 = 5,478 \cdot 10^8$

O expoente do dez indica o número de vezes que devemos deslocar a vírgula para a direita.

2º caso: o número é muito menor que 1.

$$\frac{0,000000412}{7 \text{ casas}} = 4,12 \cdot 10^{-7}$$

Exemplos:

1) $0,0034 = 3,4 \cdot 10^{-3}$

2) $0,0000008 = 8 \cdot 10^{-7}$

3) $0,000000000517 = 5,17 \cdot 10^{-11}$

O expoente negativo do dez indica o número de vezes que devemos deslocar a vírgula para a esquerda.

Veja, no quadro abaixo, algumas grandezas físicas expressas em notação científica:

- velocidade da luz no vácuo = $3 \cdot 10^8$ m/s
- massa de um próton = $1,6 \cdot 10^{-24}$ g
- raio do átomo de hidrogênio = $5 \cdot 10^{-11}$ cm
- número de Avogadro = $6,02 \cdot 10^{23}$

Para evitar que se tenha que expressar grandezas muito pequenas ou muito grandes com o uso de números zeros, o SI contém prefixos que permitem a formação de múltiplos e submúltiplos decimais das unidades do SI.

PREFÍXO	SÍMBOLO	FATOR PELO QUAL A UNIDADE É MULTIPLICADA
tera	T	10^{12}
giga	G	10^9
mega	M	10^6
quilo	k	10^3
hecto	h	10^2
deca	da	10^1
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
mili	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}

Exemplo:

A distância do Sol até Plutão é de 6 Tm (seis terametros), ou seja, $6 \cdot 10^{12}$ m.

QUESTÕES

- Q12** Escreva os seguintes números em notação científica:

 - $3\,400\,000$
 - $700\,000$
 - $12\,000$
 - $5\,000\,000\,000$
 - $2\,000$
 - 150
 - $0,001$
 - $0,000054$
 - $0,0006$
$$\text{a) } 3,4 \cdot 10^6 \quad \text{d) } 1,5 \cdot 10^2$$

$$\text{b) } 7 \cdot 10^6 \quad \text{g) } 1 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{c) } 1,2 \cdot 10^4 \quad \text{h) } 5,4 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{d) } 5 \cdot 10^9 \quad \text{i) } 6 \cdot 10^{-4}$$

- Q13** Expresse em notação científica:

 - o volume da Terra $1,07 \cdot 10^{21} \text{ m}^3$
 $(1\,070\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ m}^3)$
 - o volume do Sol $1,4 \cdot 10^{37} \text{ m}^3$
 $(1\,400\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ m}^3)$
 - o volume da Lua $2,2 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$
 $(22\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ m}^3)$

- Q14** Expresse em unidades do SI os seguintes valores:

 - 1 ns (1 nanosegundo) 0,000000001 s
 - 1 mg (1 miligrama) 0,001 g
 - 1 dm (1 decímetro) 0,1 m
 - 1 μm (1 micrômetro) 0,000001 m

- Q15** Escreva em unidade do SI:

- a) 1 MW (1 megawatt) $1 \cdot 10^6$ W
 b) 1,2 GW (1,2 gigawatt) $1,2 \cdot 10^9$ W
 c) 5 Ts (5 terassegundo) $5 \cdot 10^{12}$ s

- Q16** Numa campanha nacional de vacinação, $1,0 \cdot 10^7$ crianças foram atendidas e receberam duas gotas de vacina cada uma. Supondo serem necessárias 20 gotas para preencher $1,0 \text{ cm}^3$, qual é, em litros, o volume de vacina usado nessa campanha? 1 000

- Q17** Represente os números a seguir em notação científica:

- a) idade do universo:

- $$500\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ s} = 5 \cdot 10^{12} \text{ s}$$

- b) massa de um elefante

- c) massa de uma partícula de poeira:

- 0,000000007 kg $7 \cdot 10^{-10}$ kg

RAMOS DA FÍSICA

- * Para fins didáticos, dividimos a Física nas seguintes partes:
- ✓ *Mecânica*: estuda o movimento e as condições em que ele se realiza.
- ✓ *Termologia*: estuda o calor e suas aplicações.
- ✓ *Acústica*: estuda a teoria do som.
- ✓ *Óptica*: estuda a luz.
- ✓ *Eletrologia*: trata da eletricidade e de suas aplicações.
- ✓ *Física Moderna*: estuda a estrutura do átomo, a radioatividade, a teoria da relatividade etc.

Também podemos dividir a Física em *Clássica* (antes de 1900) e *Moderna* (após 1900).

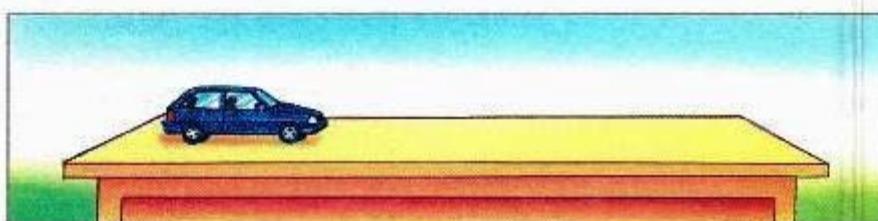
DIVISÕES DA MECÂNICA

A Mecânica pode ser dividida em três partes:

- ✓ *Cinemática*: estuda o movimento dos corpos sem considerar suas causas.
- ✓ *Estática*: estuda os corpos sólidos ou os fluidos em equilíbrio.
- ✓ *Dinâmica*: estuda o movimento dos corpos, considerando suas causas.

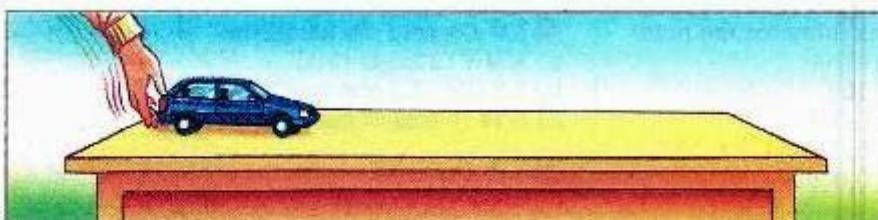
Observe, no exemplo a seguir, essas três partes.

Considere um carrinho de brinquedo, inicialmente parado, sobre uma mesa.

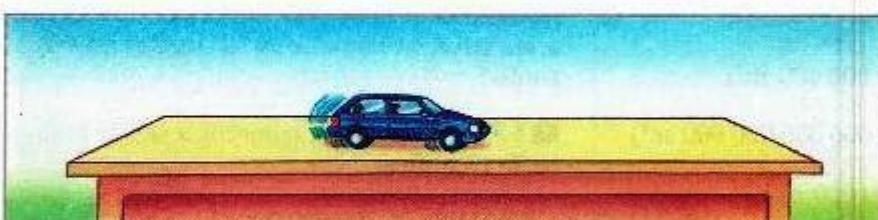


A parte da Física que estuda em que condições o carrinho fica em repouso é a *Estática*.

O carrinho é empurrado até que entre em movimento.



A parte da Física que estuda o movimento do carrinho sem levar em consideração a sua causa (empurrão) é a *Cinemática*.

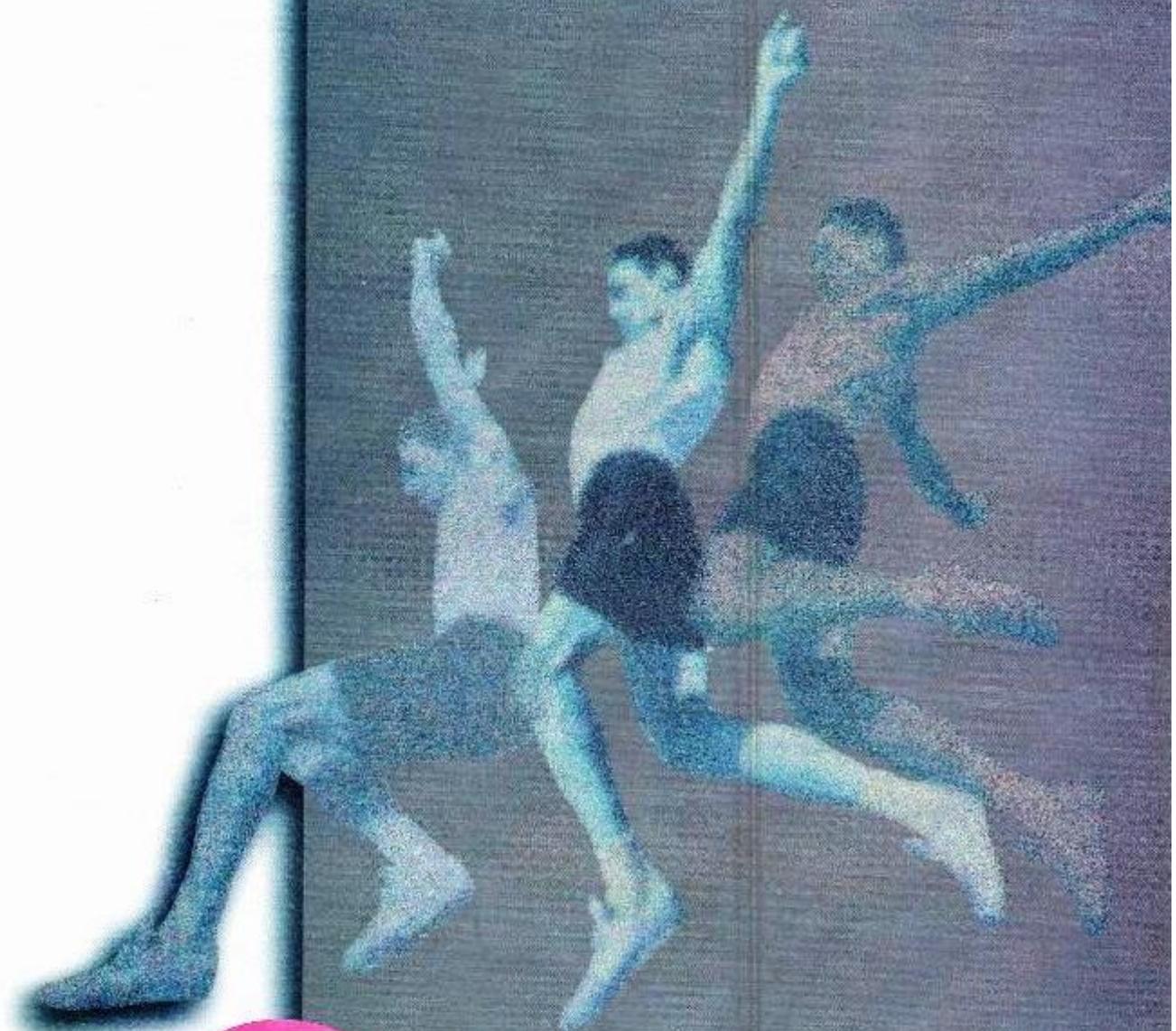


A parte da Física que estuda o movimento levando em consideração a sua causa é a *Dinâmica*.

PESQUISE

O que é mecânica quântica?

UNIDADE III



Cinemática
escalar

CAPÍTULO 2

DEFINIÇÕES E CONCEITOS

O QUE É A CINEMÁTICA

A *Cinemática* estuda o movimento dos corpos, independentemente das causas desse movimento. Seu objetivo é descrever apenas *como* se movem os corpos. A *Dinâmica* preocupa-se com as *causas* do movimento.

No campo da Cinemática, por exemplo, vamos estudar a velocidade de um carro, sua aceleração e localização, após um certo tempo de movimento. *

No campo de Dinâmica, por sua vez, vamos conhecer por que o carro se move de determinada maneira, ou seja, as causas desse movimento.



PONTO MATERIAL E CORPO EXTENSO

Consideremos um navio fazendo uma viagem do Rio de Janeiro até a Itália.

Como as dimensões do navio (comprimento, largura e altura) são muito pequenas, quando comparadas com a distância do Rio de Janeiro até a Itália, ele pode ter suas dimensões desprezadas. Neste caso, dizemos que o navio é um *ponto material*, uma *partícula* ou um *móvel*.



Ponto material é todo corpo cujas dimensões não interferem no estudo de um determinado fenômeno.

Observamos que o ponto material tem massa; o que é desprezível é o seu tamanho.

Suponhamos, agora, o mesmo navio entrando num porto.

Neste caso, suas dimensões não podem ser desprezadas, quando comparadas com a largura e o comprimento do porto; então o navio é denominado um *corpo extenso*.

Corpo extenso é todo corpo cujas dimensões interferem no estudo de um determinado fenômeno.



Geraldo Pinto

REPOUSO, MOVIMENTO E REFERENCIAL

Consideremos uma pessoa *A* dentro de um carro que se move para a direita, e uma outra pessoa *B* em pé, no acostamento.



Tomando a pessoa *B* como referência, verificamos que a distância entre ela e *A* varia com o tempo.

Neste caso, dizemos que *A* está em movimento em relação a *B*.

Supondo, agora, que *B* esteja junto com *A* no carro, e tomando novamente *B* como referência, verificamos que a distância entre elas não varia com o tempo.

Neste caso, dizemos que *A* está em repouso em relação a *B*.

O corpo *B*, que tomamos como referência nos dois exemplos, é denominado *referencial*.

O referencial é indispensável para determinar a posição de um objeto e também necessário para verificar se um objeto se movimenta ou está em repouso.

Observe que os conceitos de repouso e movimento são relativos, isto é, dependem do referencial adotado.

TRAJETÓRIA

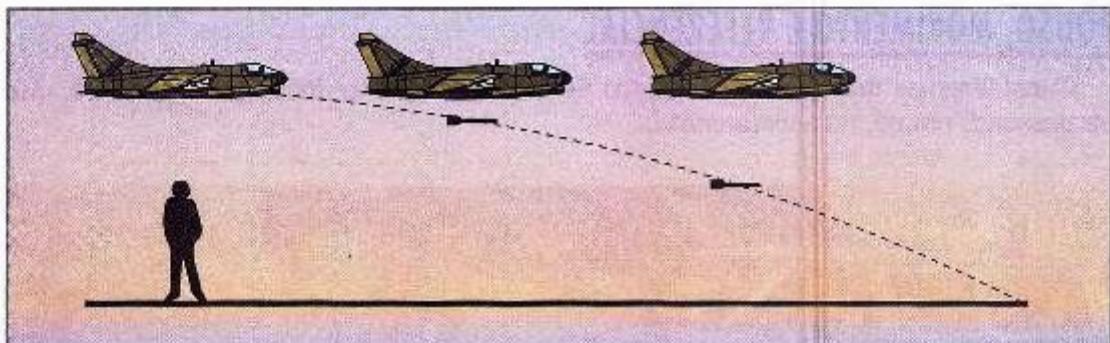
A foto ao lado mostra esquiadores em movimento.

A marca que o esquiador deixa na neve representa o caminho percorrido por ele em relação a uma pessoa parada no solo. Essa marca é denominada *trajetória*.

Trajetória é a linha determinada pelas diversas posições que um corpo ocupa no decorrer do tempo.



A trajetória depende do referencial adotado. Suponha, por exemplo, um avião voando com velocidade constante. Se num certo instante ele abandonar uma bomba, ela cairá segundo uma *trajetória vertical* em relação às pessoas do avião. Porém, para um observador parado no solo, vendo de lado o avião, a trajetória da bomba será *parabólica*.



De acordo com a trajetória, os movimentos recebem os seguintes nomes:

- ✓ *movimento retilíneo*: a trajetória é uma reta.
- ✓ *movimento curvilíneo*: a trajetória é uma curva.

POSIÇÃO ESCALAR

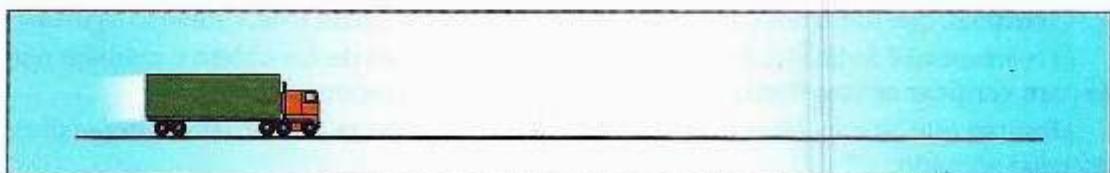
Quando conhecemos a forma da trajetória de um corpo, podemos determinar sua posição no decorrer do tempo por meio de um único número chamado *abscissa do corpo*.

Exemplo:

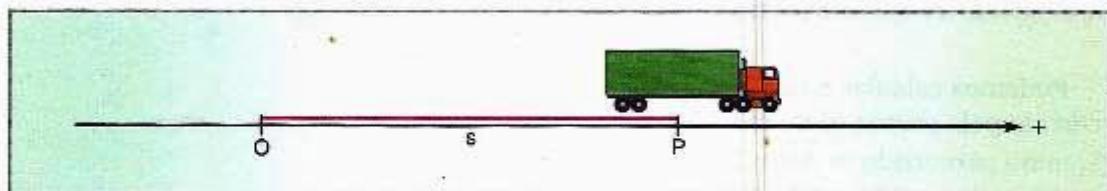
Consideremos um corpo movimentando-se sobre a trajetória da figura.



Tânia Trizzi



Para localizarmos esse corpo num determinado instante, adotamos arbitrariamente um ponto O sobre a trajetória, ao qual chamaremos *origem das posições*, e orientamos a trajetória positivamente, por exemplo, para a direita a partir de O .

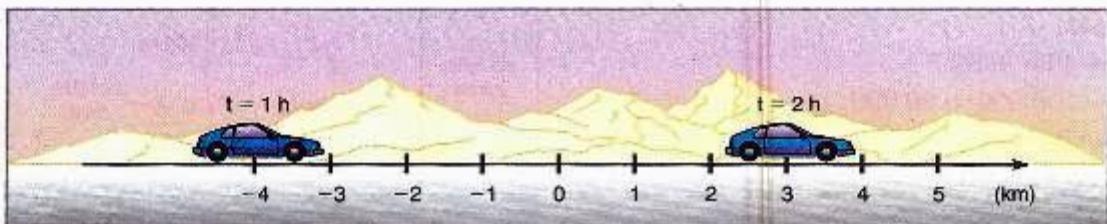


Para conhecer a posição do corpo, isto é, sua abscissa, num certo instante, precisamos conhecer sua distância em relação ao ponto O .

Costumamos representar a posição de um corpo num instante dado pela letra s .

Essa posição será positiva se o corpo estiver à direita da origem e negativa se estiver à esquerda.

Na trajetória a seguir, temos:

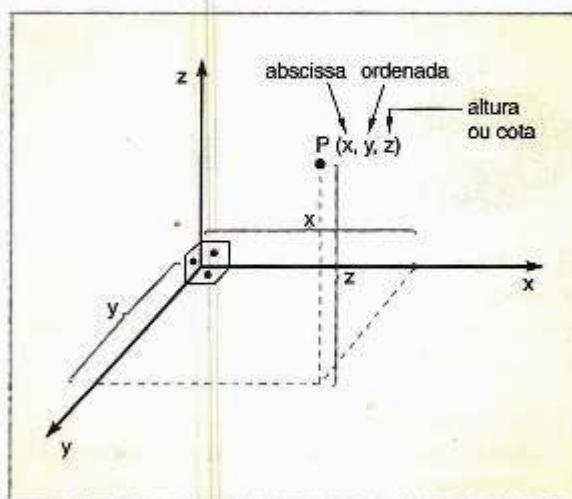
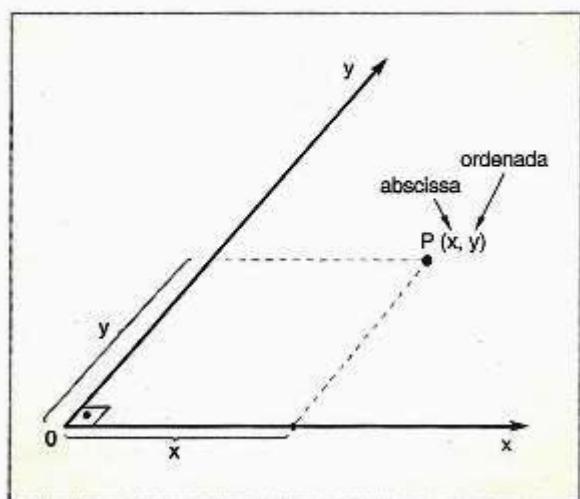


- ✓ a posição do corpo no instante $t = 1\text{ h}$ é $s = -4\text{ km}$
- ✓ a posição do corpo no instante $t = 2\text{ h}$ é $s = 3\text{ km}$
- ✓ a posição do corpo na origem é $s = 0$

Observações:

1^a) Se o corpo P estiver em um plano, a sua posição é definida por um par de coordenadas (x, y) .

2^a) Se o corpo P estiver em qualquer lugar do espaço, sua posição é definida por um terno (x, y, z) de coordenadas.

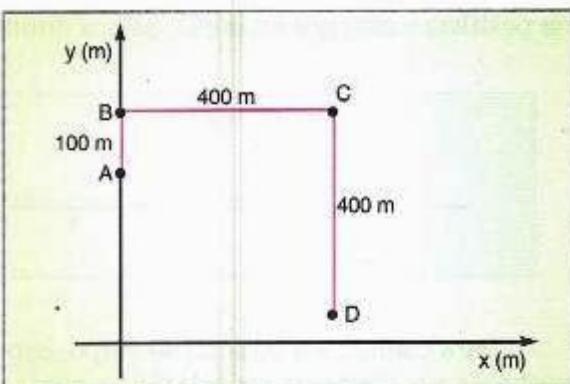


DESLOCAMENTO E CAMINHO PERCORRIDO

Consideremos uma pessoa que sai do ponto A e passa pelos pontos B , C e D , onde pára, seguindo a trajetória indicada na figura.

Podemos calcular o caminho (espaço) percorrido pela pessoa efetuando a soma:

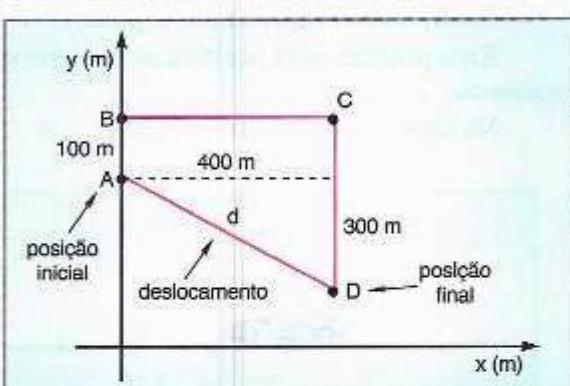
✓ caminho percorrido = $\overline{AB} + \overline{BC} + \overline{CD}$
✓ caminho percorrido = $100 + 400 + 400 = 900\text{ m}$



Já o deslocamento é a medida do segmento que representa a distância entre a posição inicial e a posição final da pessoa.

Utilizando o teorema de Pitágoras, temos:

$$\begin{aligned}d^2 &= 400^2 + 300^2 \\d^2 &= 160\,000 + 90\,000 \\d &= 500\text{ m}\end{aligned}$$



Se a trajetória é curva, o deslocamento do corpo ao passar do ponto A para o ponto B é a medida do segmento AB , e o caminho percorrido é a medida do comprimento do arco \widehat{AB} .



Quando a trajetória é uma reta e o corpo se movimenta sempre no mesmo sentido, o deslocamento e o caminho percorrido coincidem.

Se houver inversão de sentido, eles não serão iguais.

QUESTÕES

Q1 Dizemos que os conceitos de movimento e repouso são relativos, pois dependem do sistema de referência estabelecido. Com base nisso é correto afirmar que:

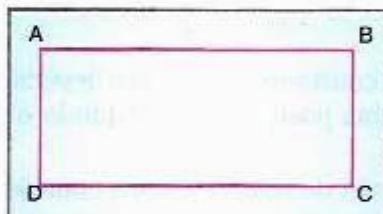
- I) Um corpo parado em relação a um referencial pode estar em movimento em relação a outro referencial.

- II) Um livro colocado sobre uma mesa está em repouso absoluto, pois, para qualquer referencial adotado, sua posição não varia com o tempo.
III) Em relação a um edifício, o elevador estacionado no terceiro andar está em repouso. Porém, em relação ao Sol, o mesmo elevador encontra-se em movimento. I e III

Q2 Quando podemos dizer que um corpo está em movimento?

Q3 A forma da trajetória de uma partícula depende do referencial adotado? Dê um exemplo.

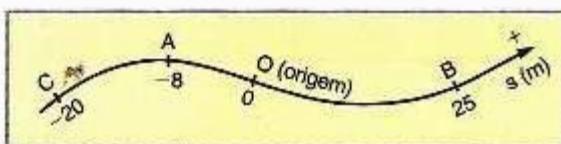
Q4 Um garoto percorre os lados de um terreno retangular de dimensões 40 m e 80 m.



a) Qual a distância percorrida pelo garoto em duas voltas completas? **480 m**

b) Qual a distância percorrida e o deslocamento no percurso ABC? **120 m e $40\sqrt{5}$ m**

Q5 Uma formiga desloca-se sobre a trajetória mostrada na figura.



Ela parte do ponto A, dirige-se para o ponto B e depois para o ponto C.

a) Quais as posições inicial e final da formiga?
b) Qual o espaço percorrido e qual o deslocamento efetuado pela formiga?

a) $-8 \text{ m e } -20 \text{ m}$ b) $78 \text{ m e } -12$

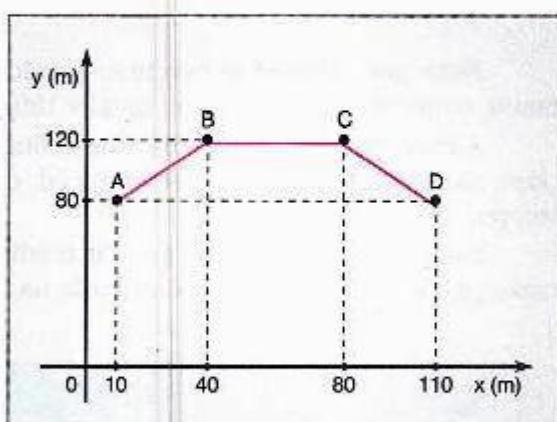
VELOCIDADE ESCALAR MÉDIA

A figura representa o circuito de uma pista de corrida. Nela estão marcadas as velocidades desenvolvidas por um carro em alguns trechos durante uma volta completa nesse circuito.

Observe que a velocidade do carro não é sempre a mesma durante toda a volta, isto é, a velocidade varia no decorrer do tempo.

Conhecendo a extensão do circuito e o tempo gasto para percorrê-lo, podemos saber quantos quilômetros, em média, o carro percorreu por hora. Para isso, basta dividir o espaço percorrido pelo tempo total de percurso. A esse quociente damos o nome de *velocidade escalar média*.

Q6 Uma pessoa sai do ponto A e caminha passando pelos pontos B, C e D, onde pára. Com base na figura a seguir, calcule o deslocamento e o caminho percorrido pela pessoa nos trechos:
a) AB **50 m e 50 m**
b) ABCD **100 m e 140 m**

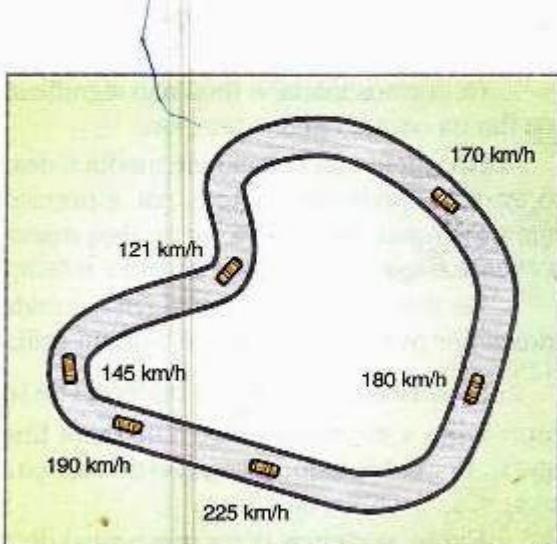


Q7 A distância entre duas cidades, A e B, é de 96 km. Um motociclista parte de A, vai até B e regressa a A.

Determine o espaço percorrido e o deslocamento na viagem de ida e volta. **192 km e zero**

Q8 Consideremos um carro percorrendo uma pista circular de raio 80 m. Determine o deslocamento e o espaço percorrido pelo carro durante:

- a) um quarto de volta **$80\sqrt{2} \text{ m e } 40\pi \text{ m}$**
b) meia volta **$160 \text{ m e } 80\pi \text{ m}$**
c) uma volta **zero e $160\pi \text{ m}$**



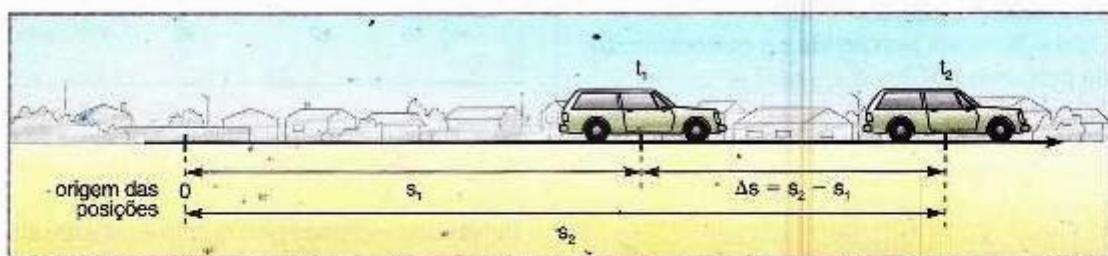
Se, por exemplo, o espaço percorrido em uma volta completa é de 4,5 km e o tempo total de percurso é 90 s, a velocidade escalar média (v_m) desse carro é dada por:

$$v_m = \frac{4,5 \text{ km}}{90 \text{ s}} \rightarrow v_m = \frac{4,5 \text{ km}}{\frac{1}{40} \text{ h}} \rightarrow v_m = 180 \text{ km/h}$$

Note que durante o percurso a velocidade do carro, em cada instante, às vezes foi maior, e outras vezes menor ou igual a 180 km/h.

A velocidade escalar média representa a velocidade constante que o carro deveria manter para, partindo da mesma posição inicial, chegar à mesma posição final gastando o mesmo tempo.

Para definir velocidade escalar média num intervalo de tempo, vamos considerar um carro percorrendo a trajetória indicada na figura.



Considere o carro no instante inicial t_1 , com velocidade inicial v_1 e, no instante final t_2 , com velocidade final v_2 .

A velocidade escalar média v_m entre esses dois instantes é dada por:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$$

em que $\Delta s = s_2 - s_1$ é a variação de espaço no intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$.

Os termos inicial e final não significam o início e o fim do movimento, mas sim o início e o fim da contagem dos tempos.

No cálculo da velocidade média é desnecessário saber a variação da velocidade do carro durante o percurso. Isto é, não é preciso saber se ele ficou parado durante algum tempo por problemas mecânicos ou se deu marcha a ré, pois para o cálculo de v_m consideramos somente o espaço total percorrido e o tempo total gasto para percorrê-lo.

No Sistema Internacional (SI) a unidade de velocidade é o metro por segundo, que se indica por m/s, mas também é comum utilizarmos o quilômetro por hora (km/h).

Na fórmula $v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, o intervalo de tempo $\Delta t = t_2 - t_1$ é sempre positivo ($\Delta t > 0$), pois representa a diferença entre o instante final t_2 e o instante inicial t_1 , sendo t_2 sempre maior que t_1 . Por outro lado, a variação de espaço $\Delta s = s_2 - s_1$ pode ser positiva, se $s_2 > s_1$, negativa, se $s_2 < s_1$, ou nula, se $s_2 = s_1$.

Então, podemos dizer que o sinal de Δs determina o sinal da velocidade escalar média.

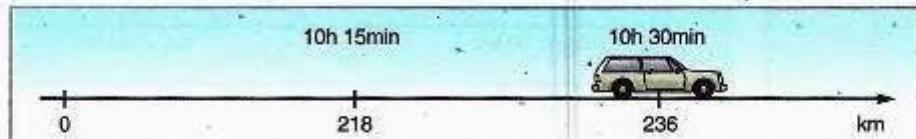
APLICAÇÃO

A 1

Em uma estrada, um carro passa pelo marco quilométrico 218 às 10h 15min e pelo marco 236 às 10h 30min. Qual a velocidade escalar média do carro entre esses marcos?

Resolução:

Fazendo uma figura correspondente ao enunciado, temos:



Assim, obtemos:

$$\begin{cases} t_1 = 10h\ 15min = 10\ h + \frac{1}{4}\ h = 10\ h + 0,25\ h = 10,25\ h \\ t_2 = 10h\ 30min = 10\ h + \frac{1}{2}\ h = 10\ h + 0,50\ h = 10,50\ h \\ s_1 = 218\ km \\ s_2 = 236\ km \end{cases}$$

Usando a fórmula da velocidade escalar média, temos:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow v_m = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} \rightarrow v_m = \frac{236 - 218}{10,5 - 10,25} \rightarrow v_m = 72\ km/h$$

Resposta: 72 km/h

A 2

Transforme:

a) 45 km/h em m/s

b) 15 m/s em km/h

Resolução:

a) Transformando as unidades, temos:

$$\begin{cases} 1\ km = 1\ 000\ m \\ 1\ h = 60\ min = 60 \cdot 60\ s = 3\ 600\ s \end{cases}$$

$$45\ km/h = 45 \cdot \frac{1\ 000\ m}{3\ 600\ s} = \frac{45}{3,6}\ m/s = 12,5\ m/s$$

b) Transformando as unidades, temos:

$$\begin{cases} 1\ m = \frac{1}{1\ 000}\ km \\ 1\ s = \frac{1}{3\ 600}\ h \end{cases}$$

$$15\ m/s = 15 \cdot \frac{\frac{1}{1\ 000}\ km}{\frac{1}{3\ 600}\ h} = 15 \cdot 3,6\ km/h = 54\ km/h$$

Do exposto, podemos dizer que para transformar:

- km/h em m/s, divide-se por 3,6
- m/s em km/h, multiplica-se por 3,6

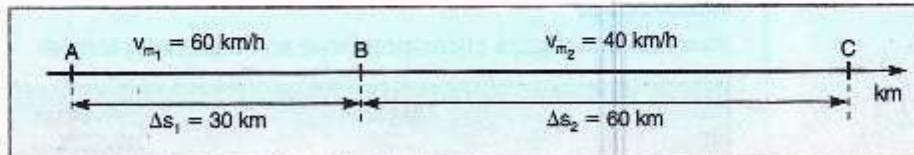
Respostas: a) 12,5 m/s; b) 54 km/h

A 3

Um carro percorre um trecho de 30 km de uma estrada horizontal retilínea, mantendo uma velocidade constante de 60 km/h. A seguir, percorre 60 km em linha reta, mantendo uma velocidade constante de 40 km/h. Qual a velocidade escalar média, em km/h, para todo o percurso?

Resolução:

Fazendo uma figura correspondente ao enunciado, temos:



Inicialmente calcularemos o tempo gasto para percorrer os trechos AB e BC da estrada.

- trecho AB

$$v_{m_1} = \frac{\Delta s_1}{\Delta t_1} \rightarrow 60 = \frac{30}{\Delta t_1} \rightarrow \Delta t_1 = 0,5 \text{ h}$$

- trecho BC

$$v_{m_2} = \frac{\Delta s_2}{\Delta t_2} \rightarrow 40 = \frac{60}{\Delta t_2} \rightarrow \Delta t_2 = 1,5 \text{ h}$$

Por último, vamos calcular a velocidade escalar média em todo o trecho AC.

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow v_m = \frac{\Delta s_1 + \Delta s_2}{\Delta t_1 + \Delta t_2} \rightarrow v_m = \frac{30 + 60}{0,5 + 1,5} \rightarrow v_m = 45 \text{ km/h}$$

Resposta: 45 km/h

QUESTÕES

Q 9 (ESPM-SP) Qual a velocidade, em km/h, que um avião deve atingir para igualar a velocidade de propagação do som no ar, supondo que esta seja de 330 m/s? **1188 km/h**

Q 10 Transforme 35 km/h em m/s. **9,7 m/s**

Q 11 Uma pessoa caminha numa pista de 300 m de comprimento, com velocidade escalar média de 1,5 m/s. Quantas voltas ela completará em 40 min? **12 voltas**

Q 12 O que você precisa conhecer para calcular a velocidade escalar média de um ciclista numa pista de corrida?

O espaço percorrido e o tempo gasto.

Q 13 (UMC-SP) Um ônibus partiu de São Paulo às 6 h com destino a Mogi das Cruzes. Perma-

neceu parado em um grande congestionamento por aproximadamente 20 min, chegando, finalmente, ao seu destino às 7h 30min. Sabendo-se que a distância total percorrida foi de 60 km, calcule a velocidade escalar média do ônibus nessa viagem, em km/h. **40 km/h**

Q 14 (UFRJ) Durante uma viagem entre duas cidades, um passageiro decide calcular a velocidade escalar média do ônibus. Primeiramente verifica que os marcos indicativos de quilometragem na estrada estão dispostos de 2,0 km em 2,0 km. O ônibus passa por três marcos consecutivos e o passageiro observa que o tempo gasto pelo ônibus entre o primeiro e o terceiro marco é de 3 min. Calcule a velocidade escalar média do ônibus neste trecho da viagem, em km/h. **80 km/h**

Q15 Um automóvel, que trafega ao longo de uma rodovia, passa pelo marco de estrada 263,5 km às 19h 15min e pelo marco 115 km às 20h 54min. Determine a velocidade escalar média, em m/s, desse automóvel, nesse intervalo de tempo. **-25 m/s**

Q16 Um veículo percorre, inicialmente, 40 km de uma estrada em 0,5 h. A seguir, percorre mais 60 km, em 1h 30min. Determine a velocidade escalar média do veículo, em km/h, durante todo o percurso. **50 km/h**

Q17 Um atleta percorre 1 milha terrestre em 5 minutos. Sabendo-se que 1 milha terrestre equivale a 1 609 m, qual a velocidade escalar média desse atleta em:

- milhas/hora? **12 milhas/hora**
- quilômetros/hora? **19,308 km/h**
- metros/segundo? **= 5,36 m/s**

Q18 Quando se diz que a velocidade de um navio é de 10 nós, queremos dizer que a sua velocidade é de 10 milhas marítimas por hora.

$$1 \text{ nó} = 1 \frac{\text{milha marítima}}{\text{hora}}$$

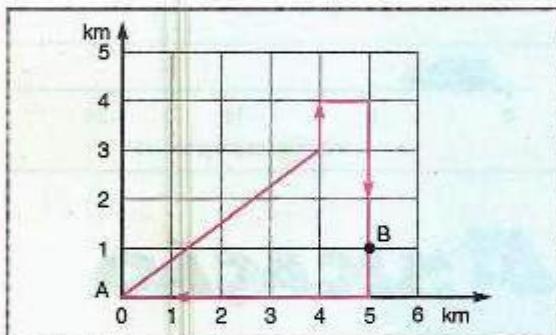
Sabendo-se que 1 milha marítima = 1 852 m, qual a velocidade desse navio em:

- km/h? **18,52 km/h**
- m/s? **$\approx 5,14 \text{ m/s}$**

Q19 Um ciclista deve percorrer 35 km em 1 h. Ele observou que gastou 40 min para percorrer 20 km. Qual deverá ser sua velocidade escalar média para percorrer a distância restante dentro do tempo previsto? **45 km/h**

Q20 Um automóvel percorre metade de sua trajetória com velocidade escalar média de 30 km/h e a outra metade com velocidade escalar média de 70 km/h. Qual a velocidade escalar média em toda a trajetória? **42 km/h**

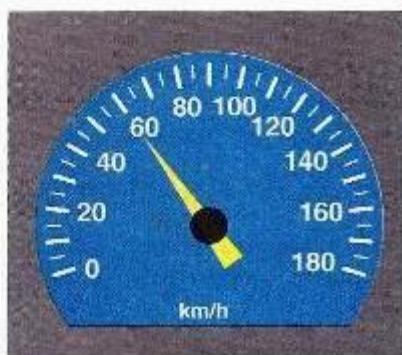
Q21 (Fuvest-SP) A figura representa a trajetória de um caminhão de entregas que parte de A, vai até B e retorna a A. No trajeto de A a B o caminhão mantém uma velocidade média de 30 km/h; na volta, de B até A, gasta 6 minutos. Qual o tempo gasto pelo caminhão para ir de A até B? Qual a velocidade média do caminhão quando vai de B até A, em km/h? **20 min e 60 km/h**



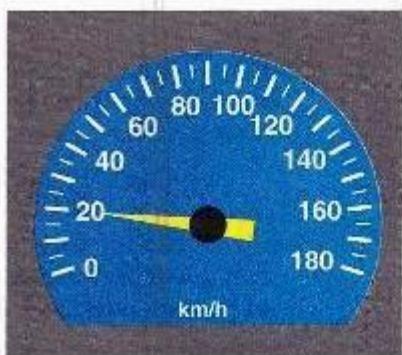
VELOCIDADE ESCALAR INSTANTÂNEA

A velocidade também pode ser definida para um determinado instante. Essa velocidade, denominada *velocidade escalar instantânea*, é a velocidade escalar média para um intervalo de tempo muito pequeno. Por exemplo, o valor indicado pelo velocímetro de um carro, num certo instante, representa a velocidade escalar instantânea.

Às 2 h



Às 2h 10min



Para determinar a velocidade do carro em um instante, devemos calcular a velocidade média correspondente a intervalos de tempo cada vez menores (Δt tendendo a zero: $\Delta t \rightarrow 0$), fazendo com que esses intervalos incluam o instante considerado. Por esse processo, a velocidade média que se obtém aproxima-se de um valor que coincide com a velocidade instantânea.

Esse processo, em Matemática, chama-se passagem no limite. Assim, a velocidade escalar instantânea v é definida por:

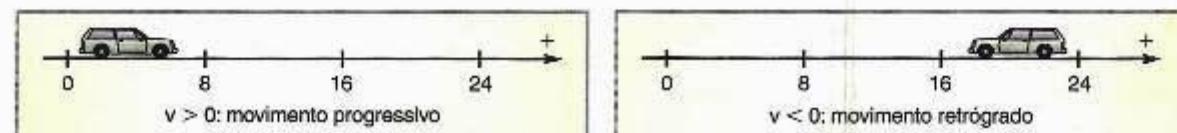
$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} v_m = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Quando escrevemos $\Delta t \rightarrow 0$ (lê-se: Δt tende a zero), isto significa que t_2 tende a t_1 .

Há casos em que, para se obter maior precisão, as velocidades médias são determinadas em intervalos de tempo da ordem de décimos, centésimos ou até milésimos de segundo.

Dependendo do sentido do movimento do carro, a velocidade pode ser *positiva* ou *negativa*.

- ✓ Se o carro se movimentar no sentido positivo da trajetória a velocidade é considerada *positiva* ($v > 0$) e o movimento é chamado *progressivo*.
- ✓ Se o carro se movimentar no sentido contrário do positivo da trajetória a velocidade é considerada *negativa* ($v < 0$) e o movimento é chamado *retrogrado*.



APLICAÇÃO

A4

Um móvel com velocidade constante efetua um movimento retilíneo num determinado referencial. Suas posições variam com o tempo conforme os dados mostrados na tabela.

- a) Determine a posição inicial e a velocidade escalar do movimento.
 b) O movimento é progressivo ou retrogrado?

Resolução:

a) A posição inicial do móvel é obtida quando $t = 0$. Logo:

$$t = 0 \rightarrow s_0 = -5 \text{ m}$$

Da tabela, observamos que o móvel percorre distâncias iguais em intervalos de tempo iguais (percorre 4 m em cada 1 s). Logo, sua velocidade escalar é constante. Assim, escolhendo o intervalo de tempo de 2 s a 5 s, temos:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} \rightarrow v_m = \frac{15 - 3}{5 - 2} \rightarrow v_m = 4 \text{ m/s}$$

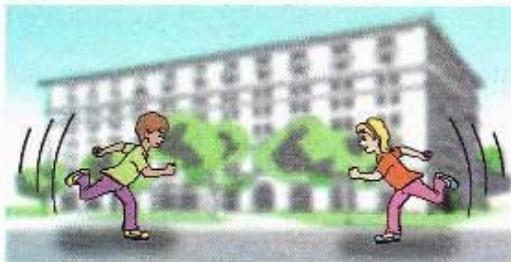
b) Observando a tabela verificamos que as posições crescem algebraicamente com o tempo, ou seja, o móvel caminha no sentido positivo da trajetória. Logo, o movimento é progressivo ($v > 0$).

Respostas: a) $s_0 = -5 \text{ m}$ e $v_m = 4 \text{ m/s}$; b) progressivo

QUESTÕES

Q22 Observe a figura.

negativa: da esquerda para a direita;
positiva: da direita para a esquerda



Como deve ser orientada a trajetória para que a velocidade da menina seja negativa? E positiva?

Q23 Um móvel efectua um movimento em relação a um certo referencial. Suas posições variam com o tempo de acordo com os dados da tabela.

t(h)	0	1	2	3	4	5	6
s(km)	10	30	50	70	90	110	130
t(h)	7	8	9	10	11	12	13
s(km)	110	90	70	50	30	10	-10

- Determine a posição inicial do móvel. **10 km**
- Calcule a velocidade escalar média do móvel nos intervalos de tempo de 1 h a 5 h e 6 h a 12 h. **20 km/h; -20 km/h**
- O movimento é progressivo ou retrógrado nos intervalos de tempo do item b?
progressivo: entre 1 h e 5 h
retrógrado: entre 6 h e 12 h
- Qual o deslocamento e o espaço percorrido nos intervalos de 0 a 6 h, 6 h a 12 h e 0 a 12 h?
120 km e 120 km; -120 km e 120 km; 0 e 240 km

Q24 O que indica o velocímetro de um carro?
a) velocidade escalar instantânea



Q25 Numa viagem de automóvel o motorista pediu para o passageiro Vítor anotar os instantes em que passavam pelos marcos quilométricos da estrada. A tabela mostra as anotações feitas por Vítor.

MARCO QUILOMÉTRICO	TEMPO
20	8h 10min
26	8h 13min
30	8h 17min
33	8h 19min
45	8h 27min
59	8h 37min

- Qual a velocidade escalar média do carro, em km/min, entre os marcos 20 km e 26 km?
- Determine, aproximadamente, o valor da velocidade do automóvel no instante 8h 18min.
a) 2 km/min b) 1,5 km/min

VOCÊ SABIA?



porque as rodas podem perder o contato com a pista e passar a deslizar como se fossem esquis. Isso é chamado *aquaplanagem* e ocorre quando o veículo apresenta velocidade acima de 50 km/h. Com velocidade superior a 80 km/h o carro passa a planar desgovernado.

Durante a chuva, uma camada de água de vários centímetros de altura pode ocupar a pista.

Essa camada de água é um perigo para o motorista, porque as rodas podem perder o contato com a pista e passar a deslizar como se fossem esquis. Isso é chamado *aquaplanagem* e ocorre quando o veículo apresenta velocidade acima de 50 km/h. Com velocidade superior a 80 km/h o carro passa a planar desgovernado.

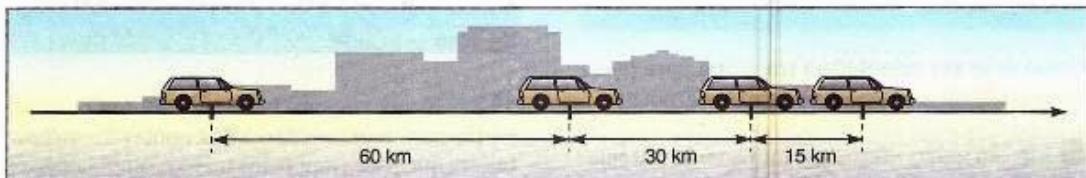
CAPÍTULO 3

MOVIMENTO UNIFORME

O QUE É MOVIMENTO UNIFORME?

Se um carro percorre distâncias iguais em intervalos de tempo iguais, o seu movimento é chamado *movimento uniforme* (MU).

Por exemplo, se um carro percorre 60 km em 1 hora, em meia hora percorrerá 30 km, em $\frac{1}{4}$ hora 15 km e assim por diante.



Isso ocorre porque a velocidade escalar instantânea v é igual à velocidade escalar média v_m em qualquer intervalo de tempo, ou seja, a velocidade do carro é constante e diferente de zero no decorrer do tempo.

Se um movimento é uniforme, temos: $v = v_m = \text{cte} \neq 0$.

O movimento de rotação da Terra, o movimento dos ponteiros de um relógio, a viagem de uma nave espacial são praticamente movimentos uniformes.

Porém, a maioria dos movimentos não é uniforme. Por exemplo, quando um trem se afasta de uma estação, percorre, em intervalos de tempo iguais, distâncias cada vez maiores e, quando se aproxima da estação, percorre distâncias cada vez menores em intervalos de tempo iguais.

Da mesma forma, um atleta, numa prova de atletismo, percorre distâncias diferentes em intervalos de tempo iguais.

Os movimentos do trem e do atleta são exemplos de *movimentos variados*.

Se no movimento uniforme a trajetória for retilínea, ele é chamado *movimento retilíneo e uniforme* (MRU).



Corbis Stock Photo

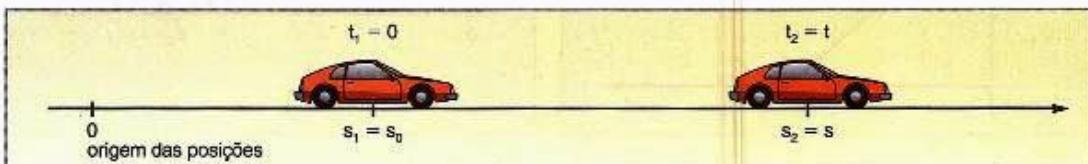
FUNÇÃO HORÁRIA

Quando um corpo está em movimento uniforme sua posição varia no decorrer do tempo em relação a um referencial.

A função que relaciona a posição s com o tempo t é denominada função horária das posições do movimento e é representada por:

$$s = f(t) \text{ (Lê-se: } s \text{ é uma função de } t\text{.)}$$

Para obter essa função considere um corpo percorrendo com velocidade constante a trajetória da figura.



Nesse caso:

$s_1 = s_0$ é a posição inicial do corpo

$t_1 = t_0$ é o instante inicial ($t_0 = 0$)

$t_2 = t$ é o instante final

$s_2 = s$ é a posição do corpo no instante final t

Usando a fórmula da velocidade média, temos:

$$v_m = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} \rightarrow v = \frac{s - s_0}{t} \rightarrow s - s_0 = vt \rightarrow s = s_0 + vt$$

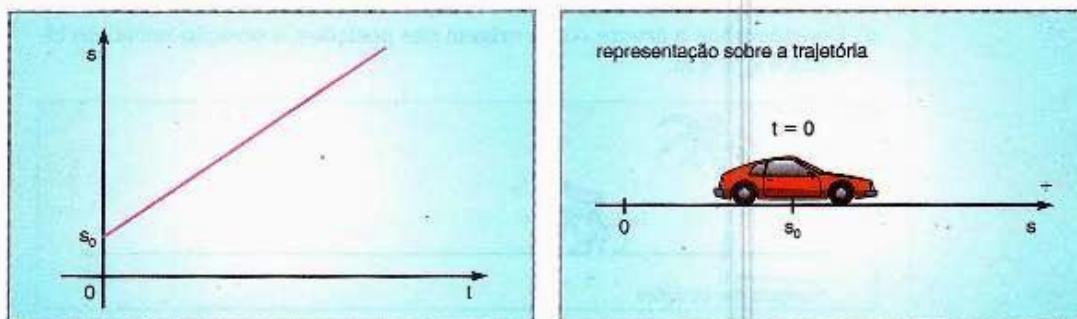
Essa fórmula matemática mostra que, partindo da posição atual do corpo, num certo referencial, e conhecendo sua velocidade, podemos determinar a sua posição futura em relação ao mesmo referencial.

Como a função $s = s_0 + vt$ é do 1º grau em relação ao tempo, o seu gráfico é representado por uma reta.

Temos dois casos, que veremos a seguir.

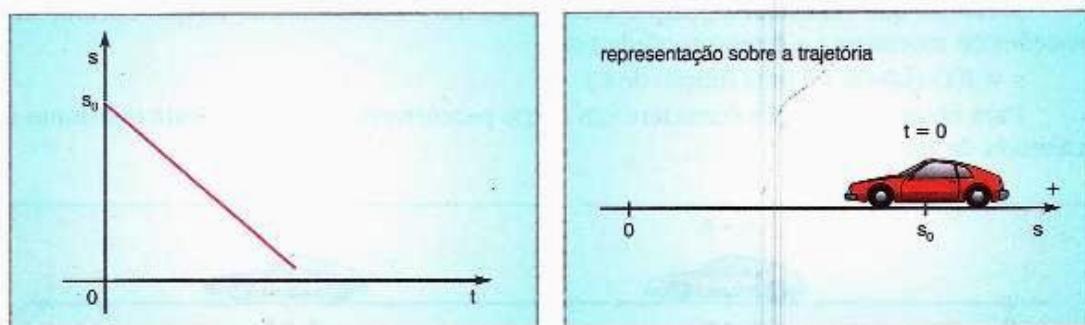
1º caso: velocidade positiva ($v > 0$)

Nesse caso, as posições crescem algebraicamente com o tempo, isto é, o corpo caminha no sentido positivo da trajetória. O gráfico representativo é:



2º caso: velocidade negativa ($v < 0$)

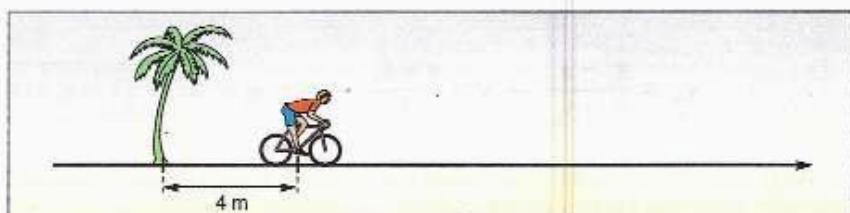
Nesse caso, as posições decrescem algebricamente com o tempo, isto é, o corpo caminha no sentido contrário ao positivo da trajetória. O gráfico representativo é:



APLICAÇÃO

A 5

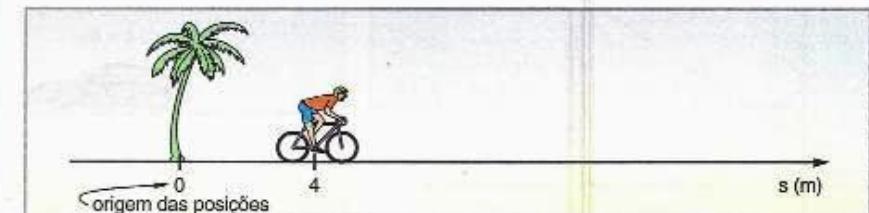
Um ciclista corre com velocidade constante de 12 m/s ao longo de uma pista retilínea. Ao passar pela posição mostrada na figura, é acionado um cronômetro que começa a contar o tempo a partir de zero.



- Considerando a árvore como origem das posições, qual a função horária do movimento?
- Em que posição estará o ciclista quando o cronômetro marcar 6 s?
- Em que instante o ciclista passará pelo marco 184 m da pista?
- Que distância o ciclista percorrerá entre os instantes 5 s e 40 s?
- Construa o gráfico da posição em função do tempo desse movimento.

Resolução:

- Considerando a árvore como origem das posições, a posição inicial do ciclista é $s_0 = 4 \text{ m}$.



Adotando como positivo o sentido para a direita, a velocidade do ciclista é positiva $v = 12 \text{ m/s}$ (movimento progressivo). Se a velocidade do ciclista é constante e a trajetória, retilínea, o movimento do ciclista é retilíneo e uniforme (MRU). Logo, a função horária das posições é:

$$s = s_0 + vt \rightarrow s = 4 + 12t$$

b) Quando $t = 6 \text{ s}$, a posição do ciclista é:

$$s = 4 + 12t \rightarrow s_6 = 4 + 12 \cdot 6 \rightarrow s_6 = 76 \text{ m}$$

c) Se $s = 184 \text{ m}$, temos:

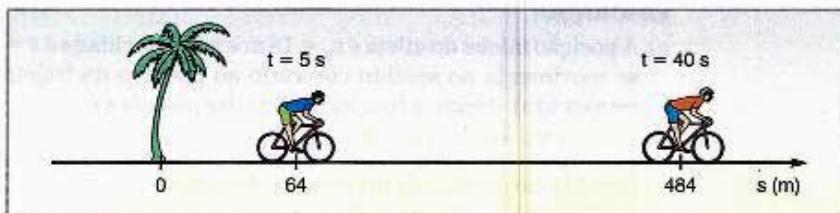
$$s = 4 + 12t \rightarrow 184 = 4 + 12t \rightarrow t = 15 \text{ s}$$

d) Para $t = 5 \text{ s}$, temos:

$$s = 4 + 12t \rightarrow s_5 = 4 + 12 \cdot 5 \rightarrow s_5 = 64 \text{ m}$$

Para $t = 40 \text{ s}$, temos:

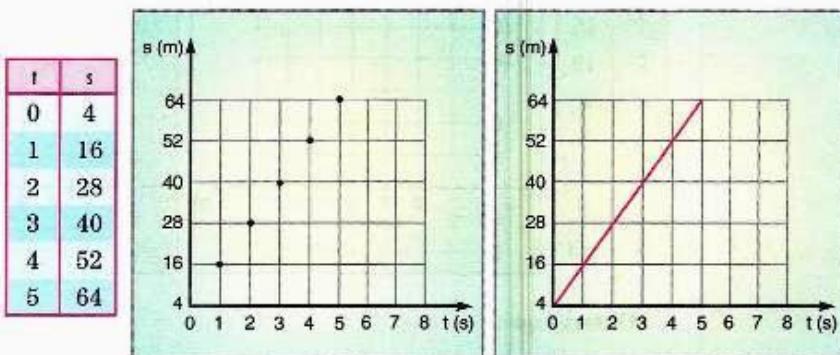
$$s = 4 + 12t \rightarrow s_{40} = 4 + 12 \cdot 40 \rightarrow s_{40} = 484 \text{ m}$$



A distância percorrida entre os instantes 5 s e 40 s é:

$$\Delta s = s_{40} - s_5 \rightarrow \Delta s = 484 - 64 \rightarrow \Delta s = 420 \text{ m}$$

e) Atribuindo valores arbitrários a t na função $s = 4 + 12t$, obtemos:



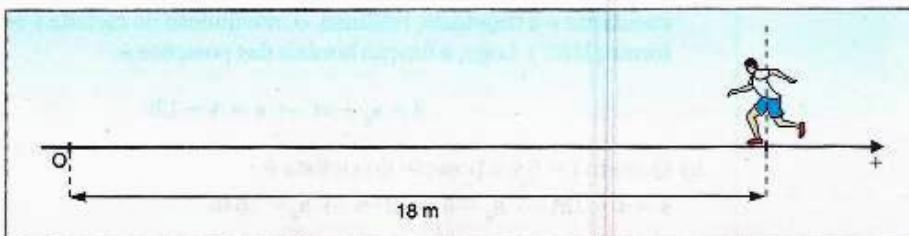
Observe que:

- o gráfico é retilíneo, pois a função $s = 4 + 12t$ é do 1º grau em relação a t
- as posições crescem algebricamente no decorrer do tempo, isto é, a bicicleta se movimenta no sentido positivo da trajetória ($v > 0$)
- a ordenada em que a reta corta o eixo s representa o valor de s_0

Respostas: a) $s = 4 + 12t$; b) 76 m; c) 15 s; d) 420 m; e) vide resolução

A6

Um atleta, executando movimento retílineo e com velocidade constante de 3 m/s, aproxima-se da origem O da trajetória, indicada na figura.



No instante em que começamos a contar o tempo ($t = 0$) ele se encontra a 18 m da origem O .

- Escreva a função horária das posições desse movimento.
- Em que instante ele passa pela origem?
- Construa o gráfico da posição em função do tempo desse movimento.

Resolução:

a) A posição inicial do atleta é $s_0 = 18$ m e sua velocidade é $v = -3$ m/s, pois ele se movimenta no sentido contrário ao positivo da trajetória (movimento retrógrado). Assim, a função horária das posições é:

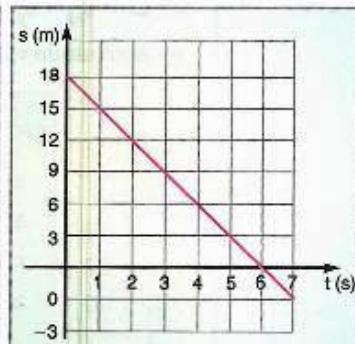
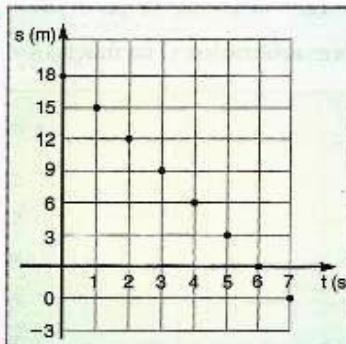
$$s = s_0 + vt \rightarrow s = 18 - 3t$$

b) Quando ele passa pela origem ($s = 0$), temos:

$$s = 18 - 3t \rightarrow 0 = 18 - 3t \rightarrow t = 6\text{ s}$$

c) Atribuindo valores arbitrários a t na função $s = 18 - 3t$, obtemos:

t	s
0	18
1	15
2	12
3	9
4	6
5	3
6	0
7	-3



Observe que:

- o gráfico é retílineo, pois a função $s = 18 - 3t$ é do 1º grau em relação a t
- as posições decrescem algebraicamente no decorrer do tempo, isto é, o atleta se movimenta no sentido contrário ao positivo da trajetória ($v < 0$)
- a ordenada em que a reta corta o eixo s representa o valor de s_0
- a abscissa em que a reta corta o eixo x representa o instante em que o atleta passa pela origem

Respostas: a) $s = 18 - 3t$; b) 6 s; c) vide resolução

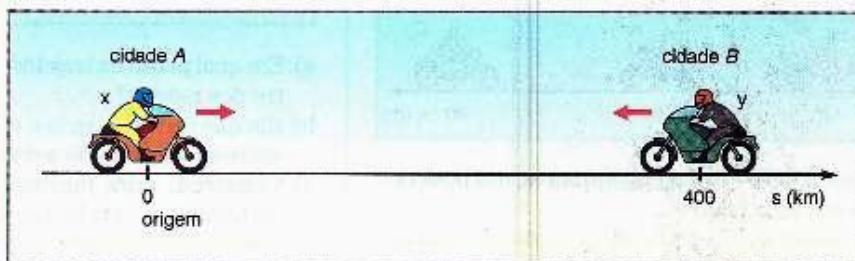
A7

Duas cidades, A e B , distam entre si 400 km. Da cidade A parte uma moto rumo à cidade B com velocidade constante de 30 km/h. No mesmo instante, parte de B outra moto rumo à cidade A , com velocidade constante de 50 km/h.

- Quanto tempo após a partida elas se encontraram?
- Qual a posição do encontro em relação à cidade A ?
- Construa, num mesmo sistema de eixos, o gráfico das posições dessas motos em função do tempo.

Resolução:

a) Fazendo uma figura correspondente ao enunciado, temos:



Considerando a cidade A como origem das posições, adotando como positivo o sentido para a direita, e chamando os motociclistas de x e y , temos:

$$s_x = s_{0x} + v_x t \rightarrow s_x = 0 + 30t \rightarrow s_x = 30t$$

$$s_y = s_{0y} + v_y t \rightarrow s_y = 400 - 50t$$

Quando os dois motociclistas se encontram suas posições são iguais. Logo:

$$s_x = s_y \rightarrow 30t = 400 - 50t \rightarrow t = 5 \text{ h}$$

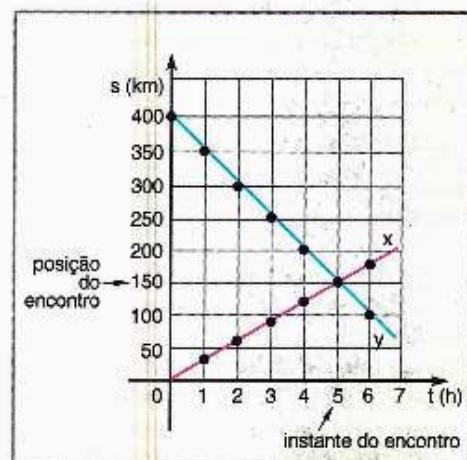
b) A posição do encontro em relação à origem (cidade A) é:

$$s_E = 30t \rightarrow s_E = 30 \cdot 5 \rightarrow s_E = 150 \text{ km}$$

c) Tabelando as duas funções, obtemos:

t	s_x
0	0
1	30
2	60
3	90
4	120
5	150
6	180

t	s_y
0	400
1	350
2	300
3	250
4	200
5	150
6	100



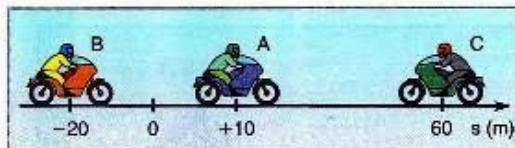
Respostas: a) 5 h; b) 150 km; c) vide resolução

QUESTÕES

Q26 Na frase “O motorista está em movimento retílineo uniforme”, o que significa a palavra *retílineo*? E a palavra *uniforme*?

retílineo: linha reta; uniforme: com velocidade constante

Q27 Os motociclistas *A*, *B* e *C* percorrem uma trajetória retílinea com velocidades constantes e iguais a $v_A = v_B = v_C = 10 \text{ m/s}$.



No instante $t = 0$ eles encontram-se nas posições mostradas na figura.

- Qual a função horária das posições de cada um dos motociclistas? Adote o marco zero como origem. $s_A = 10 + 10t$; $s_B = -20 + 10t$; $s_C = 60 - 10t$
- Construa, num mesmo diagrama, o gráfico da função horária das posições dos motociclistas *A*, *B* e *C*. *resposta no final do livro*
- Qual a distância percorrida pelo motociclista *A* no intervalo de 2 s a 9 s? **70 m**
- Que distância percorre o motociclista *B* durante o 8º segundo? **80 m**

Q28 (Mauá-SP) Ao longo de uma pista de corrida de automóveis existem cinco postos de observação, onde são registrados os instantes em que por eles passa um carro em treinamento. A distância entre dois postos consecutivos é de 500 m. Durante um treino registraram-se os tempos indicados na tabela.

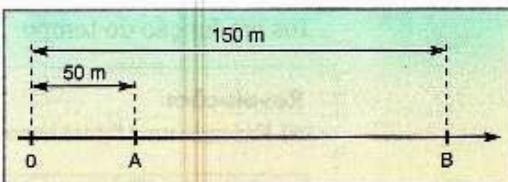
POSTO	1	2	3	4	5
INSTANTE DA PASSAGEM (s)	0	24,2	50,7	71,9	116,1

- Determine a velocidade média desenvolvida pelo carro no trecho compreendido entre os postos 2 e 4. **= 21 m/s**
- É possível afirmar que o movimento do carro é uniforme? Justifique a resposta.

resposta no final do livro

Q29 Dois móveis, *A* e *B*, ambos com movimento uniforme, percorrem uma trajetória retílinea como mostra a figura. Em $t = 0$, os móveis encontram-se, respectivamente, nos pontos *A* e *B* na

trajetória. As velocidades dos móveis são $v_A = 50 \text{ m/s}$ e $v_B = 30 \text{ m/s}$, no mesmo sentido.



- Em qual ponto da trajetória ocorrerá o encontro dos móveis? **300 m**
- Em que instante, após o encontro, a distância entre os dois móveis será 50 m? **7,5 s**
- Construa, num mesmo sistema de eixos cartesianos, o gráfico da função horária das posições desses móveis. *resposta no final do livro*

Q30 (UMC-SP) A posição de um móvel varia com o tempo, segundo a função $s = 10 + 2t$ (s em metros e t em segundos). Determine, para o móvel:

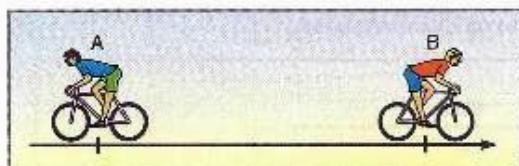
- a posição inicial **10 m**
- a velocidade **2 m/s**
- a posição ocupada por ele no instante $t = 2 \text{ s}$ **14 m**
- o instante correspondente à posição **20 m** **5 s**

Q31 (PUC-PR) Um caminhão, trafegando pela BR-116 em direção a Porto Alegre, passa por Curitiba a uma velocidade de 60 km/h. Trinta minutos depois, pelo mesmo ponto e com o mesmo destino, passa um automóvel com velocidade de 20 m/s. Supondo que os dois veículos mantenham as velocidades constantes, a que distância de Curitiba se dará a ultrapassagem? **180 km**

Q32 A distância entre São Paulo e Porto Alegre é de aproximadamente 1 100 km. Um automóvel parte de São Paulo com velocidade constante de 100 km/h. Duas horas depois parte de Porto Alegre para São Paulo outro automóvel com a mesma velocidade.

- Quanto tempo depois da partida do automóvel de São Paulo os dois carros irão se encontrar? **8,5 h**
- Quantos quilômetros percorrerá o automóvel que partiu de Porto Alegre até encontrar o de São Paulo? **450 km**

Q33 Os ciclistas *A* e *B* percorrem a rua retilínea indicada na figura com velocidades constantes e iguais a $v_A = 4 \text{ m/s}$ e $v_B = 6 \text{ m/s}$.



A distância entre *A* e *B* é 1 200 m.

- Dê a função horária das posições dos ciclistas *A* e *B*. $s_A = -4t$; $s_B = 1\,200 + 6t$
- Em que instante a distância entre eles é de 1 800 m? 60 s

Q34 (Unicruz-RS) Observe a ficha técnica de um submarino dos Estados Unidos da América:

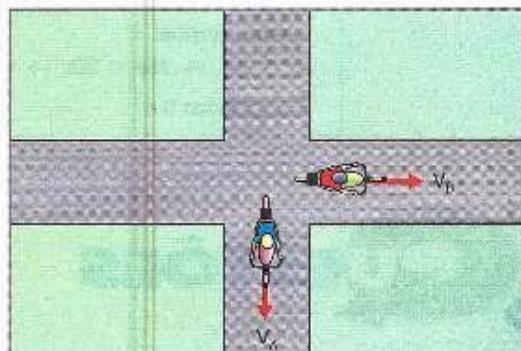
USS Nautilus

Tipo: Submarino de longo alcance de propulsão nuclear
Tripulação: 105 oficiais e marinheiros
Dimensões: 98,7 m de comprimento; 8,4 m de largura e 9,85 m de calado
Velocidade: 20 nós na superfície;
30 nós em mergulho

Extrido da Revista Guerra na Paz – Fazículo 27, p. 112.

Suponha que dois submarinos *USS Nautilus* partiram simultaneamente, às 13 h de um determinado dia, de locais diferentes e distantes entre si 270 km, um ao encontro do outro. Um deles estava submerso e o outro na superfície, deslocando-se com suas respectivas velocidades. A que horas ocorreu o encontro dos submarinos e a que distância do ponto de partida do submarino submerso? Considere 1 m/s = 2 nós e suas velocidades constantes. 16 h e a 162 km

Q35 Duas bicicletas saem no mesmo instante de um cruzamento, como aparece indicado abaixo. A velocidade da bicicleta *A* é $v_A = 12 \text{ km/h}$ e da bicicleta *B* é $v_B = 16 \text{ km/h}$. Se as trajetórias forem retilíneas, qual será a menor distância entre as bicicletas após 1 h? 20 km



ULTRAPASSAGEM

Até o momento, resolvemos questões em que os corpos envolvidos tinham dimensões consideradas desprezíveis.

A partir de agora, veremos o que ocorre quando as dimensões dos corpos não podem ser desprezadas — como um carro que ultrapassa um caminhão na estrada ou um trem que atravessa um túnel.



Paulo Rossi/Agifilar

APLICAÇÃO

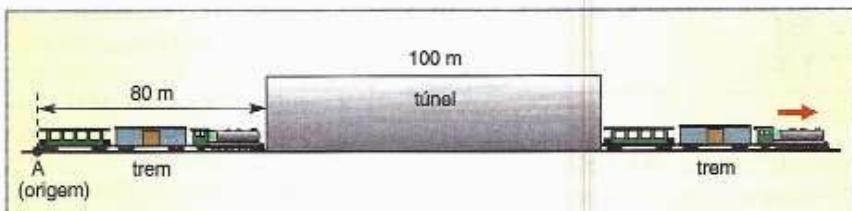
A 8

Um trem de 80 m, deslocando-se com velocidade escalar constante de 72 km/h, atravessa um túnel de 100 m de comprimento. Qual o intervalo de tempo entre o instante em que o trem começa a entrar no túnel e o instante em que o último vagão deixa o túnel?

Resolução:

Como a velocidade do trem é constante ($v = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$), o movimento é uniforme.

A figura mostra o início e o término da ultrapassagem.



Considerando o ponto A (traseira do trem) como origem das posições e o sentido positivo para a direita, temos:

$$s_A = s_{0_A} + v_A t \rightarrow s_A = 0 + 20t \rightarrow s_A = 20t$$

Quando termina a ultrapassagem, a posição do ponto A é $80 \text{ m} + 100 \text{ m} = 180 \text{ m}$.

Assim, temos:

$$s_A = 20t \rightarrow 180 = 20t \rightarrow t = 9 \text{ s}$$

Resposta: 9 s

QUESTÕES

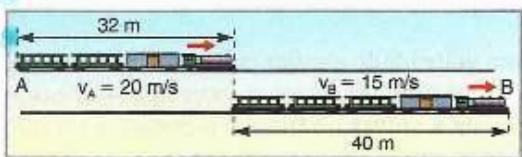
Q36 Um trem, medindo 200 m de comprimento, efectua movimento retílineo e uniforme com velocidade 15 m/s.

a) Qual o intervalo de tempo para o trem passar diante de um observador parado à beira da estrada? $\frac{40}{3} \text{ s}$

b) Calcule o tempo gasto pelo trem para atravessar um túnel com extensão de 1 600 m. 120 s

Q37 (ESAL-MG) Um trem viaja por estrada retilínea com velocidade constante de 36 km/h. Calcule o comprimento do trem, sabendo que leva 15 s para atravessar uma ponte de 60 m de comprimento. 90 m

Q38 (UFU-MG) Dois trens se deslocam sobre trilhos paralelos, em movimento retílineo uniforme.



Determine:

a) o intervalo de tempo para que um trem ultrapasse completamente o outro, a partir da posição indicada na figura $14,4 \text{ s}$

b) o correspondente deslocamento de cada um dos trens 288 m e 216 m

Q39 Um trem é composto por doze vagões e uma locomotiva. Cada vagão, assim como a locomotiva, mede 10 m de comprimento. O trem está parado num trecho retílineo da ferrovia, ao lado do qual passa uma estrada rodoviária. Determine o tempo, em segundos, que um automóvel de 5,0 m de comprimento, movendo-se a 15 m/s, necessita para ultrapassar esse trem. 9 s

Q40 (FURRN) Um letreiro luminoso mostra "Boa sorte, caros vestibulandos", cujos caracteres se movimentam na horizontal para a esquerda, a uma velocidade de 0,15 m/s. Considerando que cada caractere ou espaço em branco tem largura de 10 cm, qual o tempo necessário, em segundos, para aparecer por completo essa mensagem? 20 s

O QUE É O SOM?

Os sons podem ser produzidos por corpos que vibram. Quando uma pessoa fala, por exemplo, o som que ela emite é produzido pela vibração de suas cordas vocais. Quando batemos em um tambor ou em um pedaço de metal esses corpos vibram e emitem som. É o que também acontece quando apertamos uma tecla de piano: um pequeno martelo percutiu uma corda esticada e esta começa a oscilar.



Ricardo Melo/M. Imagens



Mariano Moreira

Nos instrumentos de sopro — como corneta, flauta ou trombone —, o que vibra é uma coluna de ar, colocada em movimento pelo instrumentista.

Todos esses corpos são fontes sonoras que, ao vibrarem, produzem ondas que se propagam no meio material (sólido, líquido ou gasoso) situado entre elas e nosso ouvido. Ao penetrarem no ouvido, elas fazem o tímpano vibrar e, então, esse sinal é transmitido ao cérebro, que o interpreta como *som*.

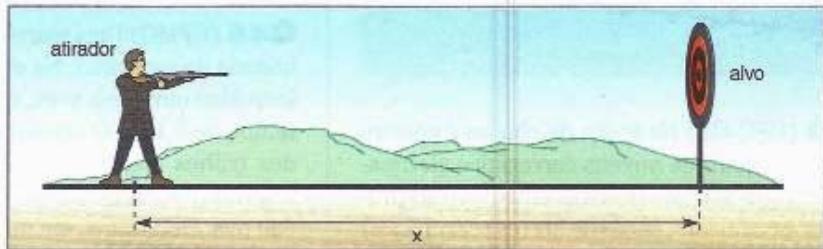
A velocidade de propagação do som depende do meio no qual ele se propaga.

APLICAÇÃO

A 9

Um atirador aciona o gatilho de sua arma, que aponta para um alvo fixo na terra. A velocidade da bala ao sair do cano da arma é 660 m/s. Depois de 2 s ele ouve o barulho da bala atingindo o alvo. Sabendo que a velocidade do som no ar é 340 m/s, calcule a distância do atirador ao alvo.

Resolução:



Sejam:

t_1 = tempo gasto pela bala para atingir o alvo

t_2 = tempo gasto pelo som para chegar ao atirador após a bala atingir o alvo

x = distância entre o atirador e o alvo

Temos:

$$t_1 + t_2 = 2 \rightarrow t_1 = 2 - t_2$$

• na ida (bala):

$$s = s_0 + vt$$

$$x = 660t_1 \quad ①$$

• na volta (som):

$$s = s_0 + vt$$

$$x = 340t_2 \quad ②$$

Igualando-se ① e ②, vem:

$$660t_1 = 340t_2 \rightarrow 660(2 - t_2) = 340t_2 \rightarrow t_2 = 1,32 \text{ s}$$

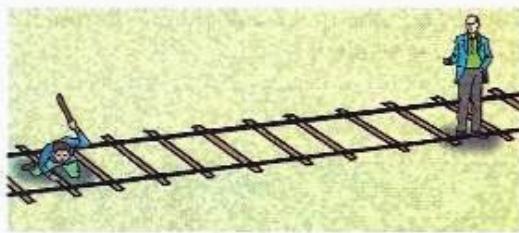
Substituindo-se em ②, vem:

$$x = 340 \cdot 1,32 \rightarrow x = 448,8 \text{ m}$$

Resposta: 448,8 m

QUESTÕES

- Q41** (UFPE) A figura abaixo representa duas pessoas, A e B , situadas ao longo de uma linha férrea retilínea. Quando A golpeia o trilho, B percebe o barulho através do ar 10 s depois do impacto. Quantos centésimos de segundo após a batida de A o observador B poderia ter sentido a vibração no trilho, se a velocidade do som através do trilho é de 6 800 m/s? (Sabe-se que a velocidade do som através do ar vale 340 m/s.) **0,5 s**



- Q42** (UFC-CE) Na época de chuvas é comum o aparecimento de nuvens carregadas eletricamente. As descargas elétricas entre nuvens produzem, geralmente, ondas de luz (os relâmpagos) acompanhadas de ondas sonoras que chamamos

de trovão. Considerando que avistamos o relâmpago no mesmo instante da descarga elétrica e ouvimos o trovão 20 s depois, determine a distância entre nós e o local da descarga elétrica entre as nuvens. Considere que a velocidade do som seja igual a 340 m/s. **6 800 m**

- Q43** Um tiro é disparado contra um alvo preso a uma grande parede refletora de som. O atirador ouve o eco do disparo 2,5 s depois de disparar o tiro. Supondo que o som viaje no ar com velocidade de 340 m/s, calcule a distância que separa o atirador da parede refletora, em metros.

425 m

- Q44** (UFMG) Uma martelada é dada na extremidade de um trilho. Na outra extremidade um indivíduo ouve dois sons, com uma diferença de tempo de 0,18 s. O primeiro se propaga através dos trilhos com velocidade de 3 400 m/s e o segundo, através do ar, com velocidade de 340 m/s. Determine, em metros, o comprimento do trilho. **68 m**

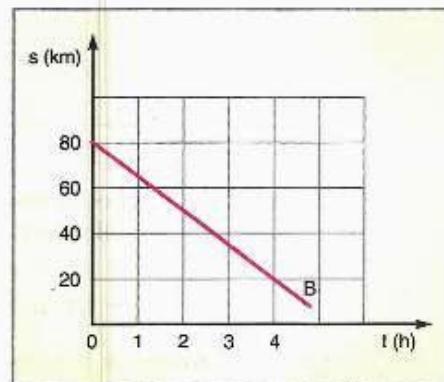
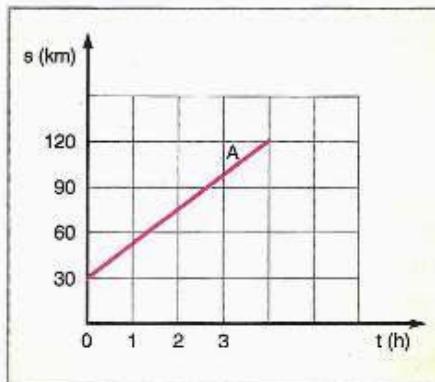
INTERPRETAÇÃO DE GRÁFICOS DO MOVIMENTO UNIFORME

Agora vamos ver como o estudo do movimento é bastante facilitado com a utilização de gráficos. Esses gráficos são chamados *diagramas*.

APLICAÇÃO

A 10

Os gráficos a seguir mostram a posição em função do tempo de dois ciclistas, A e B, em movimento sobre uma trajetória.



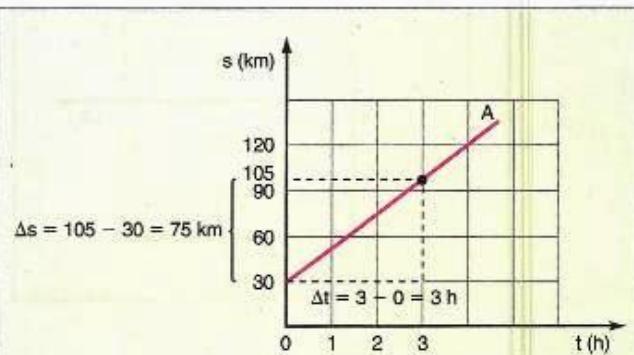
- Qual a posição inicial dos ciclistas A e B?
- Qual a velocidade de cada um deles?
- Em que posições estarão os ciclistas A e B no instante 10 h?
- Construa, num mesmo sistema cartesiano, os gráficos das velocidades de A e B em função do tempo.

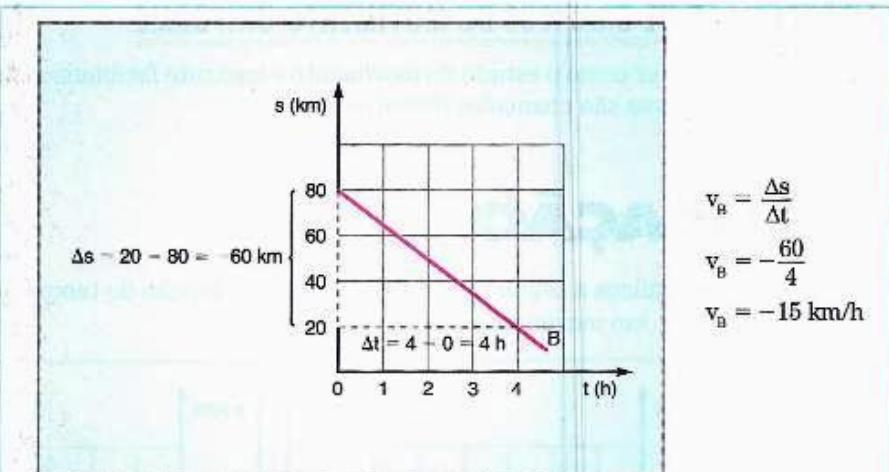
Resolução:

- A posição inicial é o valor da posição correspondente ao instante $t = 0$, isto é:

$$s_{0A} = 30 \text{ km} \text{ e } s_{0B} = 80 \text{ km}$$

- Obtendo valores correspondentes de Δs e Δt , temos:





- c) Se o gráfico da função horária das posições é uma reta, os movimentos de A e B são uniformes. Logo:

$$s_A = s_{0A} + v_A t \rightarrow s_A = 30 + 25t$$

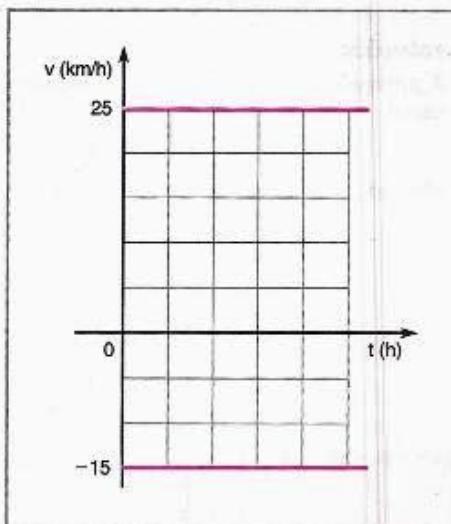
$$s_B = s_{0B} + v_B t \rightarrow s_B = 80 - 15t$$

Sendo $t = 10 \text{ h}$, obtemos:

$$s_A = 30 + 25 \cdot 10 \rightarrow s_A = 280 \text{ km}$$

$$s_B = 80 - 15 \cdot 10 \rightarrow s_B = -70 \text{ km}$$

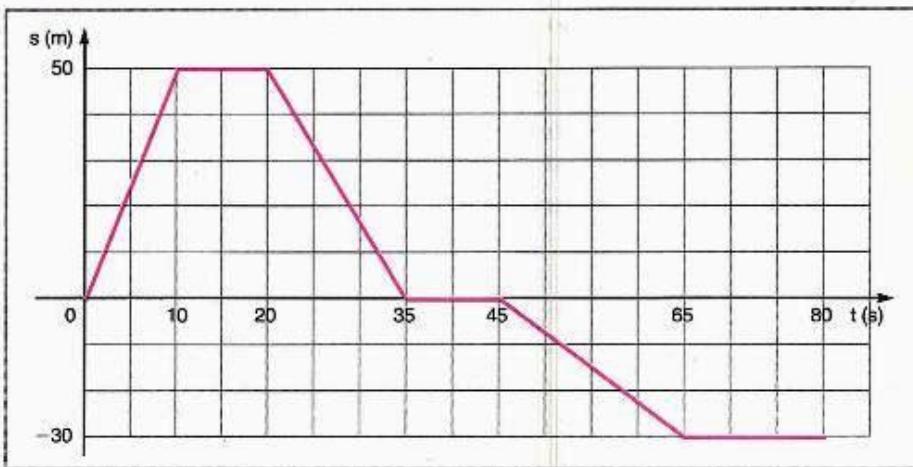
- d) As velocidades de A e B são constantes, pois os movimentos de A e B são uniformes. Logo:



Resposta: vide resolução

A 11

O gráfico representa as posições de um corpo em função do tempo numa certa trajetória.



Analise esse gráfico.

Resolução:

A posição do corpo, o espaço percorrido e o deslocamento podem ser obtidos no eixo das ordenadas.

- As posições do corpo são:

$t = 0$, obtemos $s_0 = 0$	$t = 45\text{ s}$, obtemos $s = 0$
$t = 10\text{ s}$, obtemos $s = 50\text{ m}$	$t = 65\text{ s}$, obtemos $s = -30\text{ m}$
$t = 20\text{ s}$, obtemos $s = 50\text{ m}$	$t = 80\text{ s}$, obtemos $s = -30\text{ m}$
$t = 35\text{ s}$, obtemos $s = 0$	
- No intervalo de tempo de 0 a 10 s o movimento é progressivo
- $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{50 - 0}{10 - 0} = 5\text{ m/s}$
- No intervalo de 10 s a 20 s o corpo esteve em repouso ($v = 0$) na posição 50 m
- No intervalo de 20 s a 35 s o movimento é retrógrado
- $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0 - 50}{35 - 20} = -3,34\text{ m/s}$
- No intervalo de 35 s a 45 s o corpo esteve em repouso ($v = 0$) na origem das posições
- No intervalo de 45 s a 65 s o movimento é retrógrado
- $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{-30 - 0}{65 - 45} = -1,5\text{ m/s}$
- No intervalo de 65 s a 80 s o corpo está em repouso na posição -30 m
- O espaço percorrido e o deslocamento no intervalo de 0 a 80 s são:



espaço percorrido total

0 a 10 s → 50 m (no sentido positivo da trajetória)

20 s a 35 s → 50 m (no sentido negativo da trajetória)

45 s a 65 s → 30 m (no sentido negativo da trajetória)

$$\Delta s = 50 \text{ m} + 50 \text{ m} + 30 \text{ m} = 130 \text{ m}$$

deslocamento (distância entre a posição final e a inicial)

$$d = |-30 - 0| = 30 \text{ m}$$

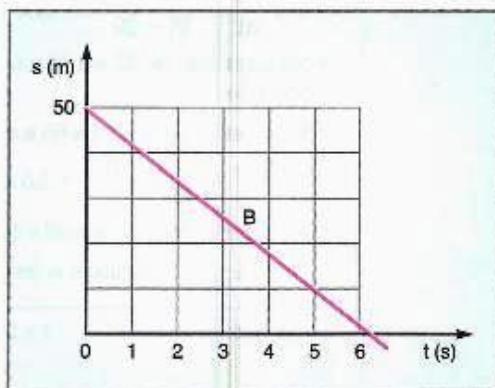
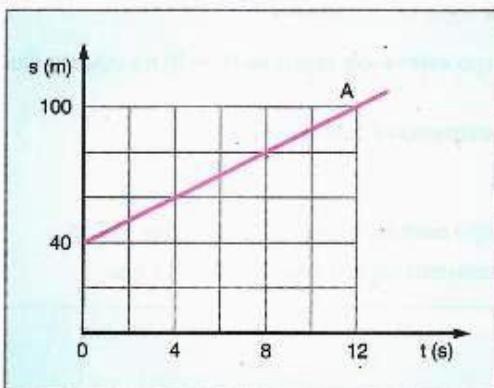
- O gráfico das velocidades é:



Resposta: vide resolução

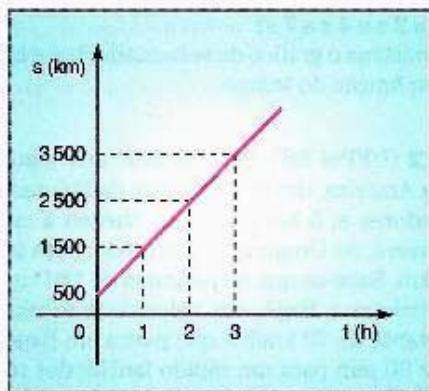
QUESTÕES

Q45 As figuras representam as posições de dois corpos, A e B, em função do tempo.



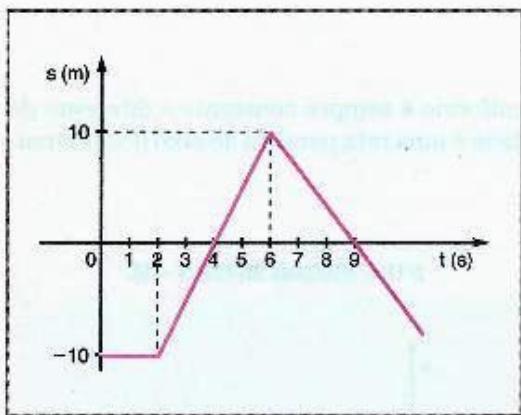
- O movimento desses corpos é uniforme? Por quê? Sim, pois o gráfico é uma reta.
- Qual a função horária das posições de cada um desses corpos? $s_A = 40 + 5t$ e $s_B = 50 - 8,34t$

Q46 Uma nave espacial em movimento tem sua posição no decorrer do tempo, num trecho do movimento, dada pelo gráfico abaixo:



- a) Qual a velocidade da nave? **1 000 km/h**
 b) Onde estará a nave após 8 h de movimento, a partir do instante $t = 0$? **8 500 km**

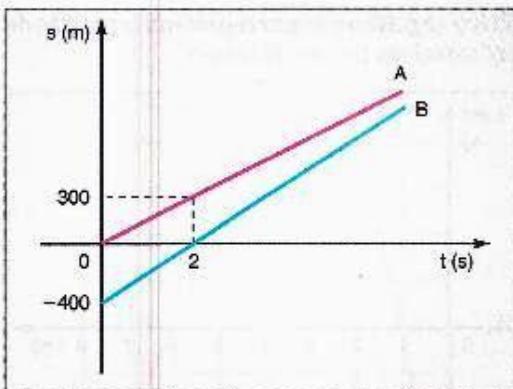
Q47 (ESAL-MG) As posições de um ponto material variam, em função do tempo, de acordo com o gráfico abaixo.



Determinar:

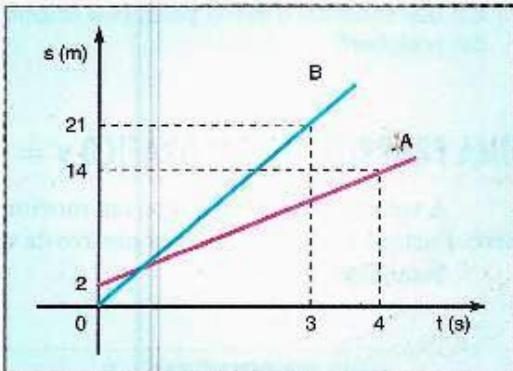
- a) a posição inicial do movimento **-10 m**
 b) o que acontece, com o ponto material, no intervalo de tempo de 0 a 2 s **permanece em repouso**
 c) os instantes em que o móvel passa pela origem das posições **$t = 4\text{ s}$ e $t = 9\text{ s}$**
 d) a velocidade escalar nos instantes 4 s e 9 s **5 m/s e $-3,3\text{ m/s}$**

Q48 Dois mísseis, em treinamento de interceptação, deslocam-se em movimento retílineo e uniforme numa mesma direção e sentido. O gráfico representa o movimento desses mísseis.



- a) Qual o instante em que o míssil B intercepta o míssil A? **8 s**
 b) Qual a distância do ponto de interceptação ao ponto de lançamento? **1 200 m**

Q49 No gráfico, temos as posições assinaladas durante o movimento simultâneo de dois carros, A e B, sobre uma mesma trajetória retílinea.



Determine o instante e a posição do encontro desses carros. **$0,5\text{ s} \text{ e } 3,5\text{ m}$**

Q50 Um móvel em movimento varia sua posição em função do tempo, de acordo com a tabela ao lado.

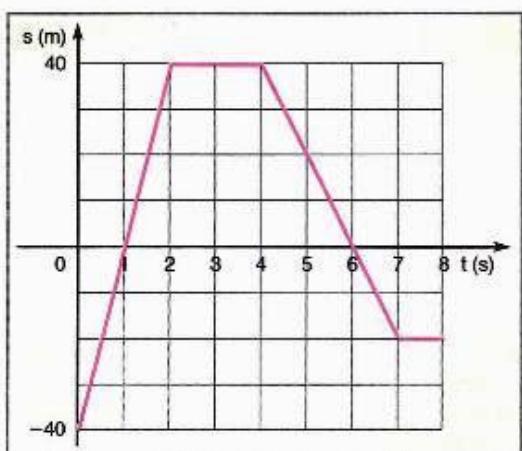
Pedem se:

- a) a posição inicial do móvel **-10 m**
 b) a posição do móvel no instante $4,0\text{ s}$ **10 m**
 c) o instante em que o móvel passa pela origem **$2,0\text{ s}$**
 d) o espaço percorrido entre $t = 0$ e $t = 4,0\text{ s}$ **20 m**
 e) construir o gráfico $s = f(t)$
 f) as velocidades do móvel

$t\text{ (s)}$	$s\text{ (m)}$
0	-10
1,0	-5
2,0	0
3,0	5
4,0	10
5,0	15
6,0	10
7,0	10
8,0	10

$5\text{ m/s}; -5\text{ m/s}; 0$

- Q51** O gráfico a seguir representa a posição de um móvel em função do tempo.



- Em que intervalos de tempo o móvel está em repouso? *entre 2 s e 4 s e entre 7 s e 8 s*
- Em que intervalo de tempo o móvel se desloca no sentido negativo da trajetória? *4 s e 7 s*
- Em que instantes o móvel passa pela origem das posições? *1 s e 6 s*

- Qual o espaço percorrido e o deslocamento do móvel no intervalo de 0 a 6 s? E no intervalo de 0 a 8 s? *120 m e 40 m; 160 m e 0*
- Qual a velocidade do móvel nos intervalos de 0 a 2 s e 4 s a 7 s? *40 m/s e -20 m/s*
- Construa o gráfico da velocidade desse móvel em função do tempo. *resposta no final do livro*

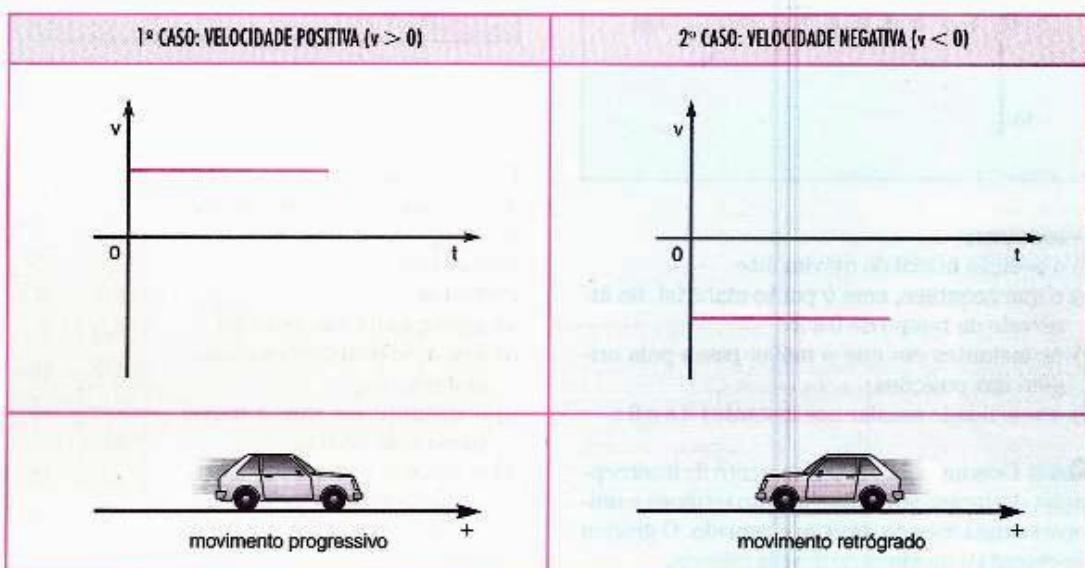
- Q52** (UFPel-RS) Para assistir aos jogos da Copa América, um ônibus partiu de Pelotas com torcedores e, 5 horas depois, chegou à cidade de Rivera, no Uruguai, percorrendo, para tanto, 340 km. Sabendo-se que no percurso de 180 km que liga Pelotas a Bagé, sua velocidade escalar foi constante de 72 km/h e que parou em Bagé durante 30 min para um rápido lanche dos torcedores. No restante da viagem, o motorista impôs velocidade escalar constante.

- Determine a velocidade escalar média do ônibus para o percurso total. *68 km/h*
- Qual o valor da velocidade escalar média do ônibus, no trajeto entre Bagé e Rivera? *80 km/h*
- Construa um gráfico $v \times t$ correspondente ao movimento. *resposta no final do livro*

UMA PROPRIEDADE DO GRÁFICO $v = f(t)$

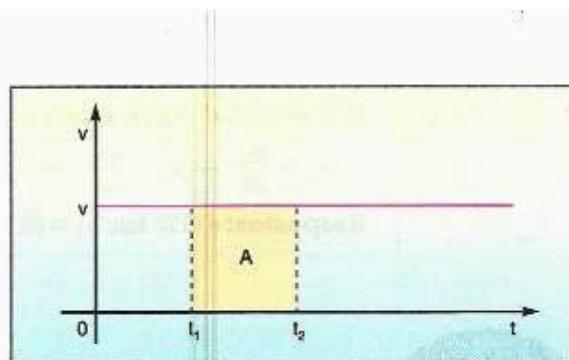
A velocidade de um corpo em movimento uniforme é sempre constante e diferente de zero. Portanto, o gráfico representativo da velocidade é uma reta paralela ao eixo dos tempos.

Temos dois casos:



No gráfico da velocidade em função do tempo, a área A da figura representa numericamente o espaço percorrido pelo móvel entre os instantes t_1 e t_2 .

$$A = v(t_2 - t_1) \rightarrow A = v \cdot \Delta t \rightarrow A = \Delta s$$

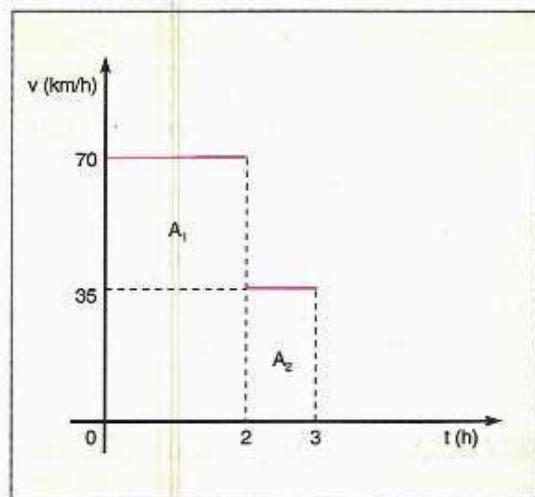


APLICAÇÃO

A12

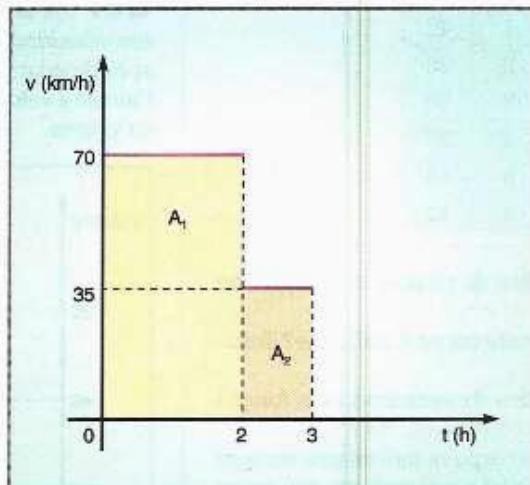
O movimento de um carro em uma estrada está representado na figura.

- Qual o espaço percorrido pelo carro nas primeiras 3 h de movimento?
- Qual a velocidade média do carro no intervalo de 0 a 3 h?



Resolução:

- O espaço percorrido é dado pela área total assinalada na figura abaixo.



$$\Delta s = A_1 + A_2 \rightarrow \Delta s = 2 \cdot 70 + 1 \cdot 35 \rightarrow \Delta s = 175 \text{ km}$$

b) A velocidade média é dada por:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow v_m = \frac{175}{3} \rightarrow v_m \cong 58,3 \text{ km/h}$$

Respostas: a) 175 km; b) $\cong 58,3$ km/h

QUESTÕES

- Q53** (EFOA-MG) Um carro se desloca em linha reta com velocidade constante de 108 km/h.
a) Sabendo-se que $3,6 \text{ km/h} = 1 \text{ m/s}$, calcule a distância percorrida em 30,0 s. **900 m**
b) Esboce, em um sistema de eixos $v \times t$, o gráfico da velocidade desse carro.

resposta no final do livro

- Q54** Em cada caso, represente graficamente a velocidade escalar em função do tempo dos seguintes movimentos: *resposta no final do livro*
a) $s = 10 + 2t$ (no SI)
b) $s = 6 - 4t$ (no SI)
c) $s = -70 + 10t$ (no SI)

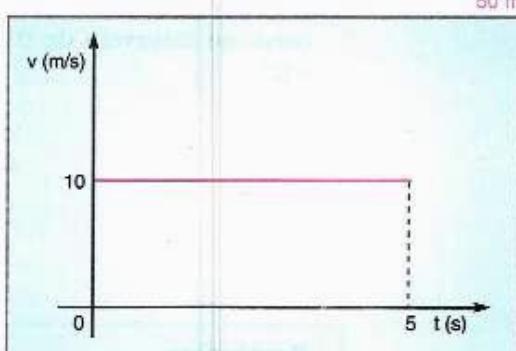
- Q55** A tabela mostra as posições ocupadas por um corpo em movimento sobre uma trajetória retilínea em relação ao tempo.

t (s)	s (m)
0	48
1	42
2	36
3	30
4	24
5	18
6	12

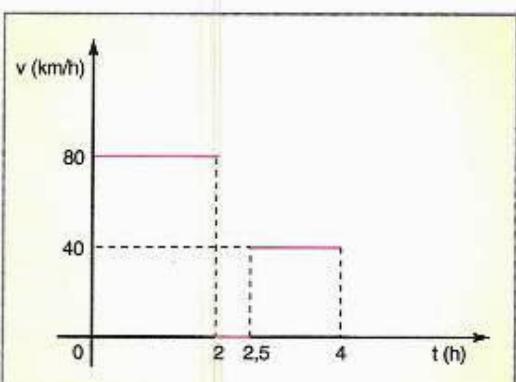
- a) Construa o gráfico da posição em função do tempo. *resposta no final do livro*
b) O movimento desse corpo é uniforme? Justifique. **sim**
c) Construa o gráfico da velocidade em função do tempo. *resposta no final do livro*
d) Admitindo que o corpo se movimente sempre dessa maneira, qual o instante em que passa pela posição $s = 9 \text{ m}$? **6,5 s**
e) Ache a posição do corpo no instante 2,5 s. **33 m**

- f) Usando o gráfico da velocidade, determine o espaço percorrido pelo corpo no intervalo de 1 s a 5 s. **-30 m**

- Q56** Um móvel tem velocidade em função do tempo dada pelo gráfico seguinte. Calcule o espaço percorrido pelo móvel no intervalo de 0 a 5 s. **50 m**



- Q57** Um automóvel faz uma viagem em 4 h e sua velocidade escalar varia em função do tempo aproximadamente como mostra o gráfico. Calcule a velocidade escalar média do automóvel na viagem. **55 km/h**



CAPÍTULO 4

MOVIMENTO UNIFORMEMENTE VARIADO

ACELERAÇÃO ESCALAR MÉDIA

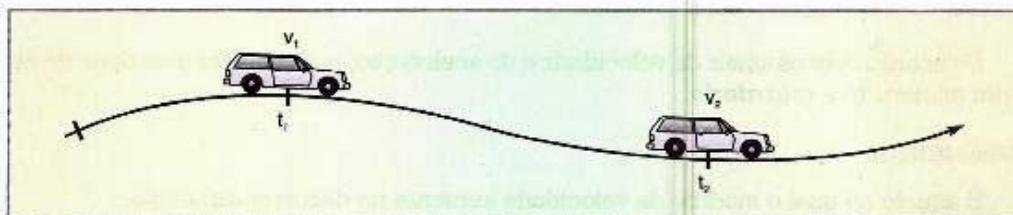
Em quase todos os movimentos de um corpo a velocidade muda de valor no decorrer do tempo.

Assim, considere um carro cujo velocímetro indica, num certo instante $t = 0$, a velocidade de 5 m/s (18 km/h). Se, por exemplo, 1 s após pisar no acelerador, o velocímetro indicar 15 m/s (54 km/h), podemos dizer que a velocidade do carro aumentou de 10 m/s em 1 s.

Nesse caso, dizemos que o carro teve um arranque, isto é, recebeu uma *aceleração*.

A aceleração é responsável pela variação lenta ou rápida da velocidade e relaciona duas grandezas: *variação de velocidade* e tempo.

Para definirmos a aceleração escalar média, vamos considerar um móvel percorrendo a trajetória da figura.



Temos:

- ✓ v_1 = velocidade no instante t_1
- ✓ v_2 = velocidade no instante t_2
- ✓ $\Delta v = v_2 - v_1$ = variação de velocidade
- ✓ $\Delta t = t_2 - t_1$ = intervalo de tempo na variação Δv

Define-se como aceleração escalar média, entre os instantes t_1 e t_2 , a grandeza a_m , dada por:

$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

No exemplo anterior, a aceleração média do automóvel é:

$$a_m = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \rightarrow a_m = \frac{15 \text{ m/s} - 5 \text{ m/s}}{1 \text{ s} - 0} = \frac{10 \text{ m/s}}{1 \text{ s}}$$

Isto significa que o valor da velocidade aumentou, em média, 10 m/s em cada 1 s.
Uma outra forma de se indicar a unidade de medida da aceleração escalar média é:

$$a_m = \frac{10 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{\frac{\text{s}}{1}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{1}{\text{s}} \rightarrow a_m = 10 \text{ m/s}^2 \text{ (lê-se: 10 metros por segundo ao quadrado)}$$

No Sistema Internacional a unidade de aceleração é o metro por segundo ao quadrado e se indica por m/s^2 .

Podemos utilizar também a unidade quilômetro por hora ao quadrado (km/h^2).

Aceleração é a grandeza que relaciona a variação da velocidade com o tempo gasto nessa variação.

ACELERAÇÃO ESCALAR INSTANTÂNEA

A aceleração instantânea é a que corresponde a um instante dado.

Para tanto, devemos reduzir cada vez mais o intervalo de tempo, tornando-o próximo de zero.

A definição matemática é:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} a_m = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \Delta t \rightarrow 0 \text{ (lê-se: } \Delta t \text{ tende a zero)}$$

em que a é a aceleração escalar instantânea.

De acordo com os sinais da velocidade e da aceleração, podemos ter dois tipos de movimento: *acelerado* e *retardado*.

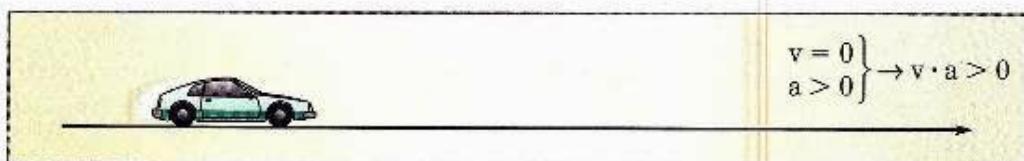
MOVIMENTO ACCELERADO

É aquele no qual o módulo da velocidade aumenta no decorrer do tempo.

Para que isso ocorra devemos ter a velocidade e a aceleração com o mesmo sinal.

$$\text{movimento acelerado} \Leftrightarrow v \cdot a > 0$$

Um móvel percorrendo a trajetória da figura e o motorista pisando no acelerador é um exemplo disso.



t (h)	0	1	2	3	4
v (km/h)	10	30	50	70	90

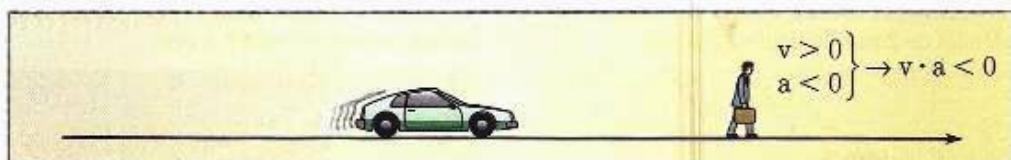
MOVIMENTO RETARDADO

É aquele no qual o módulo da velocidade diminui no decorrer do tempo.

Nesse caso, devemos ter a velocidade e a aceleração com sinais contrários.

$$\text{movimento retardado} \Leftrightarrow v \cdot a < 0$$

Como exemplo, podemos ter um carro freando ao se aproximar de uma pessoa.



t (s)	0	0,5	1	1,5
v (km/h)	60	40	20	0

APLICAÇÃO

13

Um ponto material, em relação a um determinado referencial, tem velocidade, em função do tempo, indicada na tabela.

t (s)	0	1	2	3	4	5	6	7
v (m/s)	3	5	7	9	11	13	15	17

Pedem-se:

- a velocidade inicial do ponto material
- a aceleração média do ponto material no intervalo de 1 s a 5 s
- a classificação do movimento em acelerado ou retardado

Resolução:

- A velocidade inicial é determinada quando $t = 0$; portanto, $v_0 = 3 \text{ m/s}$.
- Se $t_1 = 1 \text{ s} \rightarrow v_1 = 5 \text{ m/s}$ $\rightarrow a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{13 - 5}{5 - 1} = 2 \text{ m/s}^2$
 $t_2 = 5 \text{ s} \rightarrow v_2 = 13 \text{ m/s}$
- Efetuando a leitura da tabela, verificamos que o módulo da velocidade cresce com o tempo; portanto, o movimento é acelerado.

Respostas: a) $v_0 = 3 \text{ m/s}$; b) $a_m = 2 \text{ m/s}^2$; c) acelerado

QUESTÕES

Q58 Imagine-se dirigindo um carro. Como você faria para calcular a aceleração escalar média desse carro num trecho do percurso?

Q59 Calcule a aceleração média de um carro, sabendo que sua velocidade varia de 4 m/s para 12 m/s em 2 s.

- Q60** Um trenó tem velocidade v_0 no instante 4 s e velocidade 15 m/s no instante 9 s. Sabendo que a aceleração escalar média no intervalo de 4 s a 9 s foi de 2 m/s^2 , calcule v_0 . 5 m/s



- Q61** Um carro parte do repouso e atinge a velocidade de 25 m/s em 5 s. Ache sua aceleração média nesse intervalo de tempo. 5 m/s^2

- Q62** (Fuvest-SP) Partindo do repouso, um avião percorre a pista e atinge a velocidade de 360 km/h, em 25 s. Qual o valor da aceleração escalar média, em m/s^2 ? 4 m/s^2



- Q63** Um móvel se movimenta sobre uma trajetória retílinea e tem velocidade, em função do tempo, indicada pela tabela.

t (s)	0	1	2	3	4	5	6
v (m/s)	-2	-6	-10	-14	-18	-22	-26

Pedem-se:

- a aceleração média do móvel no intervalo de 0 a 6 s -4 m/s^2
- classificar o movimento em acelerado ou retardado **acelerado**

O QUE É MOVIMENTO UNIFORMEMENTE VARIADO?

Na natureza, na maior parte dos movimentos, a velocidade varia no decorrer do tempo.

Suponha que, observando o velocímetro de um carro em movimento, em intervalos de tempo de 1 s, você obtenha os valores:

TEMPO (em segundos)	VELOCIDADE (em km/h)
0	20
1	26
2	30
3	37
4	45

$$\begin{aligned}\Delta v &= 6 \text{ km/h} \\ \Delta v &= 4 \text{ km/h} \\ \Delta v &= 7 \text{ km/h} \\ \Delta v &= 8 \text{ km/h}\end{aligned}$$

Note que a variação da velocidade em cada 1 s não é a mesma, ou seja, a aceleração do carro não é constante.

Nesse caso, o movimento é denominado *movimento variado*.

Agora, suponha que você esteja observando o velocímetro de um outro carro em movimento, também em intervalos de 1 s, e obtenha os valores:

TEMPO (em segundos)	VELOCIDADE (em km/h)
0	8
1	18
2	28
3	38

$$\begin{aligned}\Delta v &= 10 \text{ km/h} \\ \Delta v &= 10 \text{ km/h} \\ \Delta v &= 10 \text{ km/h}\end{aligned}$$

Note que a variação de velocidade em cada 1 s é sempre a mesma, ou seja, a aceleração é constante.

Nesse caso, o movimento é denominado *movimento uniformemente variado (MUV)*.

Para que isso ocorra em qualquer intervalo de tempo, a aceleração escalar média deve ser constante, diferente de zero e igual à aceleração escalar instantânea.

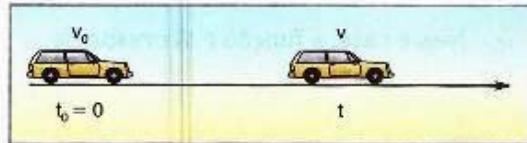
$$a_m = a = \text{cte} \neq 0$$

Movimento uniformemente variado é aquele em que a velocidade escalar é variável e a aceleração escalar é constante e não-nula.

No caso de a trajetória ser retilínea, o movimento é denominado *movimento retilíneo uniformemente variado* (MRUV).

VELOCIDADE EM FUNÇÃO DO TEMPO [$v = f(t)$]

Consideremos um móvel percorrendo, com movimento uniformemente variado, a trajetória da figura.



Sejam:

- v_0 : a velocidade do móvel no instante $t_0 = 0$ (velocidade inicial)
- v : a velocidade do móvel no instante t

A aceleração média do móvel no intervalo de tempo $\Delta t = t - t_0 = t$ é:

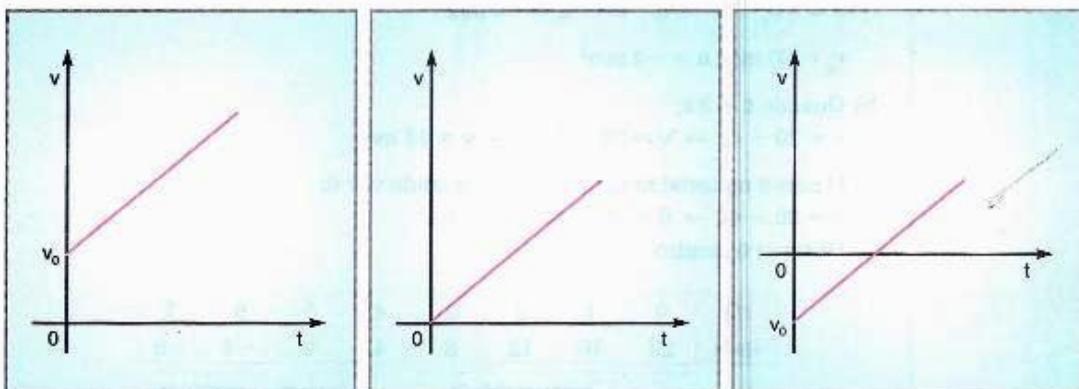
$$a_m = \frac{v - v_0}{t - t_0} \rightarrow a = \frac{v - v_0}{t} \quad (a_m = a = \text{cte})$$

$$v - v_0 = at \rightarrow v = v_0 + at$$

Essa é a função horária da velocidade no movimento uniformemente variado. Como ela é do 1º grau, o gráfico que a representa é uma reta.

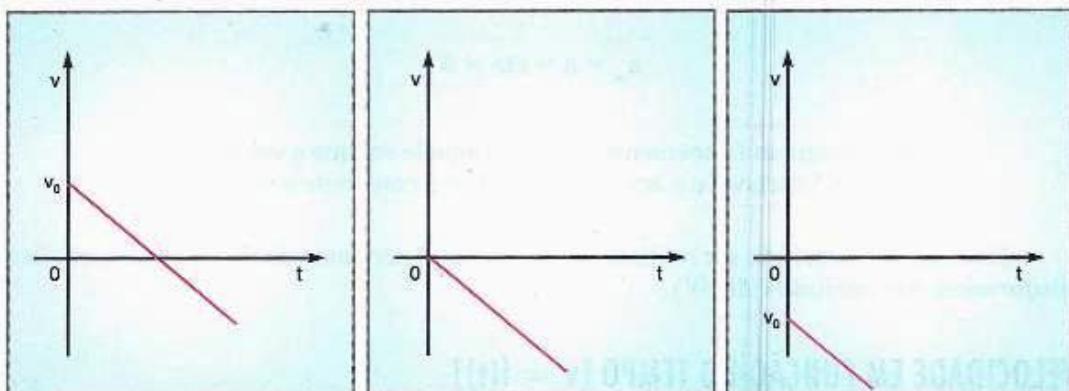
Podemos ter os seguintes casos:

- aceleração positiva ($a > 0$)



Nesse caso, a função é *crescente*.

- aceleração negativa ($a < 0$)



Nesse caso, a função é *decrescente*.

APLICAÇÃO

A14

Um ponto material em movimento adquire velocidade que obedece à função $v = 20 - 4t$ (no SI). Pedem-se:

- a velocidade inicial e a aceleração
- a velocidade no instante 2 s
- o instante em que o ponto material muda de sentido
- a classificação do movimento (acelerado ou retardado) no instante 8 s
- construir o gráfico dessa função

Resolução:

a) A função $v = 20 - 4t$ é do 1º grau, portanto movimento uniformemente variado. Logo, por comparação:

$$\begin{aligned} v &= \underline{20} - \underline{4t} \\ v &= \underline{v_0} + \underline{a} t \end{aligned} \rightarrow \begin{aligned} v_0 &= 20 \text{ m/s} \\ a &= -4 \text{ m/s}^2 \\ v_0 &= 20 \text{ m/s}; a = -4 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

b) Quando $t = 2$ s:

$$v = 20 - 4t \rightarrow v = 20 - 4 \cdot 2 \rightarrow v = 12 \text{ m/s}$$

c) O ponto material muda de sentido quando $v = 0$:

$$v = 20 - 4t \rightarrow 0 = 20 - 4t \rightarrow t = 5 \text{ s}$$

Observe o quadro:

t [s]	0	1	2	3	4	5	6	7
v [m/s]	20	16	12	8	4	0	-4	-8

mesmo sentido do positivo da trajetória ($v > 0$)

muda de sentido contrário ao positivo da trajetória ($v < 0$)

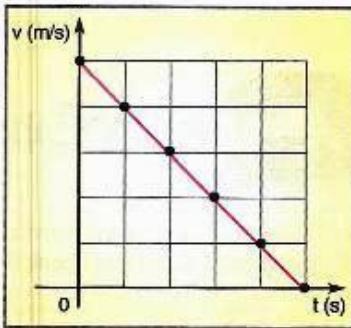
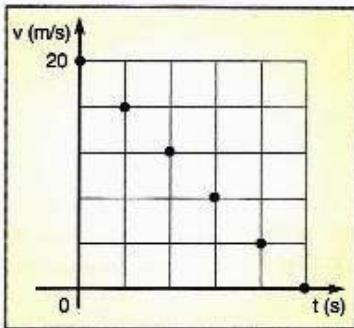
d) Quando $t = 8$ s:

$$v = 20 - 4t \rightarrow v = 20 - 4 \cdot 8 \rightarrow v = -12 \text{ m/s e } a = -4 \text{ m/s}^2$$

Portanto: $v < 0$ { movimento acelerado
 $a < 0$ { (velocidade e aceleração têm sinais iguais)

e) O gráfico é retílineo, pois a função $v = 20 - 4t$ é do 1º grau. Logo:

t	v
0	20
1	16
2	12
3	8
4	4
5	0

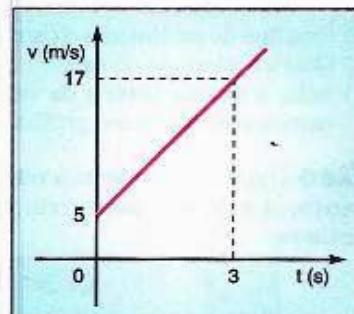


Respostas: a) $v_0 = 20 \text{ m/s}$, $a = -4 \text{ m/s}^2$; b) 12 m/s;
 c) 5 s; d) acelerado; e) vide resolução

A 15

O gráfico representa a velocidade de um motociclista em função do tempo. O motociclista movimenta-se em linha reta.

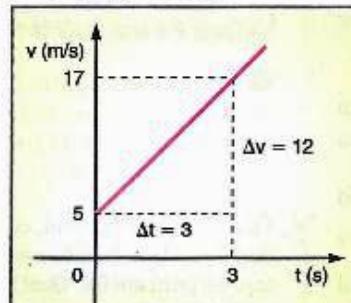
- Que tipo de movimento o motociclista efetua?
- Qual a velocidade inicial do motociclista?
 Qual a sua aceleração?
- Qual a velocidade do motociclista no instante 7 s?



Resolução:

- Como o gráfico da velocidade em função do tempo é uma reta e a trajetória, retilínea, o motociclista realiza um movimento retilíneo uniformemente variado.
- A velocidade inicial é o valor de v correspondente a $t = 0$. Logo:

$$t = 0 \rightarrow v_0 = 5 \text{ m/s}$$



Para calcular a aceleração, vamos obter os valores correspondentes de Δv e Δt .

$$\begin{cases} \Delta t = 3 - 0 = 3 \text{ s} \\ \Delta v = 17 - 5 = 12 \text{ m/s} \end{cases}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{12}{3} \rightarrow a = 4 \text{ m/s}^2$$

c) Para achar a velocidade no instante 7 s, vamos escrever a função horária da velocidade do MRUV.

$$v = v_0 + at \rightarrow v = 5 + 4t$$

Se $t = 7$ s, obtemos:

$$v = 5 + 4 \cdot 7 \rightarrow v = 33 \text{ m/s}$$

Respostas: a) MRUV; b) 5 m/s e 4 m/s²; c) 33 m/s

QUESTÕES

Q64 O que caracteriza um movimento uniformemente variado? É um movimento variado qualquer?

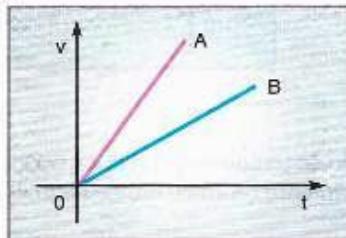
A velocidade do corpo apresenta variação constante com o tempo. A aceleração do corpo apresenta uma variação que não é constante com o tempo.

Q65 A velocidade de um carro no decorrer do tempo é mostrada na tabela.

t (s)	0	1	2	3	4	5	6
v (m/s)	5	8	11	14	17	20	23

- Que tipo de movimento o carro realiza? **MUV**
- Qual a aceleração do carro? **3 m/s^2**
- Ache a função horária da velocidade desse carro e construa o seu gráfico. **$v = 5 + 3t$**

Q66 O gráfico representa a velocidade de dois carros, A e B, que percorrem uma trajetória retilínea.



- Os carros A e B realizam um movimento uniformemente variado? Justifique sua resposta. **sim**
- Qual dos carros tem maior aceleração? Por quê? **A**

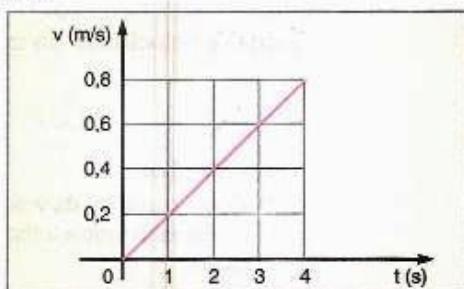
Q67 A função da velocidade de um móvel em movimento retilíneo é dada por $v = 50 + 4t$ (no SI).

- Qual a velocidade inicial e a aceleração do móvel? **50 m/s e 4 m/s^2**
- Qual a velocidade do móvel no instante 5 s? **70 m/s**
- Em que instante a velocidade do móvel é igual a 100 m/s? **12,5 s**

Q68 Um ponto material em movimento retilíneo adquire velocidade que obedece à função $v = 40 - 10t$ (no SI). Determine:

- a velocidade inicial **40 m/s**
- a aceleração **-10 m/s^2**
- a velocidade no instante 5 s **-10 m/s**
- o instante em que o ponto material muda de sentido **4 s**
- a classificação do movimento (acelerado ou retardado) nos instantes 2 s e 6 s
 $t = 2 \text{ s} \rightarrow \text{mov. retardado}$ $t = 6 \text{ s} \rightarrow \text{mov. acelerado}$

Q69 (EFOA-MG) A figura mostra o gráfico da velocidade em função do tempo para o movimento de um barco que está deixando um ancoradouro.

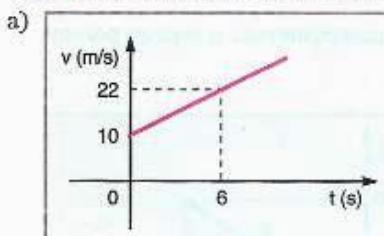


- Qual é a velocidade do barco 3 s após o início do movimento? **0.6 m/s**
- Qual é a sua aceleração? **0.2 m/s^2**

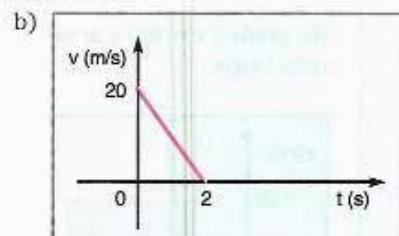
Q70 Um móvel parte com velocidade de 4 m/s de um ponto de uma trajetória retilínea com aceleração constante de 5 m/s². Ache sua velocidade no instante 16 s. **84 m/s**

Q71 Um automóvel, correndo com velocidade de 90 km/h, é freado com uma aceleração constante e pára em 5 s. Qual a aceleração introduzida pelos freios? **-5 m/s^2**

Q72 Em cada caso, determine a função horária da velocidade.



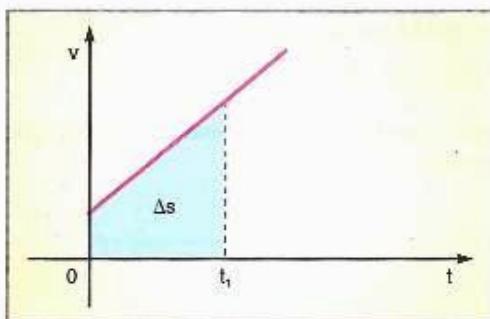
$$v = 10 + 2t$$



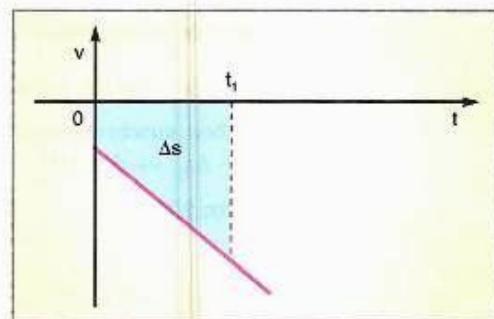
$$v = 20 - 10t$$

CÁLCULO DO ESPAÇO PERCORRIDO USANDO O GRÁFICO $v = f(t)$

A área limitada pelo gráfico representativo e pelos eixos coordenados entre os instantes 0 e t_1 é igual ao valor numérico do espaço percorrido pelo corpo entre esses instantes.



$$\text{área do trapézio} = \Delta s > 0$$



$$\text{área do trapézio} = \Delta s < 0$$

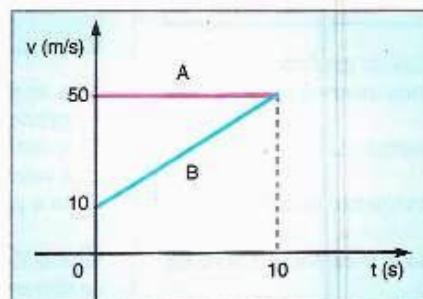
O espaço percorrido Δs pode ser positivo ou negativo, conforme essa área esteja acima ou abaixo do eixo dos tempos.

APLICAÇÃO

A16

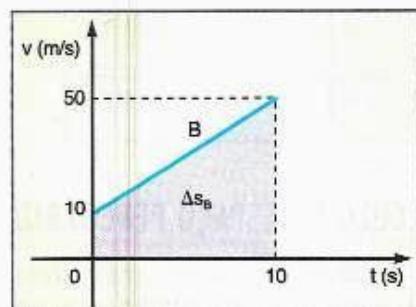
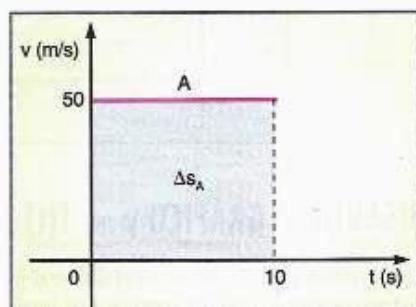
Dois móveis, A e B , partem da origem dos espaços no mesmo instante $t_0 = 0$, seguindo a mesma trajetória retilínea. As suas velocidades variam com o tempo de acordo com o gráfico da figura.

Calcule a distância entre eles após 10 s de movimento.



Resolução:

No gráfico $v = f(t)$ a área sob a reta fornece numericamente o espaço percorrido. Logo:



$$\Delta s_A = \text{área do retângulo} \rightarrow \Delta s_A = 10 \cdot 50 \rightarrow \Delta s_A = 500 \text{ m}$$

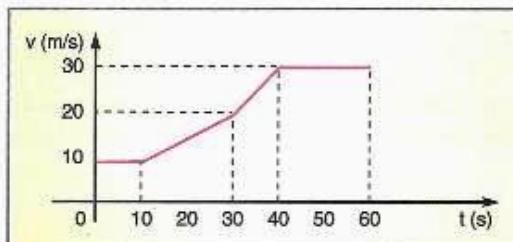
$$\Delta s_B = \text{área do trapézio} \rightarrow \Delta s_B = \frac{(50 + 10) \cdot 10}{2} \rightarrow \Delta s_B = 300 \text{ m}$$

Como ambos partem da origem (mesmo ponto), a distância entre eles é dada por:
 $d = \Delta s_A - \Delta s_B \rightarrow d = 500 - 300 = 200 \text{ m}$

Resposta: 200 m

QUESTÕES

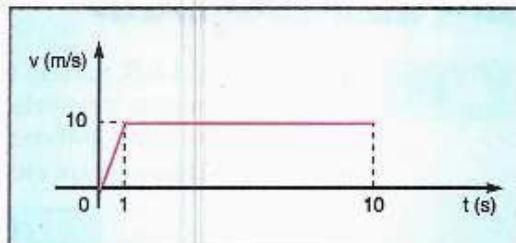
Q73 (UFLA-MG) O gráfico abaixo representa a variação da velocidade do móvel em função do tempo.



Com base nas informações do gráfico:

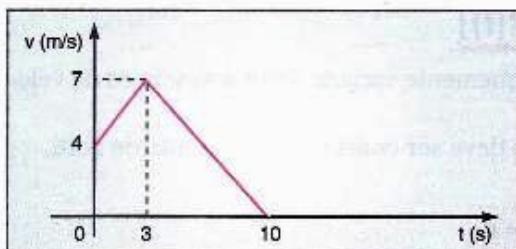
- calcule a aceleração nos intervalos 10 s a 30 s e 30 s a 40 s $0,5 \text{ m/s}^2$ e 1 m/s^2
- calcule o espaço percorrido Δs no intervalo de 30 s a 40 s 250 m
- descreva o tipo de movimento no intervalo de 40 s a 60 s **movimento uniforme**
- diga o que representa a área sob a curva no intervalo de 0 s a 60 s Δs

Q74 (UFPel-RS) Em uma corrida que durou 10 s, desde a largada até a chegada, um corredor apresentou a variação de velocidade representada no gráfico. Com base nesses dados, calcule:



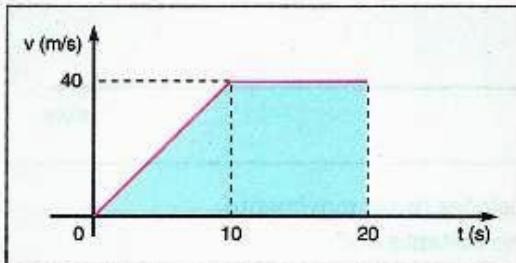
- a aceleração escalar média do corredor no primeiro segundo do movimento 10 m/s^2
- a distância percorrida por ele durante os 10 s 95 m
- a velocidade escalar média do corredor durante a prova $9,5 \text{ m/s}$

Q75 É dado o gráfico de um ponto material que se movimenta numa trajetória retilínea.



- a) Qual a aceleração do ponto material nos intervalos de 0 s a 3 s e de 3 s a 10 s? $1,0 \text{ m/s}^2$ e $-1,0 \text{ m/s}^2$
 b) Qual a velocidade escalar média no intervalo de 0 s a 10 s? $4,1 \text{ m/s}$

Q76 O gráfico da figura mostra como o módulo da velocidade de uma partícula varia em função do tempo. Analise as afirmações.



I - De 0 s a 10 s a partícula tem velocidade constante.

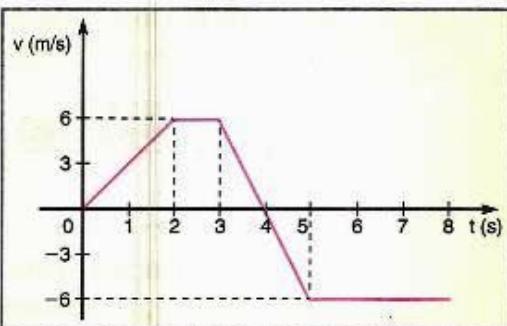
II - De 10 s a 20 s a partícula tem aceleração constante e não-nula.

III - A área em azul representa a distância percorrida pela partícula de 0 s a 20 s.

IV - De 0 s a 10 s a partícula tem velocidade dada pela equação $v = 4t$.

Quais estão corretas? III e IV

Q77 (UFPE) A velocidade de um objeto que se move ao longo de uma linha reta horizontal está representada em função do tempo na figura abaixo. Qual o deslocamento, em metros, do objeto após os primeiros 5 s? -18 m

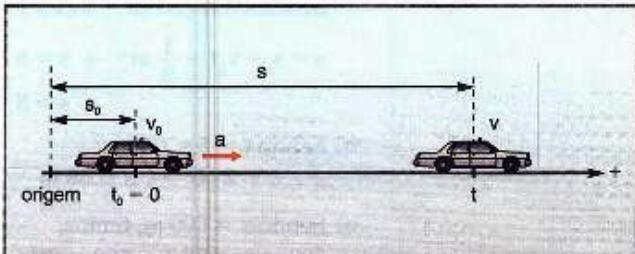


POSIÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO [$s = f(t)$]

Consideremos um corpo percorrendo a trajetória da figura com movimento uniformemente variado.

Sejam:

- ✓ s_0 = a posição do móvel no instante $t_0 = 0$ (posição inicial)
- ✓ v_0 = a velocidade do móvel no instante $t_0 = 0$ (velocidade inicial)
- ✓ s = a posição do móvel no instante t
- ✓ v = a velocidade do móvel no instante t
- ✓ a = a aceleração



A partir do gráfico da função horária da velocidade podemos demonstrar que a posição do corpo, no decorrer do tempo, sobre a trajetória da figura é dada por:

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Essa função permite determinar a posição s num instante t qualquer, desde que se conheçam a posição inicial s_0 , a velocidade inicial v_0 e a aceleração a .

ACELERAÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO [$a = f(t)$]

Um móvel que realiza um movimento uniformemente variado sofre acréscimos de velocidade iguais em intervalos de tempo iguais.

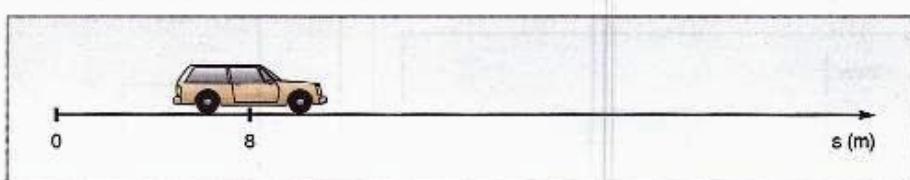
Para que isso ocorra, a aceleração do corpo deve ser constante e diferente de zero.

$$a = \text{ctc} \neq 0$$

APLICAÇÃO

A 17

Um carro encontra-se parado na posição 8 m de uma trajetória retilínea. Quando acionamos o cronômetro, ele arranca com aceleração constante de 4 m/s^2 no sentido positivo da trajetória.



- Escreva a função horária das posições desse movimento.
- Em que posição o carro estará no instante 5 s?
- Em que instante o carro passará pela posição 600 m?

Resolução:

- O carro encontra-se inicialmente parado ($v_0 = 0$).

Quando acionamos o cronômetro ($t = 0$) a posição inicial do carro é $s_0 = 8 \text{ m}$.

Se a aceleração ($a = 4 \text{ m/s}^2$) é constante, o carro realiza um MRUV. Logo:

$$\begin{aligned}s &= s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \rightarrow s = 8 + 0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot t^2 \\&s = 8 + 2t^2\end{aligned}$$

- Sendo $t = 5 \text{ s}$, temos:

$$s = 8 + 2 \cdot 5^2 \rightarrow s = 58 \text{ m}$$

- Sendo $s = 600 \text{ m}$, temos:

$$600 = 8 + 2t^2 \rightarrow 592 = 2t^2 \rightarrow t = \sqrt{296} \rightarrow t \approx 17,2 \text{ s}$$

Respostas: a) $s = 8 + 2t^2$; b) 58 m; c) $\approx 17,2 \text{ s}$

A 18

Um corpo desloca-se sobre uma trajetória retilínea obedecendo à função horária $s = 65 + 2t - 3t^2$ (no SI). Pedem-se:

- a posição inicial, a velocidade e a aceleração do corpo
- a função horária da velocidade
- o instante em que o móvel passa pela origem das posições

Resolução:

a) Por comparação:

$$\begin{aligned} s &= \underbrace{65}_{s_0} + \underbrace{\left(2\right)}_{v_0} t - 3t^2 \\ s &= \underbrace{s_0}_{s_0} + \underbrace{\left(v_0\right)}_{v_0} t + \frac{1}{2} at^2 \end{aligned}$$

$$\begin{cases} s_0 = 65 \text{ m} \\ v_0 = 2 \text{ m/s} \\ \frac{1}{2} a = -3 \rightarrow a = -6 \text{ m/s}^2 \end{cases}$$

b) $v = v_0 + at \rightarrow v = 2 - 6t$

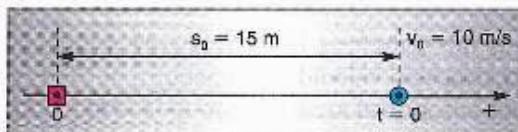
c) Quando o corpo passa pela origem das posições temos $s = 0$. Logo:

$$0 = 65 + 2t - 3t^2 \rightarrow \begin{cases} t' = 5 \text{ s} \\ t'' = -\frac{13}{3} \text{ s} \end{cases}$$

Em Cinemática só trabalhamos com tempo positivo, portanto $t = 5 \text{ s}$.**Respostas:** a) 65 m, 2 m/s e -6 m/s^2 ; b) $v = 2 - 6t$; c) 5 s

QUESTÕES

Q78 Um móvel percorre uma trajetória retílinea em movimento uniformemente variado, conforme indica a figura.



No instante inicial ($t = 0$) sua velocidade é de 10 m/s em movimento retardado de aceleração -2 m/s^2 .

- a) Escreva as funções $s = f(t)$ e $v = f(t)$ desse movimento. $s = 15 + 10t - t^2$ e $v = 10 - 2t$ (SI)
b) Qual a posição e a velocidade escalar do móvel no instante $t = 8 \text{ s}$? 31 m e -6 m/s

Q79 (UMC-SP) Um carro parte do repouso no instante $t_0 = 0 \text{ s}$ (onde $x_0 = 0 \text{ m}$) com aceleração constante de $2,0 \text{ m/s}^2$. Calcule:

- a) a posição e a velocidade do carro no instante $t = 10 \text{ s}$ 100 m e 20 m/s
b) a velocidade média do carro entre os instantes 0 s e 10 s 10 m/s

Q80 Um corpo desloca-se sobre uma trajetória retílinea obedecendo à função horária $s = -40 - 2t + 2t^2$ (no SI). Pedem-se:
a) a posição inicial, a velocidade inicial e a aceleração do corpo $s_0 = -40 \text{ m}$; $v_0 = -2 \text{ m/s}$ e $a = 4 \text{ m/s}^2$

- b) a função horária da velocidade $v = -2 + 4t$
c) o instante em que o corpo passa pela origem das posições 5 s

Q81 Um móvel desloca-se sobre uma trajetória retílinea obedecendo à função horária $s = 6 - 5t + t^2$ (no SI). Determine:

- a) a posição do móvel no instante 5 s 6 m
b) o caminho percorrido pelo móvel entre os instantes 4 s e 6 s 10 m
c) o instante em que o móvel passa pela posição 56 m 10 s

Q82 (UFSC) Uma partícula, efetuando um movimento retílineo, desloca-se segundo a equação $x = -2 - 4t + 2t^2$, onde x é medido em metros e t em segundos. Qual é o módulo da velocidade média, em m/s, dessa partícula entre os instantes $t = 0 \text{ s}$ e $t = 4 \text{ s}$? 4 m/s

Q83 (UFPR) Dois móveis, A e B , partem simultaneamente de um mesmo ponto, com direções perpendiculares entre si. O móvel A tem velocidade constante igual a 10 m/s e o móvel B , movimento uniformemente acelerado, partindo do repouso com aceleração de 4 m/s^2 . Determine a distância entre os dois móveis após 5 s de movimento. $50\sqrt{2} \text{ m}$

Q84 Um trem parte do repouso, da origem das posições de uma trajetória retilínea, com aceleração constante de 4 m/s^2 .

- a) Que velocidade tem após 10 s? **40 m/s**
- b) Que distância percorreu em 10 s? **200 m**
- c) Qual a distância percorrida até o instante em que sua velocidade atinge 60 m/s? **450 m**
- d) Qual é sua velocidade média no intervalo de 0 s a 10 s? **20 m/s**

Q85 (UFSC) Um trem, em movimento retilíneo uniformemente desacelerado, reduz a sua velocidade de 12 m/s para 6 m/s. Sabendo que durante o tempo de 6 s a distância percorrida foi

igual a 54 m, determine o valor numérico, em m/s^2 , da desaceleração do trem. **-1 m/s²**

Q86 Num teste de corrida, um carro consegue atingir a velocidade de 40 m/s em 5 s. Sabendo que o movimento é uniformemente acelerado, e que ele parte do repouso, calcule a distância percorrida durante 14 s. **784 m**

Q87 Um carro, viajando com velocidade escalar de 72 km/h, breca repentinamente e consegue parar em 4 s. Considerando a desaceleração uniforme, qual a distância percorrida pelo carro durante esses 4 s? **40 m**

ENCONTRO DE DOIS CORPOS E ULTRAPASSAGEM

Já resolvemos questões sobre esse tema quando estudamos o movimento uniforme.

Agora, vamos resolver questões semelhantes que envolvem o movimento uniformemente variado.

APLICAÇÃO

A19

Um automóvel está parado diante de um semáforo. Imediatamente após o sinal ter aberto, um caminhão o ultrapassa com velocidade constante de 20 m/s. Nesse exato instante, o motorista do automóvel arranca com uma aceleração de 4 m/s^2 .

- a) Após quanto tempo o automóvel alcançará o caminhão?
- b) Quanto terá percorrido o automóvel?

Resolução:

a) As funções horárias do movimento são:

automóvel (MUV)

$$s_A = s_{0A} + v_{0A}t + \frac{1}{2} a_A t^2 \rightarrow s_A = 0 + 0 + \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot t^2 \rightarrow s_A = 2t^2$$

caminhão (MU)

$$s_C = s_{0C} + v_{0C}t \rightarrow s_C = 0 + 20t \rightarrow s_C = 20t$$

Quando o automóvel alcança o caminhão, temos:

$$s_A = s_C \rightarrow 2t^2 = 20t$$

$$2t^2 - 20t = 0$$

$$2t(t - 10) = 0 \rightarrow t = 0 \text{ (não satisfaz)}$$

$$t = 10 \text{ s}$$

b) $s_A = 2t^2 \rightarrow s_A = 2 \cdot 10^2 \rightarrow s_A = 200 \text{ m}$

Respostas: a) 10 s; b) 200 m

QUESTÕES

Q88 Um ciclista *A* inicia uma corrida a partir do repouso, acelerando $0,50 \text{ m/s}^2$. Nesse instante passa por ele um ciclista *B*, com velocidade constante de $5,0 \text{ m/s}$ e no mesmo sentido que o ciclista *A*.

- Depois de quanto tempo após a largada o ciclista *A* alcança o ciclista *B*? 20 s
- Qual a velocidade do ciclista *A* ao alcançar o ciclista *B*? 10 m/s

Q89 De uma cidade *A* parte, do repouso, para uma cidade *B* um carro em movimento uniformemente acelerado de aceleração 12 km/h^2 . Nesse exato momento parte de *B* para *A*, na mesma direção, um outro carro com velocidade constante de 25 km/h . A distância entre as cidades *A* e *B* é de 469 km . Determine:

- o instante do encontro 7 h
- a posição do encontro $294 \text{ km de } A$

Q90 Dois automóveis iguais, de comprimento $4,5 \text{ m}$, estão percorrendo uma pista retilínea, lado a lado, com velocidade constante de 36 km/h . O primeiro inicia um MUV. Acelerando, após 3 s ultrapassa totalmente o segundo. Qual foi a aceleração empregada na ultrapassagem e qual a velocidade final do primeiro veículo?

1 m/s^2 e 18 m/s

Q91 (UFMG) No instante em que um sinal de trânsito muda para o verde, um carro que estava

parado arranca com uma aceleração constante de $0,50 \text{ m/s}^2$. Nesse instante, um ônibus ultrapassa o carro com uma velocidade constante de $8,0 \text{ m/s}$. Ambos se movimentam em uma linha reta.



- Determine a que distância do sinal estarão o ônibus e o carro, depois de 20 s . $180 \text{ m e } 100 \text{ m}$
- Calcule o tempo que o carro levará para alcançar o ônibus. 32 s

Q92 (EFOA-MG) Um trem de 160 m de comprimento está parado, com a frente da locomotiva colocada exatamente no início de uma ponte de 200 m de comprimento, num trecho de estrada retilíneo. Num determinado instante, o trem começa a atravessar a ponte com aceleração de $0,8 \text{ m/s}^2$, que se mantém constante até que ele atravesse completamente a ponte.

- Qual o tempo gasto pelo trem para atravessar completamente a ponte? 30 s
- Qual a velocidade no instante em que ele abandona completamente a ponte? 24 m/s

FÓRMULA DE TORRICELLI

O físico italiano Evangelista Torricelli (1608-1647) foi responsável pela fórmula que relaciona a velocidade com o espaço percorrido pelo corpo num movimento uniformemente variado.

Podemos obter essa fórmula da seguinte forma:

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad ①$$

$$v = v_0 + at \quad ②$$

Isolando o valor de t na segunda equação e substituindo na primeira, temos:

$$\text{De } ② \rightarrow t = \frac{v - v_0}{a}$$

$$S = S_0 + v_0 \left(\frac{v - v_0}{a} \right) + \frac{1}{2} a \left(\frac{v - v_0}{a} \right)^2$$

$$S - S_0 = v_0 \frac{v - v_0}{a} - \frac{1}{2} a (v - v_0)^2$$

Substituindo na equação ①:

$$s = s_0 + v_0 \left(\frac{v - v_0}{a} \right) + \frac{1}{2} a \left(\frac{v - v_0}{a} \right)^2$$

Eliminando os parênteses e reduzindo ao mesmo denominador, obtemos:

$$v^2 = v_0^2 + 2a(s - s_0) \rightarrow \boxed{v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s}$$

APLICAÇÃO

A 20

Na decolagem, um avião percorre, a partir do repouso e sobre a pista, 900 m com aceleração escalar constante de 50 m/s^2 . Calcule a velocidade de decolagem do avião.

Resolução:

Esquema



$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s \rightarrow v^2 = 0^2 + 2 \cdot 50 \cdot 900 \rightarrow v^2 = 90\,000 \rightarrow v = 300 \text{ m/s}$$

Resposta: 300 m/s

QUESTÕES

Q93 Uma bicicleta tem velocidade inicial de $4,0 \text{ m/s}$ e adquire uma aceleração constante de $1,8 \text{ m/s}^2$. Qual é sua velocidade após percorrer 50 m ? 14 m/s

Q94 Um carro corre a uma velocidade de 72 km/h . Quando freado, pára após percorrer 50 m . Calcule a aceleração introduzida pelos freios. -4 m/s^2

Q95 Uma composição de metrô parte de uma estação e percorre 100 m , com aceleração constante, atingindo 20 m/s . Determine a aceleração e a duração do processo. 2 m/s^2 e 10 s



Marcello Klimuk

Q96 (UFPE) Uma bala, que se move a uma velocidade escalar de 200 m/s , ao penetrar em um bloco de madeira fixo sobre um muro é desacelerada uniformemente até parar. Qual o tempo que a bala levou em movimento dentro do bloco, se a distância total percorrida em seu interior foi igual a 10 cm ? $1 \cdot 10^{-3} \text{ s}$

Q97 (FMTM-MG) Um motorista, que está dirigindo um automóvel à velocidade constante de 36 km/h , vê, num determinado instante, acender-se a luz vermelha do semáforo do cruzamento que está 20 m adiante. Sabendo que ele deve parar antes do cruzamento, pergunta-se:

a) Se ele frear exatamente no instante em que a luz vermelha se acende, com aceleração constante, qual deverá ser o valor mínimo dessa aceleração? $-2,5 \text{ m/s}^2$

b) Suponha que os freios não possam produzir uma aceleração, em módulo, superior a 4 m/s^2 . Qual o tempo máximo que ele pode demorar (considerando o tempo de reação do motorista e alguma possível hesitação) para acionar os freios? $0,75 \text{ s}$

Q98 (FURRN) Um avião deve alcançar uma velocidade de 500 km/h para poder decolar. Ele atinge tal velocidade após percorrer 2 km de pista. Qual a aceleração média, em km/h^2 , necessária para este objetivo? **62,500 km/h^2**

Q99 (UEMA) Um trem, viajando a uma velocidade escalar de 54 km/h, pára em um intervalo de tempo de 1 min após a aplicação dos freios. Considere o movimento do trem, durante a freada, uniformemente retardado. Calcule, durante a freada:

- a aceleração escalar do trem **$0,25 \text{ m/s}^2$**
- a distância percorrida pelo trem **450 m**

Q100 (UFMS) Um motorista conduz seu carro em uma rua, com velocidade de 72 km/h. Em um dado instante ele percebe que a rua está fe-

chada a 106 m de sua posição atual. Imediatamente ele freia o carro, provocando uma aceleração de -5 m/s^2 . A quantos metros do ponto em que a rua está fechada o carro irá parar?

66 m

Q101 (Unesp-SP) Um jovem afoito parte com seu carro, do repouso, numa avenida horizontal e retilínea, com uma aceleração constante de 3 m/s^2 . Mas, 10 s depois da partida, ele percebe a presença da fiscalização logo adiante. Nesse instante ele freia, parando junto ao posto onde se encontram os guardas.

- Se a velocidade máxima permitida nessa avenida é 80 km/h, ele deve ser multado? Justifique. **sim**
- Se a frenagem durou 5 s com aceleração constante, qual a distância total percorrida pelo jovem, desde o ponto de partida ao posto de fiscalização? **225 m**

INTERPRETAÇÃO DE GRÁFICOS DO MOVIMENTO UNIFORMEMENTE VARIADO

Posição em função do tempo [$s = f(t)$]

A função horária das posições do movimento uniformemente variado é $s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$.

Como essa função é do 2º grau em relação ao tempo, seu gráfico representativo é uma parábola.

APLICAÇÃO

4.21

Um móvel realiza um MUV sobre uma trajetória retilínea obedecendo à função horária $s = 5 - 6t + t^2$ (no SI). Construa o gráfico dessa função e efetue um estudo do movimento.

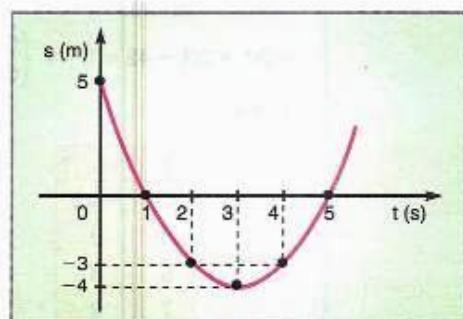
Resolução:

Tabelando a função, temos:

t	s
0	5
1	0
2	-3
3	-4
4	-3
5	0

raiz da função
abscissa do vértice
raiz da função

ordenada do vértice

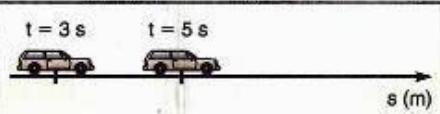
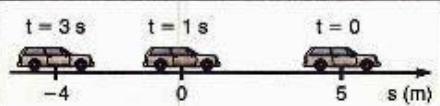


Lembre-se de que a abscissa e a ordenada do vértice da função quadrática $y = ax^2 + bx + c$ são dadas por:

$$x_v = -\frac{b}{2a} \quad \text{e} \quad y_v = -\frac{\Delta}{4a}$$

Estudo do movimento:

- A parábola tem a concavidade voltada para cima porque a aceleração é positiva ($a = 2 \text{ m/s}^2$).
- O móvel parte da posição igual a 5 m, caminha contra o positivo da trajetória com velocidade inicial -6 m/s .
- No intervalo de 0 s a 3 s o movimento é retardado ($v < 0$ e $a > 0$). As posições decrescem algebricamente com o tempo.
- O móvel muda de sentido quando $t = 3 \text{ s}$, isto é, quando $v = 0$.
- No intervalo $t > 3 \text{ s}$ as posições crescem algebricamente com o tempo ($v > 0$) e o movimento é acelerado.
- O móvel passa pela origem das posições ($s = 0$) nos instantes 1 s e 5 s.



Resposta: vide resolução

A 22

A função horária das posições de um ponto material sobre uma trajetória retilínea é $s = -42 + 20t - 2t^2$ (no SI). Construa o gráfico dessa função e efetue um estudo do movimento.

Resolução:

Colocaremos na tabela somente os valores 0 (zero), as raízes da função e a abscissa do vértice.

Cálculo da abscissa e da ordenada do vértice:

$$x_v = -\frac{b}{2a} = -\frac{20}{2(-2)} = 5$$

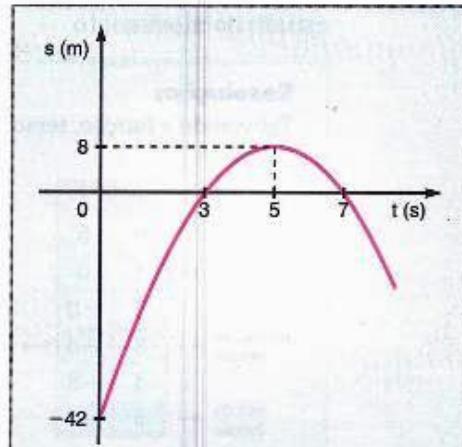
$$y_v = -\frac{\Delta}{4a} = -\frac{(400 - 336)}{4(-2)} = 8$$

Cálculo das raízes:

$$-2t^2 + 20t - 42 = 0 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} t' = 3 \text{ s} \\ t'' = 7 \text{ s} \end{array} \right.$$

Logo:

t	s
0	-42
3	0
5	8
7	0



Estudo do movimento:

- A parábola tem a concavidade voltada para baixo porque a aceleração é negativa ($a = -4 \text{ m/s}^2$).
- O ponto material parte da posição inicial igual a -42 m e caminha a favor do sentido positivo da trajetória com velocidade inicial de 20 m/s .
- No intervalo de 0 s a 5 s o movimento é retardado ($v > 0$ e $a < 0$). As posições crescem algebraicamente com o tempo.
- O ponto material muda de sentido ($v = 0$) quando $t = 5 \text{ s}$.
- Para $t > 5 \text{ s}$ o movimento é acelerado ($v < 0$ e $a < 0$). As posições decrescem algebraicamente com o tempo.
- O ponto material passa pela origem das posições ($s = 0$) nos instantes $t = 3 \text{ s}$ e $t = 7 \text{ s}$.

Resposta: vide resolução

QUESTÕES

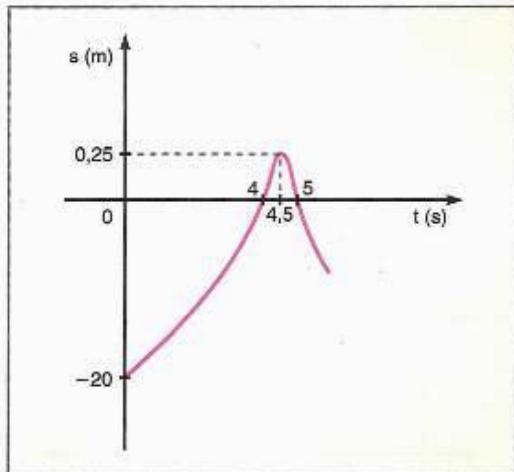
Q102 Um móvel realiza MUV sobre uma trajetória retilínea obedecendo à função horária $s = 12 - 8t + t^2$ (no SI). Construa o gráfico dessa função e efetue um estudo do movimento.

resposta no final do livro

Q103 Um corpo realiza MUV sobre uma trajetória retilínea obedecendo à função horária $s = 30 + 9t - 3t^2$ (no SI). Construa o gráfico dessa função e efetue um estudo do movimento.

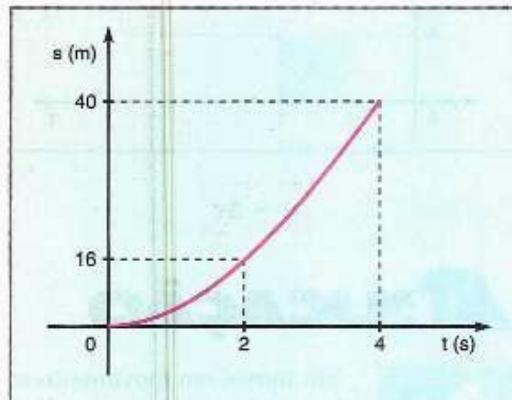
resposta no final do livro

Q104 O gráfico representativo da posição de um corpo em MUV sobre uma trajetória retilínea é indicado na figura abaixo. Determine:



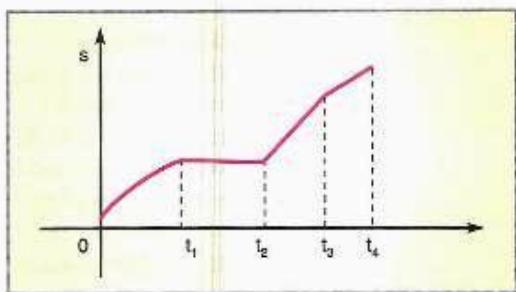
- a) a posição inicial do corpo -20 m
- b) o instante em que o corpo muda de sentido $4,5 \text{ s}$
- c) os instantes em que passa pela origem 4 s ou 5 s
- d) em qual intervalo de tempo o movimento é acelerado $t > 4,5 \text{ s}$

Q105 (ESAL-MG) Um móvel se move segundo uma trajetória retilínea e tem suas posições no decorrer do tempo dadas pelo gráfico abaixo. Pedem-se:



- a) O instante em que o móvel passa pela origem das posições. $t = 0$
- b) A função horária das posições $s = f(t)$. $s = 8t + t^2$
- c) A posição do móvel, para $t = 3 \text{ s}$. 27 m
- d) A função horária da velocidade $v = f(t)$. $v = 6 + 2t$

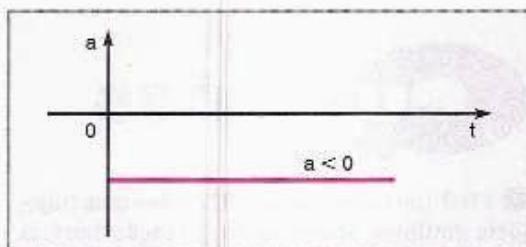
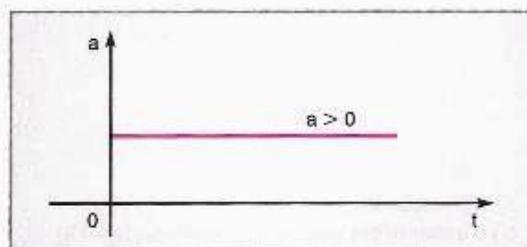
- Q106** (UFLA-MG) A figura ao lado representa o gráfico horário do movimento de uma partícula.
- Em que intervalo de tempo a partícula encontra-se em repouso? **entre t_1 e t_2** .
 - Em que intervalo de tempo a partícula está em movimento uniforme? **entre t_2 e t_3** .
 - Em que intervalo de tempo a partícula apresenta movimento acelerado progressivo? **entre t_3 e t_4** .
 - Em que intervalo de tempo o movimento é retardado progressivo? **entre 0 e t_1** .



ACELERAÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO [$a = f(t)$]

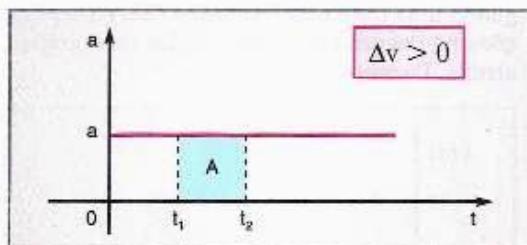
Sabemos que no movimento uniformemente variado a aceleração é constante e diferente de zero.

Portanto, o gráfico tem as formas:

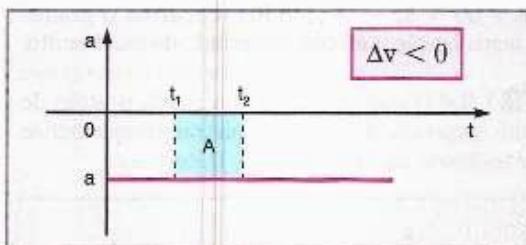


Propriedade

No gráfico da aceleração, a área A , em azul, mede numericamente a variação de velocidade entre os instantes t_1 e t_2 .



$$A = \Delta v$$



$$A = \Delta v$$

APLICAÇÃO

A23

Um móvel em movimento sobre uma trajetória retilínea tem aceleração em função de tempo dada pelo gráfico.

Determine a variação da velocidade do móvel nos primeiros 5 s do movimento.

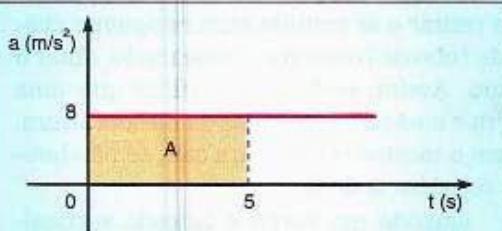


Resolução:

A área A é igual à variação de velocidade entre 0 s e 5 s. Logo:

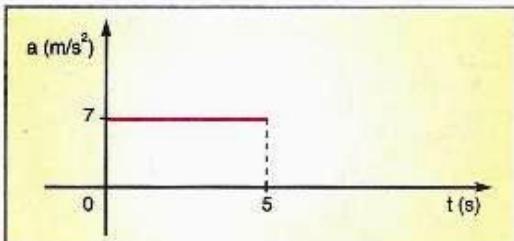
$$A = \Delta v \rightarrow \Delta v = 5 \cdot 8 \\ \Delta v = 40 \text{ m/s}$$

Resposta: 40 m/s

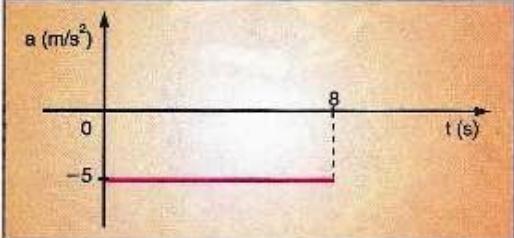


QUESTÕES

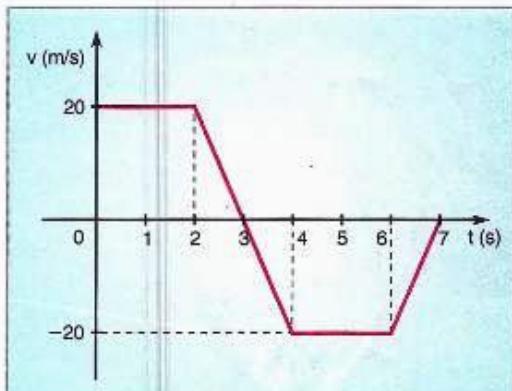
Q107 A aceleração de um corpo é dada pelo gráfico. Calcule a variação da velocidade do corpo nos primeiros 5 s. **35 m/s**



Q108 Um ponto material tem velocidade inicial de 40 m/s e aceleração dada pelo gráfico. Ache a velocidade do ponto material no instante 8 s. **zero**



Q109 (ESAL-MG) O gráfico abaixo mostra a variação da velocidade de um móvel em função do tempo.



- Supondo $s_0 = 0$ no instante $t = 0$, quanto o móvel se deslocou entre os instantes 0 s e 3 s? **50 m**
- Qual a posição do móvel no instante $t = 6$ s?
- Esboce o gráfico da aceleração desse móvel entre os instantes 0 s e 7 s, a partir do gráfico dado acima. **resposta no final do livro**

QUEDA DOS CORPOS

Se largarmos uma pena e uma pedra, de uma mesma altura, observamos que a pedra cai primeiro.

Isso ocorre, entre outras coisas, devido ao fato de a pena ter maior superfície de contato com o ar. Desse modo, a resistência do ar é maior sobre a pena.

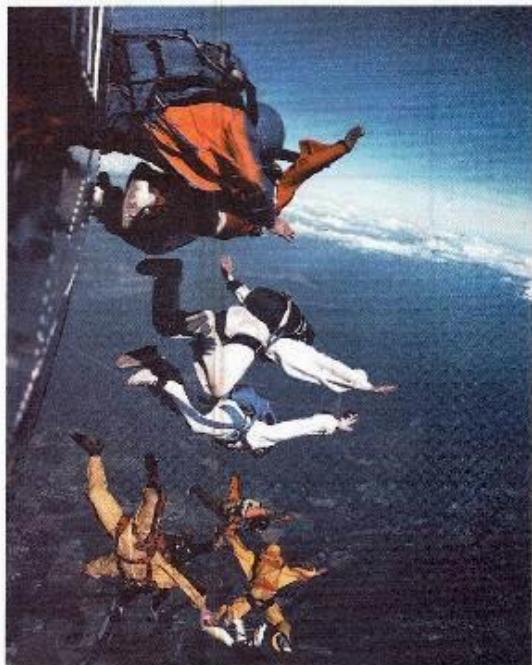
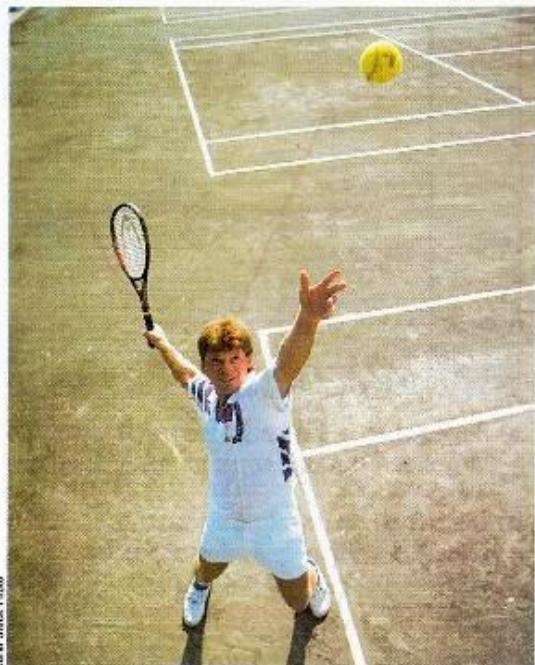
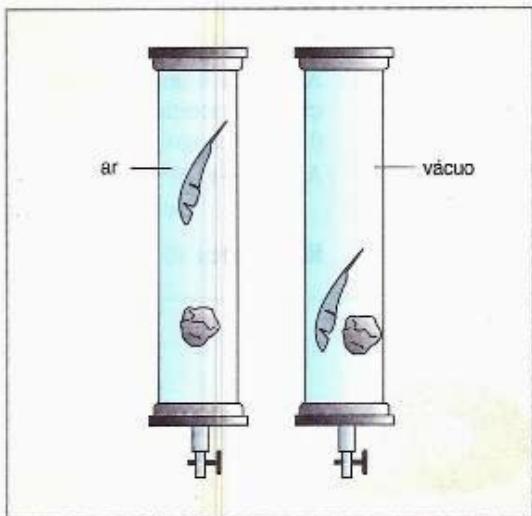
Por isso, pensamos que os corpos mais pesados caem mais depressa que os mais leves. No entanto, a seguinte experiência mostra que isso não é verdade.

Usando uma bomba de sucção, podemos retirar o ar contido num recipiente chamado tubo de Newton e, desse modo, obter o vácuo. Assim, podemos verificar que uma pedra e uma pena, largadas da mesma altura, levam o mesmo tempo para cair, se não houver resistência do ar.

Quando um corpo é lançado verticalmente para cima, verificamos que ele sobe até certa altura e depois cai, porque é atraído pela Terra.

O mesmo acontece quando um corpo é abandonado de determinada altura: ele cai porque é atraído pela Terra.

Chamaremos de *queda livre* o movimento de subida ou de descida que os corpos realizam — sujeitos à gravidade nas proximidades da Terra — e desprezaremos as resistências de qualquer espécie.



Os corpos são atraídos pela Terra porque em torno dela há uma região chamada *campo gravitacional* exercendo atração sobre eles.

No campo gravitacional os corpos são atraídos para a Terra, sofrendo variações de velocidade por terem adquirido aceleração, chamada *aceleração da gravidade* ou, simplesmente, *gravidade*, representada pela letra g .

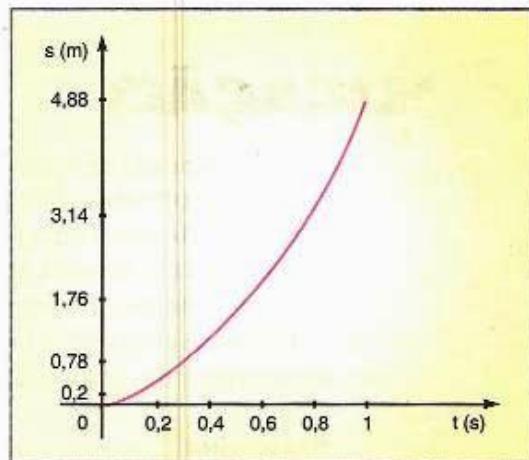
Para mostrar como se calcula a aceleração da gravidade, basta observar a experiência seguinte.

Através de cálculos conclui-se que a aceleração gravitacional é $g = 10 \text{ m/s}^2$

Largamos um corpo a uma certa altura da superfície da Terra e fotografamos a sua queda com uma lâmpada especial, chamada estroboscópica, que pisca a cada 0,2 s, permitindo obter a seqüência de fotos indicada na figura.



t (s)	s (m)	a (m/s^2)
0,2	0,20	10,00
0,4	0,78	9,76
0,6	1,76	9,78
0,8	3,14	9,80
1	4,88	9,76
1,2	7,10	9,86
1,4	9,6	9,79
1,6	12,56	9,81
1,8	15,85	9,78
2	19,58	9,79



Construindo o gráfico da posição em função do tempo do movimento, obtemos uma parábola. Portanto, o movimento é uniformemente variado.

Para determinar a aceleração desse movimento usaremos $s = \frac{1}{2} \cdot at^2$, pois a velocidade inicial é nula (o corpo é largado do repouso). Assim, obtemos um valor médio próximo de $9,8 \text{ m/s}^2$ para a aceleração.

Essa é a aceleração com que os corpos caem próximos à superfície da Terra.

A aceleração da gravidade é sempre vertical e dirigida para baixo. O valor da aceleração da gravidade varia de ponto para ponto na superfície da Terra e diminui com a altitude. Seu valor médio ao nível do mar é $9,8 \text{ m/s}^2$ mas, para facilitar os cálculos, usaremos muitas vezes o valor aproximado: $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Galileu Galilei realizou uma série de experiências sobre a queda livre dos corpos e chegou às seguintes conclusões:

- Todos os corpos, independentemente de sua massa, forma ou tamanho, caem com a mesma aceleração.
- A distância percorrida por um corpo em queda livre é proporcional ao quadrado do tempo gasto para percorrê-la, isto é, a função horária das posições $s = f(t)$ é do 2º grau.

Se a aceleração da gravidade é constante e a função horária das posições é do 2º grau, decorre que a queda livre é um MRUV e, portanto, valem todas as funções e conceitos desse movimento.

Para estudar a queda dos corpos vamos considerar dois tipos de lançamento: vertical para cima e vertical para baixo.

X LANÇAMENTO VERTICAL PARA CIMA

Um corpo, lançado verticalmente para cima, realiza durante a subida um movimento retilíneo uniformemente retardado, pois o módulo de sua velocidade diminui no decorrer do tempo.

APLICAÇÃO

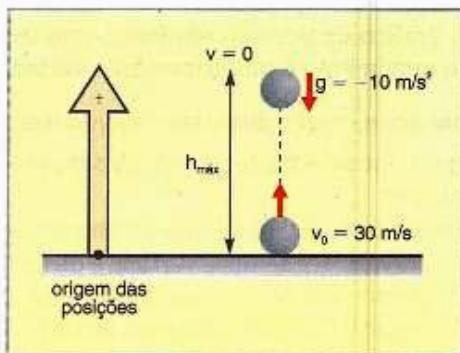
A 24

Um corpo é lançado do solo verticalmente para cima, com velocidade inicial de 30 m/s. Desprezando a resistência do ar e admitindo $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule:

- o tempo gasto pelo corpo para atingir a altura máxima
- a altura máxima atingida em relação ao solo
- o tempo gasto pelo corpo para retornar ao solo
- a velocidade ao chegar ao solo
- a construção dos gráficos $s = f(t)$ e $v = f(t)$

Resolução:

a) Adotando a trajetória indicada, temos:



• Funções horárias:

$$s = f(t) \rightarrow s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \rightarrow s = 0 + 30t + \frac{1}{2} (-10)t^2 \\ s = 30t - 5t^2$$

$$v = f(t) \rightarrow v = v_0 + gt \rightarrow v = 30 - 10t$$

Na altura máxima, $v = 0$, logo:

$$v = 30 - 10t \rightarrow 0 = 30 - 10t \rightarrow 10t = 30 \rightarrow t = 3 \text{ s}$$

b) Quando $t = 3 \text{ s}$, $s = ?$

$$s = 30t - 5t^2 \rightarrow s = 30 \cdot 3 - 5 \cdot 3^2 \rightarrow s = 90 - 45 \rightarrow s = 45 \text{ m}$$

c) No solo, $s = 0$.

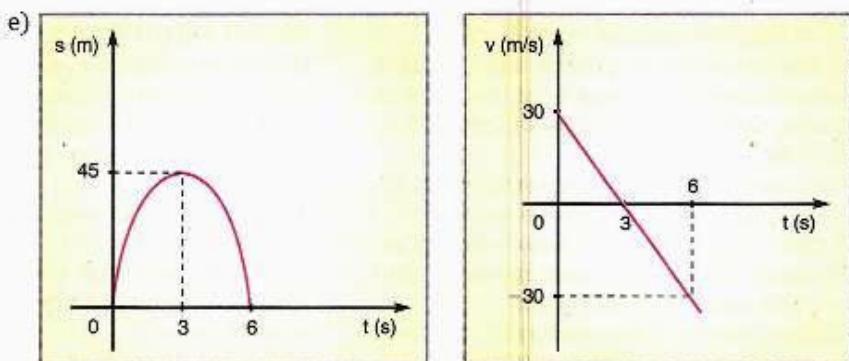
$$s = 30t - 5t^2 \rightarrow 0 = 30t - 5t^2 \rightarrow 0 = 5t(6 - t) \rightarrow t = 0 \text{ (não satisfaz)} \\ t = 6 \text{ s}$$

d) Quando $t = 6 \text{ s}$, $v = ?$

$$v = 30 - 10t \rightarrow v = 30 - 10 \cdot 6 \rightarrow v = 30 - 60 \\ v = -30 \text{ m/s}$$

Observe que:

- o tempo de subida é igual ao tempo de descida
- a velocidade de saída é igual à de chegada (em módulo)

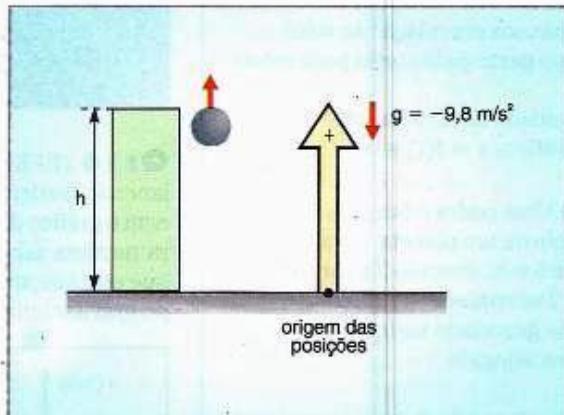


Respostas: a) 3 s; b) 45 m; c) 6 s; d) -30 m/s; e) vide resolução

A 25

Uma pedra é lançada verticalmente para cima, do alto de um edifício, com velocidade inicial de 19,6 m/s. Decorridos 6,0 s do lançamento, ela atinge o solo. Sendo $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, determine a altura do ponto de lançamento. Despreze a resistência do ar.

Resolução:



No solo, $s = 0$; logo:

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2 \rightarrow 0 = h + 19,6 \cdot 6 + \frac{1}{2} (-9,8) \cdot 6^2$$
$$0 = h + 117,6 - 176,4 \rightarrow h = 58,8 \text{ m}$$

Resposta: 58,8 m



a) o caderno; b) Qualquer uma pode chegar antes ou as duas podem chegar juntas; c) a folha amassada; d) Os dois chegam juntos; e) Chegam juntas.

Q110 Faça as seguintes experiências:

- Segure uma folha de caderno sobre a palma da mão esquerda e o caderno sobre a palma da direita, conservando os dois à mesma altura do chão.
Abandone os dois ao mesmo tempo. Qual dos dois objetos chega primeiro ao solo?
- Repete a experiência com duas folhas de papel iguais. Qual delas chega primeiro ao solo? Repita a experiência várias vezes.
- Amasse uma das folhas até formar uma bola. Agora solte-as simultaneamente de uma mesma altura. Qual delas chega primeiro ao solo?
- Pegue um caderno e coloque uma folha de papel sobre ele e solte-os simultaneamente. Qual dos dois chega primeiro ao solo?
- Pegue uma caneta e uma borracha e solte-as simultaneamente de uma mesma altura. Qual dos dois objetos chega primeiro ao solo?
Que conclusão você tira dessas experiências?

Q111 Um móvel é lançado do solo verticalmente com velocidade inicial de 40 m/s . Despreze a resistência do ar e adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- Qual o tempo gasto pelo corpo para atingir a altura máxima? 4 s
- Qual a altura máxima em relação ao solo? 80 m
- Calcule o tempo gasto pelo corpo para retornar ao solo. 8 s
- Calcule a velocidade ao tocar o solo. -40 m/s
- Construa os gráficos $s = f(t)$ e $v = f(t)$.

resposta no final do livro

Q112 (UFMS) Uma pedra é lançada verticalmente da superfície de um planeta, com uma velocidade inicial de 6 m/s , levando 3 s para atingir a altura máxima. Determine:

- a aceleração da gravidade no local 2 m/s^2
- a altura máxima atingida 9 m

Q113 Uma bola é lançada de baixo para cima de uma altura de 25 m em relação ao solo, com velocidade de 20 m/s . Adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule:

- o tempo de subida 2 s
- a altura máxima em relação ao solo 45 m
- o tempo gasto para atingir o solo 5 s
- o tempo gasto ao passar pela posição 35 m durante a descida $(2 + \sqrt{2}) \text{ s}$

Q114 (UFRJ) Uma pedra é lançada do solo verticalmente para cima e, $4,0 \text{ s}$ após, retorna ao ponto de lançamento. Considere a resistência do ar desprezível e $g = 10 \text{ m/s}^2$. Calcule a altura máxima atingida pela pedra. 20 m

Q115 Um balão que possui a velocidade ascendente de 10 m/s , ao passar pela altura de 50 m , larga um corpo. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

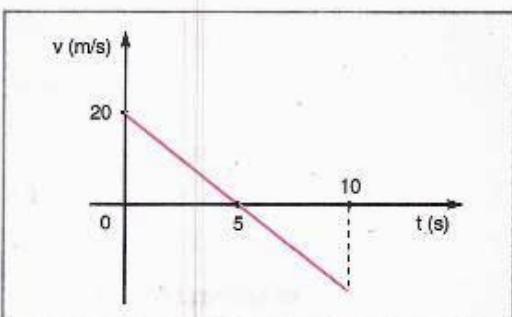
- Qual o tempo gasto pelo corpo para atingir o solo? $4,3 \text{ s}$
- Qual a velocidade do corpo ao chegar ao solo?

33 m/s

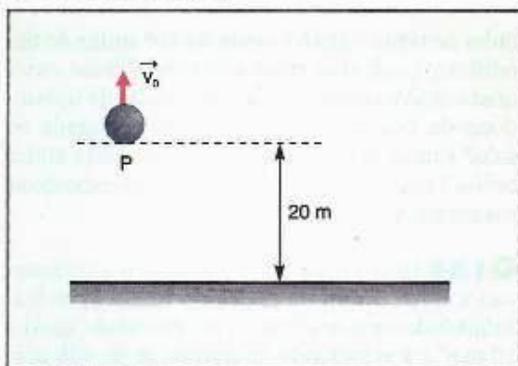


Corbis Stock Photo

Q116 (EFEI-MG) A velocidade de um projétil lançado verticalmente para cima varia de acordo com o gráfico da figura abaixo. Determine a altura máxima atingida pelo projétil, considerando que este lançamento se dá num local onde o campo gravitacional é diferente do da Terra. 50 m



- Q117** (UFPel-RS) Uma pedra é lançada verticalmente para cima com velocidade de módulo igual a 54 km/h, a partir de um ponto P , situado 20 m acima do solo.



Determine:

- o tempo, após o lançamento, necessário para a pedra atingir a altura máxima **1,5 s**
- o tempo, após o lançamento, necessário para a pedra atingir o solo **4 s**
- o deslocamento sofrido pela pedra em um intervalo de tempo de 3,0 s, a partir do instante do lançamento **zero**

Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$ e despreze a resistência do ar.

- Q118** Duas bolinhas são lançadas verticalmente para cima, a partir de uma mesma altura, com mesma velocidade inicial de 15 m/s, mas com intervalo de tempo de 0,5 s entre os lançamentos. Qual o instante do encontro em relação ao lançamento da primeira? Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

1,75 s

LANÇAMENTO VERTICAL PARA BAIXO

Um corpo, lançado verticalmente para baixo, realiza um movimento retilíneo uniformemente acelerado, pois o módulo de sua velocidade aumenta no decorrer do tempo.

APLICAÇÃO

A26

Abandona-se um corpo do alto de uma torre de 80 m de altura. Desprezando a resistência do ar e adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine:

- o tempo gasto pelo corpo para atingir o solo
- a velocidade do corpo ao atingir o solo

Resolução:

a) Adotando a trajetória indicada, temos:

- Funções horárias:

$$s = f(t) \rightarrow s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$s = 0 + 0 + \frac{1}{2} \cdot 10t^2 \rightarrow s = 5t^2$$

$$v = f(t) \rightarrow v = v_0 + gt$$

$$v = 0 + 10t \rightarrow v = 10t$$

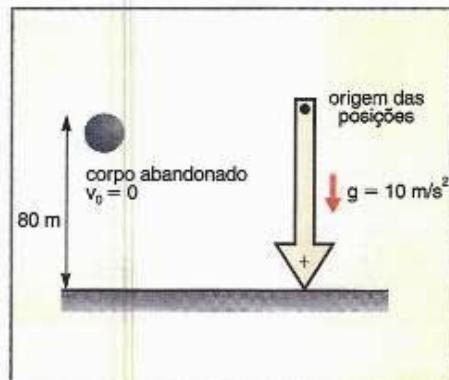
$$\text{No solo, } s = 80 \text{ m}$$

$$s = 5t^2 \rightarrow 80 = 5t^2$$

$$t^2 = 16 \rightarrow t = \pm 4 \therefore t = 4 \text{ s}$$

b) $v = 10t \rightarrow v = 10 \cdot 4 \rightarrow v = 40 \text{ m/s}$

Respostas: a) 4 s; b) 40 m/s



QUESTÕES

Q119 Como você poderia calcular a altura de uma colina, estando no cume e dispondo de uma pedra e um cronômetro? resposta no final do livro

Q120 Abandona-se um corpo do alto de uma montanha de 180 m de altura. Desprezando a resistência do ar e adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine:

- o tempo gasto pelo corpo para atingir o solo **6 s**
- a velocidade do corpo ao atingir o solo **60 m/s**

Q121 Um corpo é lançado verticalmente para baixo de uma altura de 112 m e com velocidade inicial de 8 m/s. Dado $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule:

- sua posição em relação ao solo, no instante **3 s** **43 m**
- sua velocidade no instante do item anterior **38 m/s**
- sua velocidade ao tocar o solo **48 m/s**
- o instante em que ele se encontra a 76 m do solo **2 s**

Q122 Um gato consegue sair ileso de muitas quedas. Suponha que a maior velocidade com a qual ele pode atingir o solo sem se machucar seja de 8 m/s. Desprezando a resistência do ar e adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule a altura máxima de queda para que o gato nada sofra. **3,2 m**

Q123 (Metodista-SP) Um automóvel está passando pelo ponto *P*, com velocidade constante de 45 km/h, no mesmo instante em que uma ho-



linha de tênis é abandonada do 15º andar de um edifício, conforme representação. Neste caso, qual o deslocamento do automóvel desde o abandono da bolinha até sua posterior chegada ao solo? Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$ e que cada andar tenha 3 m de altura. Despreze a resistência do ar e a escala da figura. **37,5 m**

Q124 Uma pedra cai em um poço e o observador ouve o som da pedra no fundo após 9 s. Admitindo uma aceleração de gravidade igual a 10 m/s^2 e a velocidade do som no ar de 320 m/s, determine a profundidade do poço. **320 m**

Q125 (UFPA) Em um local onde a aceleração da gravidade vale 10 m/s^2 , deixa-se cair livremente uma pedra de uma altura de 125 m, em direção ao solo. Dois segundos depois, uma segunda pedra é atirada da mesma altura, verticalmente, para baixo. Sabendo que essas duas pedras atingem o solo ao mesmo tempo, calcule a velocidade com que a segunda pedra foi atirada.

Q126 No instante em que um corpo é abandonado de um ponto a 400 m acima do solo, um outro é lançado do solo, no sentido ascendente, seguindo a mesma vertical. Determine a velocidade inicial do segundo corpo para que encontre o outro a 320 m do solo. Admita $g = 10 \text{ m/s}^2$ **100 m/s**

Q127 Galileu, na torre de Pisa, fez cair vários corpos de pequenas dimensões, com o objetivo de estudar as leis do movimento de queda. A respeito dessa experiência, são feitas as seguintes afirmações:

- A aceleração do movimento era, praticamente, a mesma para todos os corpos.
 - A velocidade de cada corpo mantinha-se constante, no decorrer da queda.
 - Se dois corpos eram soltos juntos, o mais pesado chegava ao solo muito antes do mais leve.
- Quais dessas afirmações são verdadeiras?

apenas I

PESQUISE

Dê exemplos para mostrar que a Física está presente nas mais diversas áreas de conhecimento.

UNIDADE III



Cinemática
vetorial

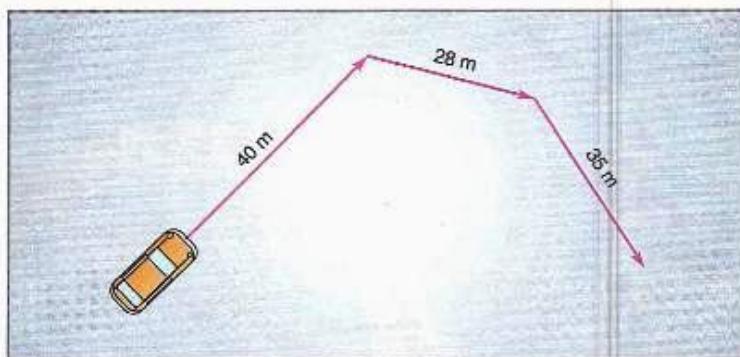
CAPÍTULO 5

COMPOSIÇÃO DE MOVIMENTOS

VETOR

Para descrever o movimento de um corpo — o de um carro, por exemplo, que percorre uma trajetória retilínea —, basta conhecer o valor e o sentido de seu deslocamento no decorrer do tempo.

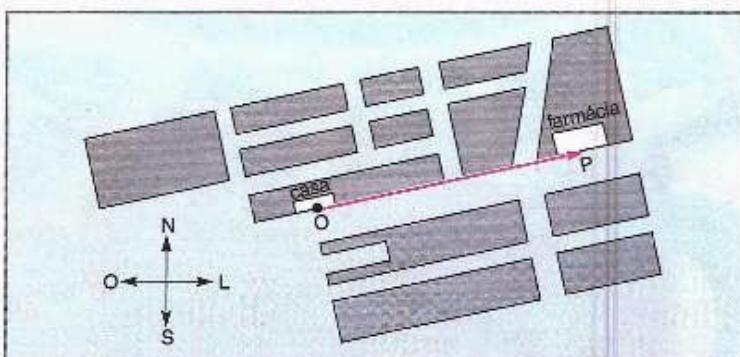
Porém, para localizar o carro quando ele se move num plano ou no espaço, tais informações são insuficientes. Considere um carro que se movimenta de acordo com a figura. Nesse caso, para indicar a sua localização é preciso conhecer, além do *módulo* e do *sentido* de cada deslocamento, a *direção* em que o carro se movimenta.



O movimento do carro está descrito por \rightarrow . Cada \rightarrow mostra a direção, o sentido e o valor do deslocamento.

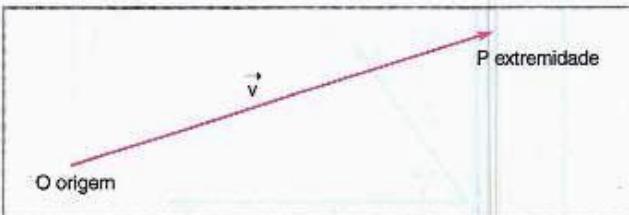
Estudaremos agora os vetores, que são símbolos matemáticos utilizados para representar o *módulo*, a *direção* e o *sentido* de uma grandeza física vetorial.

Uma pessoa, por exemplo, que vai de sua casa (ponto O) até uma farmácia (ponto P), distante 200 m, realiza um deslocamento.



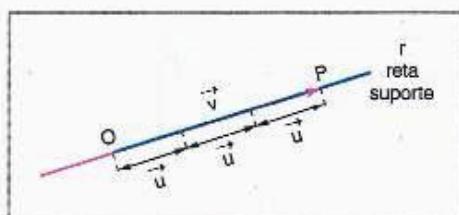
Esse deslocamento é definido pelo valor da distância \overline{OP} , pela direção da reta que passa por O e por P e pelo sentido que vai de O a P .

Para representar esse deslocamento, usamos uma seta chamada *vetor*, pois ela representa de maneira fiel as três propriedades que caracterizam o deslocamento: a *distância*, a *direção* e o *sentido*.



Indicamos: $\vec{v} = \overrightarrow{OP} = P - O$.

Todo vetor tem três características:

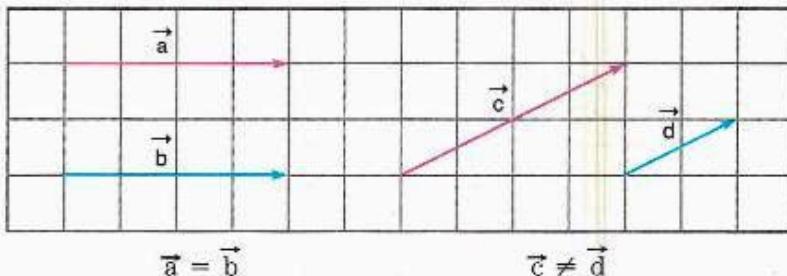


- ✓ módulo $|\vec{v}| = v = 3u$
- ✓ direção da reta r
- ✓ sentido de O para P

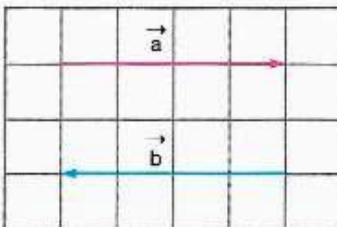
O módulo de um vetor é a medida da seta que o representa. Nesse caso, o módulo do vetor \vec{v} é igual a três unidades de medida.

VETORES IGUAIS E VETORES OPPOSTOS

Dois vetores, \vec{a} e \vec{b} , são *iguais* quando têm mesma direção, mesmo sentido e mesmo módulo. Se pelo menos uma dessas características difere, são chamados vetores *diferentes*.



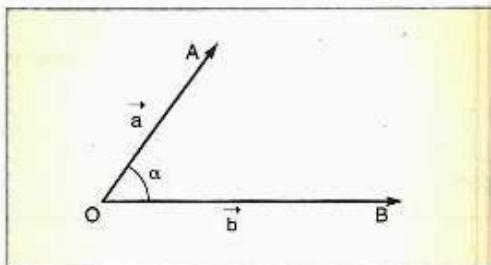
Dois vetores são *opostos* quando têm mesma direção, mesmo módulo e sentidos contrários.



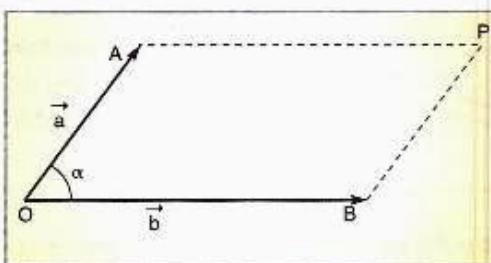
\vec{a} e \vec{b} são opostos

ADIÇÃO DE DOIS VETORES

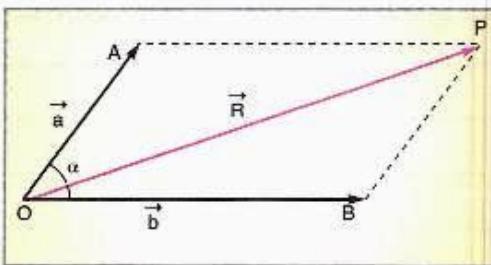
Dados os vetores \vec{a} e \vec{b} , vamos obter o vetor soma \vec{R} , tal que $\vec{R} = \vec{a} + \vec{b}$.



Tracemos pela extremidade de cada vetor uma paralela ao outro vetor.



O vetor soma ou resultante \vec{R} tem origem no ponto O e extremidade no ponto de cruzamento das duas paralelas traçadas. Este método é chamado de *método do paralelogramo*.

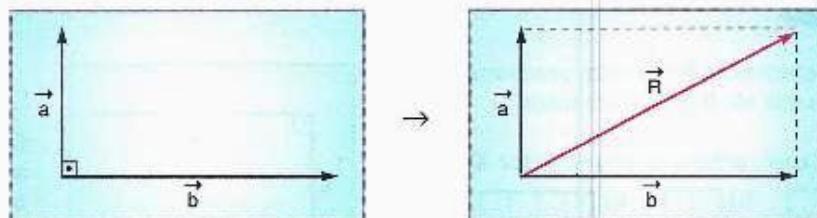


O vetor soma \vec{R} tem as seguintes características:

módulo $\rightarrow R = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab \cos \alpha}$
direção \rightarrow da reta \overleftrightarrow{OP}
sentido \rightarrow de O para P

A expressão do módulo do vetor \vec{R} pode ser demonstrada aplicando-se a lei dos cossenos no triângulo OBP.

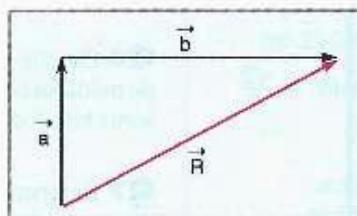
Se os vetores \vec{a} e \vec{b} forem perpendiculares, para achar o módulo do vetor soma basta aplicar o teorema de Pitágoras.



$$R = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Observação:

O vetor soma \vec{R} pode ser representado pelo segmento orientado cuja origem coincide com a origem do primeiro e cuja extremidade coincide com a extremidade do segundo.



Esse método é chamado de *regra do polígono*.

LB noite

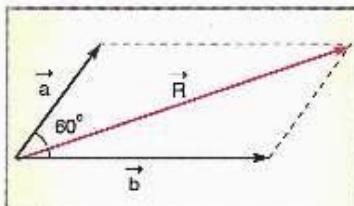
APLICAÇÃO

A1

Determine o módulo do vetor soma de dois vetores que formam entre si um ângulo de 60° e cujos módulos valem 6 m e 8 m.

Resolução:

Dados: $\begin{cases} a = 6 \text{ m} \\ b = 8 \text{ m} \\ \alpha = 60^\circ \end{cases}$



$$R = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab \cos \alpha}$$

$$R = \sqrt{6^2 + 8^2 + 2 \cdot 6 \cdot 8 \cdot \cos 60^\circ}$$

$$R = \sqrt{36 + 64 + 96 \cdot \frac{1}{2}}$$

$$R = \sqrt{148} \text{ m ou } R = 2\sqrt{37} \text{ m}$$

Resposta: $2\sqrt{37}$ m

QUESTÕES

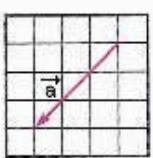
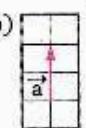
Q1 Que características de um vetor precisamos conhecer para que ele fique determinado?

módulo, duração e sentido

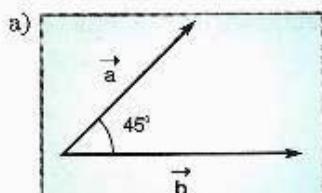
Q2 Em cada caso, ache o oposto do vetor \vec{a} .



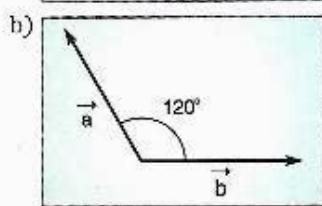
respostas no final do livro



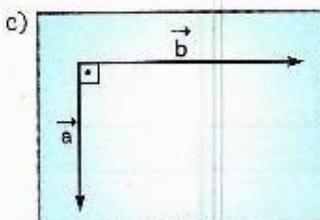
Q3 Calcule o módulo do vetor soma de \vec{a} e \vec{b} em cada caso.



Dados:
 $a = 3 \text{ cm}$
 $b = 5\sqrt{2} \text{ cm}$
 $\cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}$
 $\sqrt{89} \text{ cm}$



Dados:
 $a = 5 \text{ m}$
 $b = 8 \text{ m}$
 $\cos 120^\circ = -\frac{1}{2}$
 7 m



Dados:
 $a = 10 \text{ m}$
 $b = 5 \text{ m}$
 $5\sqrt{5} \text{ m}$

Q4 O que são vetores iguais?

Quando têm mesmo módulo, mesma direção e mesmo sentido.

Q5 Podem-se combinar dois vetores de módulos iguais para que se tenha uma resultante nula? E três vetores de módulos iguais?

resposta no final do livro

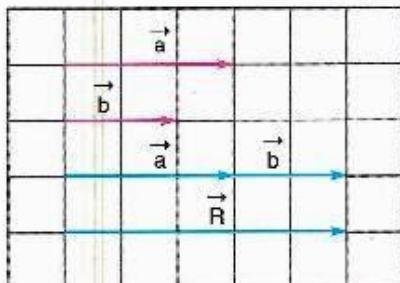
Q6 Calcule o ângulo formado por dois vetores, de módulos 5 unidades e 6 unidades, e cujo vetor soma tem módulo $\sqrt{61}$ unidades. 90°

Q7 Determine o módulo de dois vetores, \vec{a} e \vec{b} , perpendiculares entre si e atuantes num mesmo ponto, sabendo que seus módulos estão na razão $\frac{3}{4}$ e que o vetor soma de \vec{a} e \vec{b} tem módulo 10. $a = 8$ e $b = 6$

ADIÇÃO DE VETORES DE MESMA DIREÇÃO

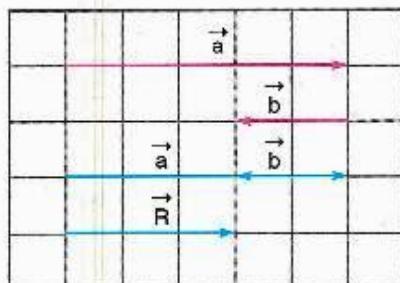
Se dois vetores têm *mesma direção e mesmo sentido*, o vetor resultante será:

- ✓ intensidade: $R = a + b$
- ✓ direção: mesma de \vec{a} e \vec{b}
- ✓ sentido: mesmo de \vec{a} e \vec{b}



Se dois vetores têm *mesma direção e sentidos contrários*, o vetor resultante será:

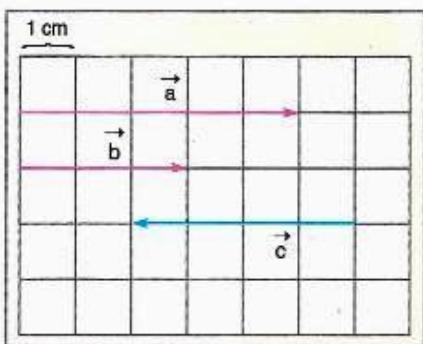
- ✓ intensidade: $R = a - b$
- ✓ direção: mesma de \vec{a} e \vec{b}
- ✓ sentido: mesmo sentido do vetor de maior intensidade



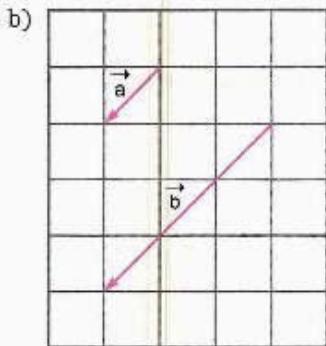
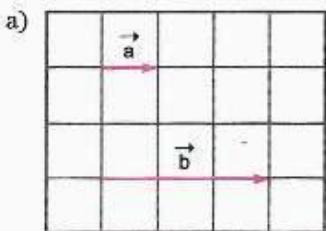
QUESTÕES

Q8 Dados os vetores \vec{a} , \vec{b} e \vec{c} , determine:

- a) $\vec{R}_1 = \vec{a} + \vec{b}$ c) $\vec{R}_3 = \vec{b} + \vec{c}$
 b) $\vec{R}_2 = \vec{a} + \vec{c}$ *resposta no final do livro*



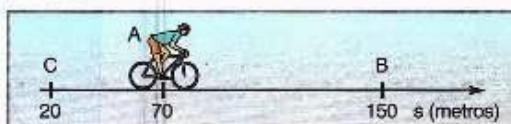
Q9 Represente o vetor $\vec{R} = \vec{a} + \vec{b}$ em cada caso. *respostas no final do livro*



Q10 Quais as condições para que o módulo do vetor soma de dois vetores, não-nulos, seja igual a zero?

módulos iguais, mesma direção e sentidos opostos

Q11 Um ciclista desloca-se de A para C , movendo-se primeiro de A para B e, depois, de B para C .



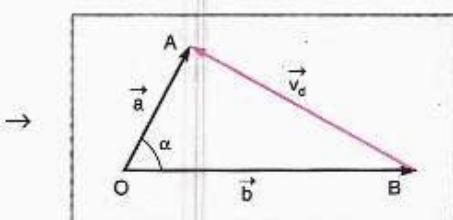
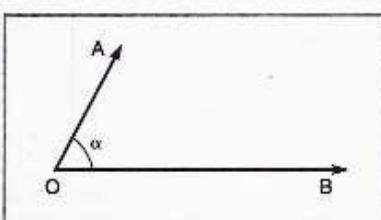
Determine o módulo do deslocamento resultante efetuado pelo ciclista. Qual a direção e o sentido desse deslocamento?

50 m; direção horizontal; sentido da direita para a esquerda

VETOR DIFERENÇA

fazde

Consideremos os vetores $\vec{a} = A - O$ e $\vec{b} = B - O$, que formam entre si um ângulo α .



O vetor diferença, $\vec{v}_d = \vec{a} - \vec{b}$, é dado por:

$$\vec{v}_d = \vec{a} - \vec{b} \rightarrow \vec{v}_d = (A - O) - (B - O)$$

$$\vec{v}_d = A - B$$

extremidade
origem

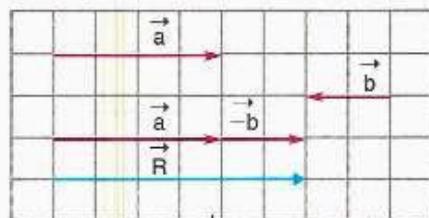
Algebricamente, o vetor \vec{v}_d é dado por:

- ✓ módulo: $v_d = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha}$
- ✓ direção: da reta \overleftrightarrow{AB}
- ✓ sentido: de B para A

Para subtrairmos dois vetores opostos, basta fazermos a adição de um com o oposto do outro.

Por exemplo:

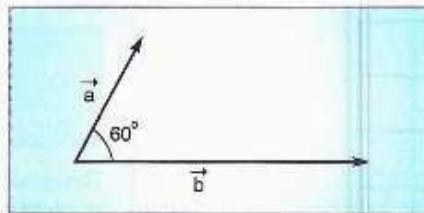
$$\vec{R} = \vec{a} - \vec{b} \rightarrow \vec{R} = \vec{a} + (-\vec{b})$$



APLICAÇÃO

A2

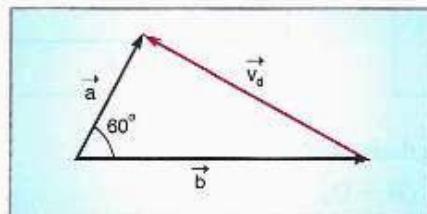
São dados os vetores \vec{a} e \vec{b} , de módulos 4 m e 6 m, respectivamente.



Calcule o módulo do vetor $(\vec{a} - \vec{b})$.

Resolução:

Dados: $\begin{cases} a = 4 \text{ m} \\ b = 6 \text{ m} \\ \cos 60^\circ = \frac{1}{2} \end{cases}$



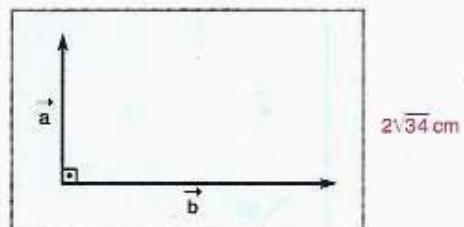
$$\begin{aligned} v_d &= \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha} \\ v_d &= \sqrt{4^2 + 6^2 - 2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot \frac{1}{2}} \\ v_d &= 2\sqrt{7} \text{ m} \end{aligned}$$

Resposta: $2\sqrt{7}$ m

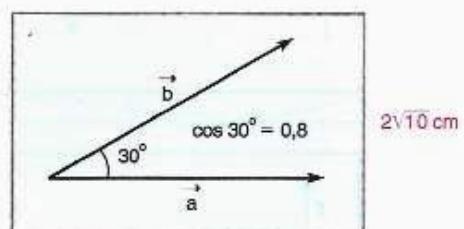
QUESTÕES

Q12 Em cada caso, ache o módulo do vetor $(\vec{a} - \vec{b})$, sabendo que $a = 6\text{ cm}$ e $b = 10\text{ cm}$.

a)



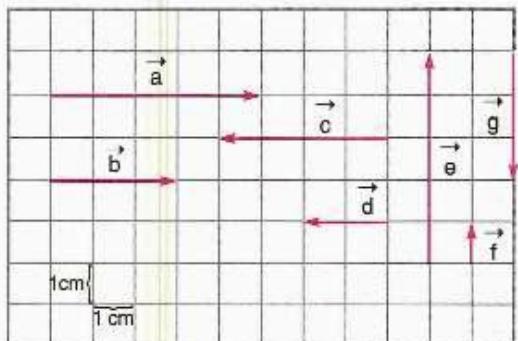
b)



$$2\sqrt{10}\text{ cm}$$

- a) 2 cm, horizontal para a direita
- b) 9 cm, horizontal para a direita
- c) 2 cm, horizontal para a esquerda
- d) 4 cm, vertical para cima
- e) 4 cm, vertical para cima
- f) 6 cm, vertical para baixo

Q13 Considere os seguintes vetores:



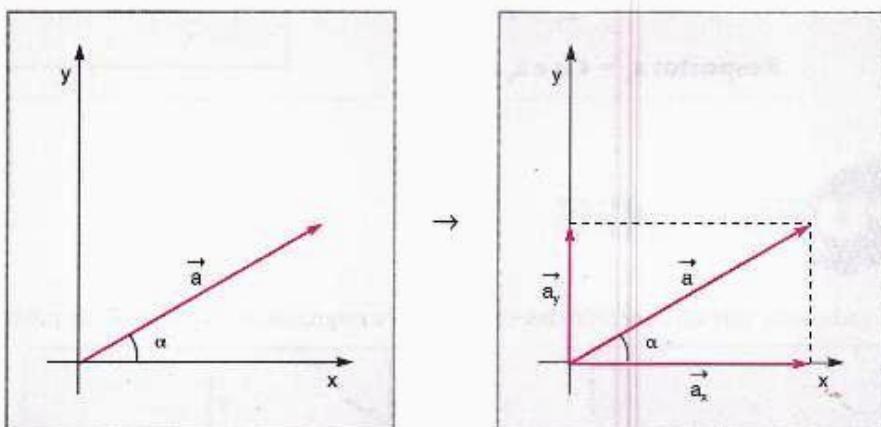
Qual o módulo, a direção e o sentido de cada um dos vetores R?

- a) $\vec{R} = \vec{a} - \vec{b}$
- b) $\vec{R} = \vec{a} - \vec{c}$
- c) $\vec{R} = \vec{c} - \vec{d}$
- d) $\vec{R} = \vec{e} - \vec{f}$
- e) $\vec{R} = \vec{f} - \vec{g}$
- f) $\vec{R} = \vec{g} - \vec{c}$

1 B - bude

COMPONENTES RETANGULARES DE UM VETOR

Consideremos o vetor \vec{a} e os eixos x e y .



Projetando perpendicularmente o vetor \vec{a} nos eixos x e y , obtemos suas componentes retangulares \vec{a}_x e \vec{a}_y .

Da figura, temos:

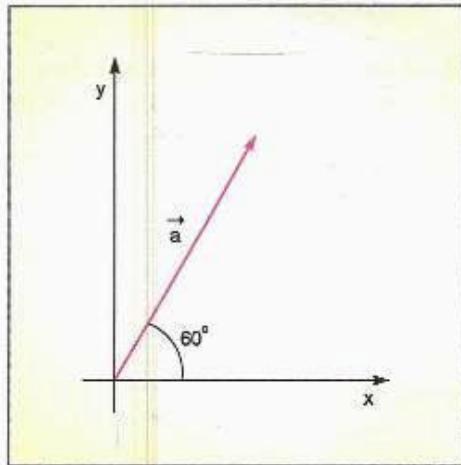
$$\cos \alpha = \frac{a_x}{a} \rightarrow a_x = a \cos \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{a_y}{a} \rightarrow a_y = a \sin \alpha$$

APLICAÇÃO

A 3

Ache o módulo das componentes retangulares do vetor \vec{a} , de módulo 8 m, indicado na figura.



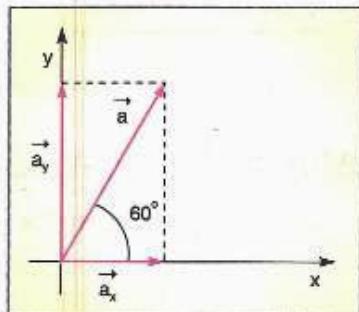
Resolução:

Projetando \vec{a} nos eixos x e y , temos:

$$a_x = a \cos 60^\circ \rightarrow a_x = 8 \cdot \frac{1}{2} \\ a_x = 4 \text{ m}$$

$$a_y = a \sin 60^\circ \rightarrow a_y = 8 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \\ a_y = 4\sqrt{3} \text{ m}$$

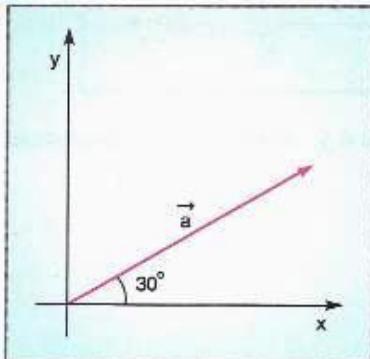
Resposta: $a_x = 4 \text{ m}$ e $a_y = 4\sqrt{3} \text{ m}$



QUESTÕES

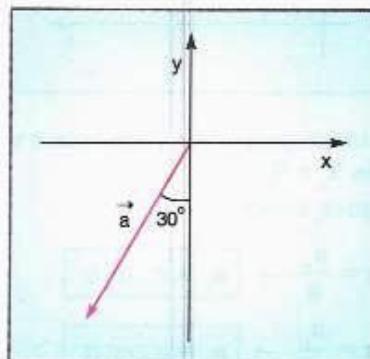
Q14 Em cada caso, calcule o módulo das componentes retangulares do vetor \vec{a} , de módulo 10 m.

a)



$$a_x = 5\sqrt{3} \text{ m} \\ a_y = 5 \text{ m}$$

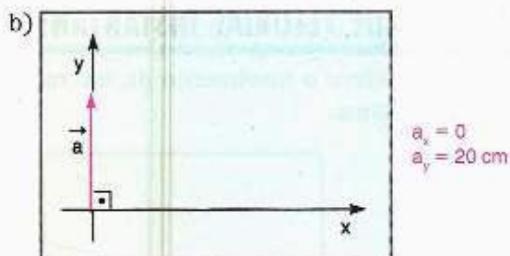
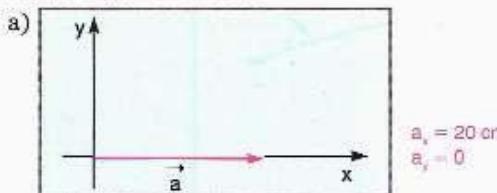
b)



$$a_x = 5 \text{ m} \\ a_y = 5\sqrt{3} \text{ m}$$

Q15 Um vetor \vec{a} tem componentes retangulares de módulos $a_x = 6 \text{ m}$ e $a_y = 8 \text{ m}$. Calcule o módulo do vetor \vec{a} . **10 m**

Q16 O vetor \vec{a} das figuras tem módulo 20 cm. Calcule o módulo das componentes retangulares de \vec{a} , em cada caso.



Q17 Um projétil é atirado com velocidade de 400 m/s fazendo um ângulo de 45° com a horizontal. Determine os componentes vertical e horizontal da velocidade do projétil.

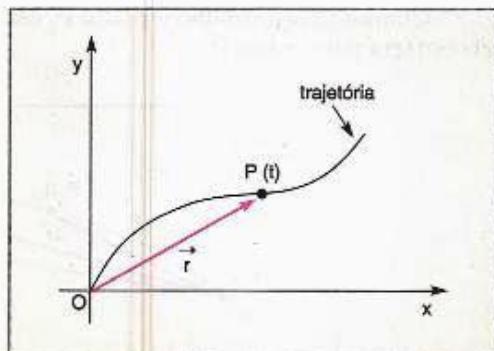
200\sqrt{2} \text{ m/s (ambos)}

VETOR POSIÇÃO

Consideremos um móvel descrevendo a trajetória plana (plano xy) indicada na figura em relação ao ponto O , origem do sistema cartesiano.

Seja P a posição do móvel num instante t .

Definimos como vetor posição, no instante considerado, o vetor $\vec{r} = P - O$.



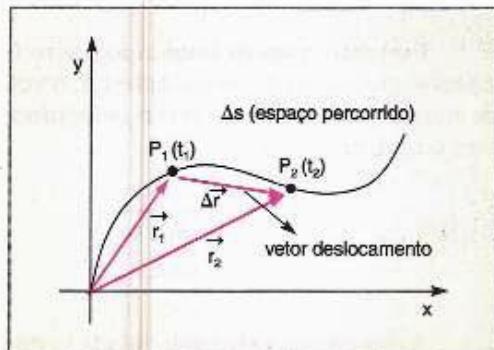
VELOCIDADE VETORIAL MÉDIA

Sejam P_1 e P_2 as posições de um móvel nos instantes t_1 e t_2 , respectivamente.

Define-se como vetor deslocamento, entre os instantes t_1 e t_2 , o vetor $\Delta\vec{r} = P_2 - P_1$.

Observe que $\Delta s \geq |\Delta\vec{r}|$.

A velocidade vetorial média desse móvel entre os instantes t_1 e t_2 é o quociente do vetor deslocamento $\Delta\vec{r}$ pelo intervalo de tempo Δt gasto nesse deslocamento.



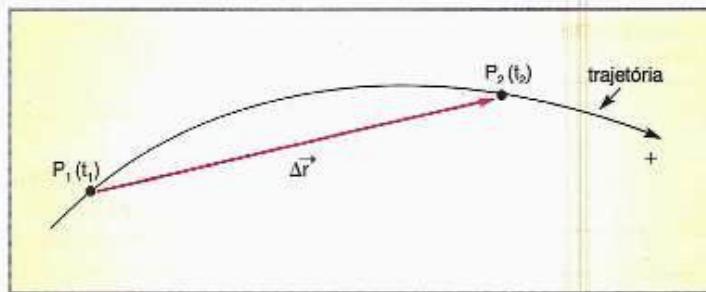
$$\vec{v}_m = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

Características de \vec{v}_m :

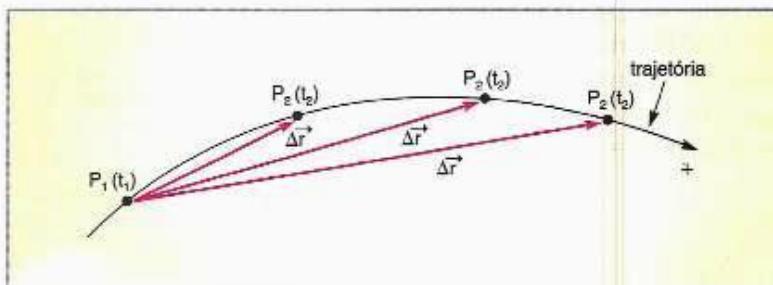
- ✓ módulo: $v_m = \frac{\Delta r}{\Delta t}$
- ✓ direção: a mesma que $\Delta\vec{r}$
- ✓ sentido: o mesmo de $\Delta\vec{r}$

VELOCIDADE VETORIAL INSTANTÂNEA

Considere o movimento de um móvel do ponto $P_1(t_1)$ para o ponto $P_2(t_2)$ sobre a trajetória curva da figura.

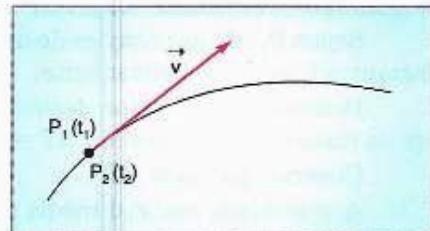


Quanto mais próximo o ponto P_2 estiver do ponto P_1 , o vetor $\Delta\vec{r}$ tende a ficar tangente à trajetória pelo ponto P_1 .



Portanto, para Δt tendendo a zero (o instante t_2 é praticamente igual ao instante t_1), o vetor velocidade média é denominado vetor *velocidade instantânea* e indicamos por \vec{v} .

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \vec{v}_m$$



A direção do vetor velocidade instantânea é sempre tangente à trajetória, e o sentido é o do movimento.

APLICAÇÃO

A 4

Um coelho caminha 80 m para o norte. Em seguida, orienta-se para o leste e caminha mais 60 m. Sabendo que em todo o percurso o coelho gasta 10 s, calcule:

- o módulo do deslocamento resultante do coelho
- o módulo das velocidades escalar e vetorial médias do coelho

Resolução:

a) Veja o esquema ao lado.

Aplicando o teorema de Pitágoras, temos:

$$(\Delta r)^2 = 80^2 + 60^2$$

$$(\Delta r)^2 = 6\,400 + 3\,600 \rightarrow \Delta r = 100 \text{ m}$$

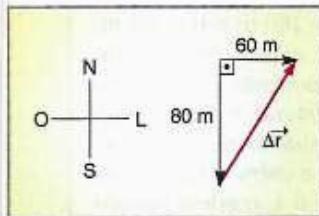
b) A velocidade escalar média é dada por:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow v_m = \frac{80 + 60}{10} = 14 \text{ m/s}$$

A velocidade vetorial média é dada por:

$$v_m = \frac{\Delta r}{\Delta t} \rightarrow v_m = \frac{100}{10} = 10 \text{ m/s}$$

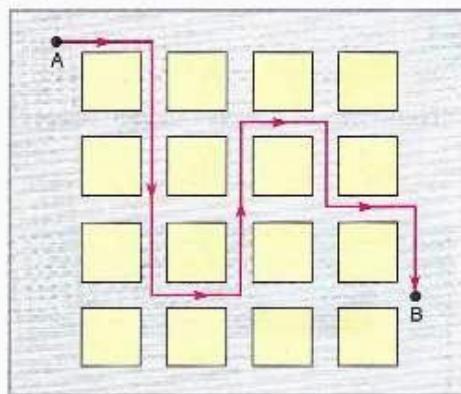
Respostas: a) 100 m; b) 14 m/s e 10 m/s



QUESTÕES

Q18 Uma pessoa sai para dar um passeio pela cidade, fazendo o seguinte percurso: sai de casa e anda 2 quarteirões para o norte; logo após, dobra à esquerda e anda mais 3 quarteirões para o oeste, virando, a seguir, novamente à esquerda e andando mais dois quarteirões para o sul. Sabendo que um quarteirão mede 100 m, calcule o módulo do deslocamento da pessoa. **300 m**

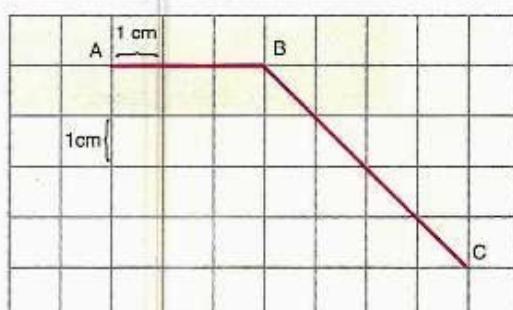
Q19 Um caminhão de entrega de gás percorre as ruas de um bairro, de *A* até *B*, como mostra a figura, em 30 min.



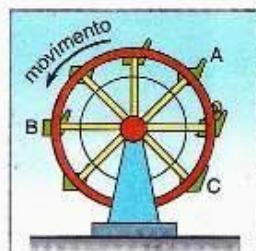
Sabendo que a distância entre duas ruas paralelas consecutivas é de 100 m, qual o módulo da velocidade vetorial média, em quilômetros por hora, nesse percurso? **1 km/h**

Q20 Um móvel percorre a trajetória da figura passando pelos pontos *A*, *B* e *C* em 2 s. Fixando o ponto *A* como origem das posições, determine:

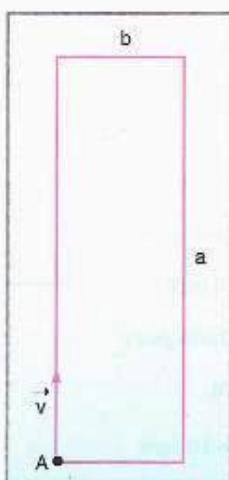
- a) o módulo dos vetores posição \vec{r}_A e \vec{r}_B $r_A = 3 \text{ cm}$
- b) a velocidade escalar média entre *A* e *B* **4 cm/s**
- c) o módulo da velocidade vetorial média entre *A* e *C* **$\sqrt{13} \text{ cm/s}$**



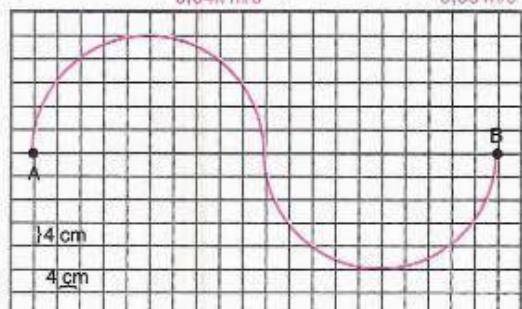
Q21 A figura mostra uma roda-gigante que gira no sentido anti-horário em movimento uniforme e uma menina sentada numa de suas cadeiras. Desenhe o vetor que representa a velocidade vetorial da menina quando ela passar pelos pontos *A*, *B* e *C*. **resposta no final do livro**



- Q22** Numa pista atlética retangular de lados $a = 160\text{ m}$ e $b = 60\text{ m}$, um atleta corre com velocidade de módulo constante $v = 5\text{ m/s}$, no sentido horário, conforme mostra a figura. Em $t = 0\text{ s}$, o atleta encontra-se no ponto A . Qual o módulo do deslocamento do atleta após 60 s de corrida? 100 m



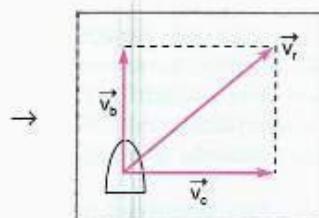
- Q23** Sobre uma superfície plana, um móvel descreve a trajetória desenhada abaixo em 10 s . Determine aproximadamente, em m/s , os módulos de suas velocidades entre os pontos A e B :
- escalar média $0,04\pi\text{ m/s}$
 - vetorial média $0,08\text{ m/s}$



MOVIMENTO RESULTANTE

Ao descrever uma trajetória qualquer, o movimento resultante de um corpo é, muitas vezes, composto por mais de um movimento. Vejamos alguns exemplos:

- a) a velocidade de um barco ao atravessar um rio

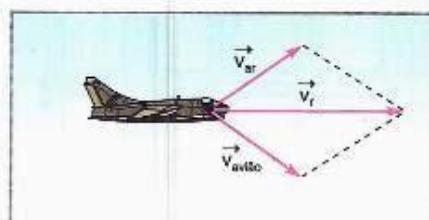


$$\vec{v}_r = \vec{v}_b + \vec{v}_c$$

Sendo:

- ✓ v_b = velocidade do barco ✓ v_c = velocidade da correnteza ✓ v_r = velocidade resultante

- b) a velocidade de um avião



$$\vec{v}_r = \vec{v}_{ar} + \vec{v}_{aviao}$$

Observando a composição dos movimentos, Galileu Galilei concluiu que podia estudar o movimento resultante de um corpo analisando separadamente os movimentos que o compõem e enunciou o *Princípio da independência dos movimentos*, que diz:

Se um corpo se encontra sob a ação simultânea de vários movimentos, cada um deles se processa como se os demais não existissem.

APLICAÇÃO

A 5

Um barco atravessa um rio com velocidade própria de 10 m/s, perpendicular à correnteza. Sabendo-se que a largura do rio é de 800 m e a velocidade da correnteza 4 m/s, determine:

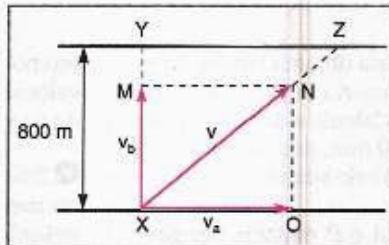
- o tempo gasto na travessia
- o deslocamento do barco rio abaixo ao fim da travessia
- a distância realmente percorrida pelo barco na travessia
- a velocidade do barco em relação à terra

Resolução:

v_b = velocidade do barco em relação à água (10 m/s)

v_a = velocidade da água em relação à terra (4 m/s)

v = velocidade do barco em relação à terra



- Se não houvesse a correnteza, o barco chegaria ao ponto Y. O tempo gasto para percorrer XY é o mesmo gasto para percorrer XZ. Então, podemos escrever:

$$\overline{XY} = v_b t \rightarrow 800 = 10t \therefore t = 80 \text{ s}$$

- O tempo gasto para percorrer YZ é o mesmo que para percorrer XY. Portanto:

$$\overline{YZ} = v_a t \rightarrow \overline{YZ} = 4 \cdot 80 \rightarrow \overline{YZ} = 320 \text{ m}$$

- Da figura, temos:

$$\overline{XZ}^2 = \overline{XY}^2 + \overline{YZ}^2 \rightarrow \overline{XZ} = \sqrt{800^2 + 320^2} \rightarrow \overline{XZ} = 862 \text{ m}$$

- Cálculo de v :

$$v = \sqrt{v_b^2 + v_a^2} \rightarrow v = \sqrt{10^2 + 4^2} \rightarrow v \approx 10,8 \text{ m/s}$$

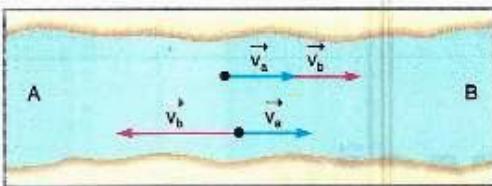
Respostas: a) 80 s; b) 320 m; c) = 862 m; d) = 10,8 m/s

A6

Um barco navega por um rio desde uma cidade *A* até uma cidade *B* com velocidade de 36 km/h e, em sentido contrário, com velocidade de 28,8 km/h. Determine a velocidade da correnteza.

Resolução:

Esquema:



Na descida, a velocidade resultante vale:

$$v_r = v_a + v_b \rightarrow v_a + v_b = 36 \quad ①$$

Na subida, a velocidade resultante vale:

$$v_r = v_b - v_a \rightarrow v_b - v_a = 28,8 \quad ②$$

Resolvendo o sistema formado por ① e ②, obtemos:

$$v_a = 3,6 \text{ km/h} \text{ e } v_b = 32,4 \text{ km/h}$$

Resposta: 3,6 km/h

QUESTÕES

Q24 A velocidade própria de uma lancha é de 18 km/h e ela navega num rio cuja correnteza tem velocidade de 2 m/s. Calcule a distância percorrida pela lancha em 20 min, nos casos:
a) rio abaixo **8 400 m** b) rio acima **3 600 m**

Q25 Entre as cidades *A* e *B* existem sempre correntes de ar que vão de *A* para *B* com uma velocidade de 50 km/h. Um avião, voando em linha reta com uma velocidade de 150 km/h em relação ao ar, demora 4 h para ir de *B* até *A*. Qual é a distância entre as duas cidades? **400 km**

Q26 Um barco a motor, desenvolvendo toda a potência, sobe um rio a 20 km/h e desce a 48 km/h. Qual a velocidade das águas do rio? **14 km/h**

Q27 Numa experiência para determinar a velocidade do som, dois observadores colocaram-se a uma distância de 5,0 km um do outro, munidos de um revólver e um cronômetro. O observador *A* acionou seu cronômetro no instante em que viu o clarão do disparo do revólver de *B*, tendo registrado que o som levou 15,5 s para chegar ao seu ouvido. Em seguida, *A* atirou e *B* registrou o

tempo de 14,5 s até ouvir o estampido. Calcule a velocidade do som e a componente da velocidade do vento ao longo da linha *AB*.

$$v_{\text{som}} = 333,7 \text{ m/s} \text{ e } v_{\text{vento}} = 11,1 \text{ m/s}$$

Q28 (Fuvest-SP) Dois carros, *A* e *B*, movem-se no mesmo sentido, em uma estrada reta, com velocidades constantes $v_A = 100 \text{ km/h}$ e $v_B = 80 \text{ km/h}$, respectivamente.
a) Qual é, em módulo, a velocidade do carro *B* em relação a um observador no carro *A*? **20 km/h**
b) Em um dado instante, o carro *B* está 600 m à frente do carro *A*. Quanto tempo, em horas, decorre até que *A* alcance *B*? **0,03 h**

Q29 (Fuvest-SP) Um barco atravessa um rio de margens paralelas de largura $d = 4 \text{ km}$. Devido à correnteza, a componente da velocidade do barco ao longo das margens é $v_A = 0,5 \text{ km/h}$ em relação às margens. Na direção perpendicular às margens a componente da velocidade é $v_B = 2 \text{ km/h}$. Pergunta-se:
a) Quanto tempo leva o barco para atravessar o rio? **2 h**
b) Ao completar a travessia, qual é o deslocamento do barco na direção das margens? **1 km**

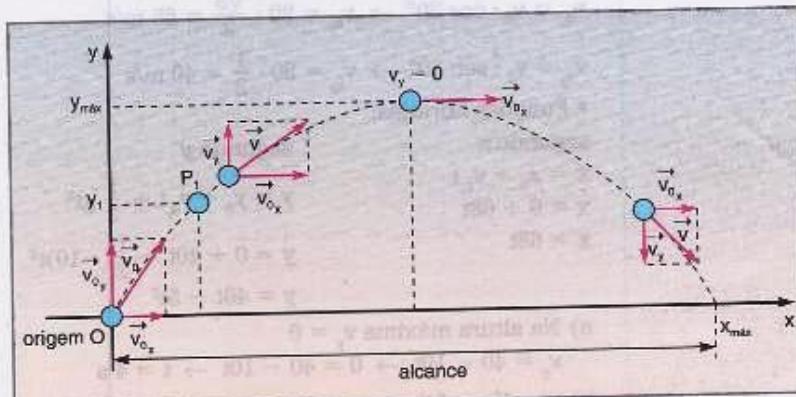
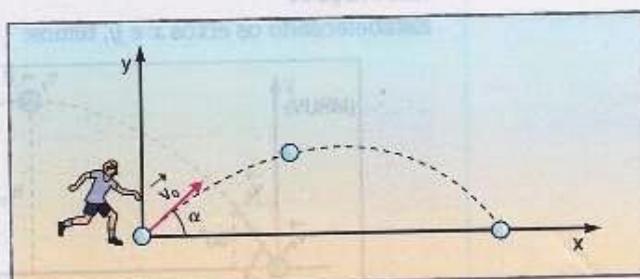
LANÇAMENTO OBLÍQUO

Consideremos um corpo (uma bola) lançado obliquamente, com velocidade inicial \vec{v}_0 e formando um ângulo α com o eixo x .

Considerando que a atmosfera não tenha influência alguma no movimento do corpo, a trajetória dele será parabólica por causa da atração da Terra.

Podemos estudar esse movimento imaginando o lançamento oblíquo como sendo resultante da composição de dois movimentos: um na direção horizontal x e outro na direção vertical y .

- ✓ Na direção horizontal, o corpo realiza um movimento retílineo e uniforme com velocidade igual a \vec{v}_{0_x} .
- ✓ Na direção vertical, o corpo realiza um MRUV com velocidade inicial igual a \vec{v}_{0_y} e aceleração igual à aceleração g da gravidade.



Observações:

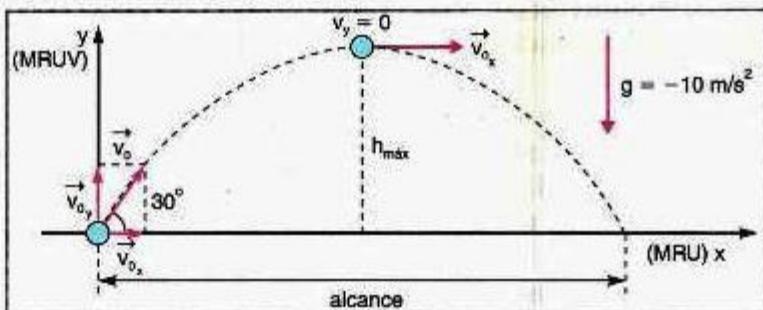
- 1º) O módulo da velocidade vertical \vec{v}_y diminui durante a subida e aumenta na descida.
- 2º) No ponto de altura máxima (y_{\max}) o módulo da velocidade no movimento vertical é zero ($\vec{v}_y = 0$).
- 3º) A distância horizontal entre o ponto de lançamento e o ponto de queda do corpo é denominada alcance (x_{\max}). Neste ponto, $y = 0$.
- 4º) A posição do corpo em um dado instante é determinada pelas coordenadas x e y . Por exemplo, $P_1(x_1, y_1)$.
- 5º) A velocidade num dado instante é obtida através da soma vetorial das velocidades vertical e horizontal, isto é, $\vec{v} = \vec{v}_{0x} + \vec{v}_y$. O vetor \vec{v} é tangente à trajetória em cada instante.

APLICAÇÃO

A7

Um projétil é lançado do solo para cima segundo um ângulo de 30° com a horizontal, com velocidade de 80 m/s. Dados $g = 10 \text{ m/s}^2$ e $\sqrt{3} = 1,7$, calcule:

- a) o tempo que o corpo leva para atingir a altura máxima
- b) a altura máxima
- c) as coordenadas do projétil no instante 1 s
- d) o tempo gasto para atingir o solo
- e) o alcance

Resolução:Estabelecendo os eixos x e y , temos:

$$v_{0x} = v_0 \cdot \cos 30^\circ \rightarrow v_{0x} = 80 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 68 \text{ m/s}$$

$$v_{0y} = v_0 \cdot \sin 30^\circ \rightarrow v_{0y} = 80 \cdot \frac{1}{2} = 40 \text{ m/s}$$

- Funções horárias:

segundo x

$$\begin{aligned} x &= x_0 + v_{0x}t \\ x &= 0 + 68t \end{aligned}$$

$$x = 68t$$

segundo y

$$\begin{aligned} y &= y_0 + v_{0y}t + \frac{1}{2}gt^2 \\ y &= 0 + 40t + \frac{1}{2}(-10)t^2 \end{aligned}$$

$$y = 40t - 5t^2$$

$$\begin{aligned} v_y &= v_{0y} + gt \\ v_y &= 40 - 10t \end{aligned}$$

- a) Na altura máxima $v_y = 0$

$$v_y = 40 - 10t \rightarrow 0 = 40 - 10t \rightarrow t = 4 \text{ s}$$

- b) $y = 40t - 5t^2 \rightarrow y = 40 \cdot 4 - 5 \cdot 4^2 \rightarrow y = 80 \text{ m}$

- c) $x = 68t \rightarrow x = 68 \cdot 1 \rightarrow x = 68 \text{ m}$

$$y = 40t - 5t^2 \rightarrow y = 40 \cdot 1 - 5 \cdot 1^2 \rightarrow y = 35 \text{ m}$$

- d) No solo $y = 0$

$$y = 40t - 5t^2 \rightarrow 0 = 40t - 5t^2$$

$$0 = 5t(8 - t) \rightarrow \begin{cases} t = 0 \text{ (não satisfaz)} \\ t = 8 \text{ s} \end{cases}$$

Observe que o tempo gasto pelo projétil para atingir o solo ($t = 8 \text{ s}$) é o dobro do tempo gasto para atingir a altura máxima ($t = 4 \text{ s}$).

- e) $x = 68t \rightarrow x = 68 \cdot 8 \rightarrow x = 544 \text{ m}$

Respostas: a) 4 s; b) 80 m; c) (68 m, 35 m); d) 8 s; e) 544 m

QUESTÕES

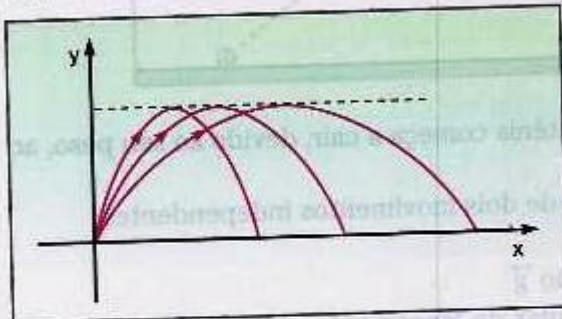
Q30 Um projétil é lançado do solo sob um ângulo de 60° com a horizontal e com velocidade inicial de 50 m/s .

Dados $\sin 60^\circ = 0,8$, $\cos 60^\circ = 0,5$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule:

- a) a altura máxima alcançada **80 m**
 b) a posição do projétil no instante 2 s **50 m, 60 m**
 c) o tempo que o projétil permanece no ar **8 s**
 d) o alcance **200 m**
 e) a velocidade do projétil no instante 1 s
 $\approx 39,1 \text{ m/s}$

- Q31** Um corpo é lançado obliquamente para cima com velocidade de 100 m/s, sob um ângulo de 30° com a horizontal, do alto de uma elevação de 195 m de altura. Dados $\sin 30^\circ = 0,5$, $\cos 30^\circ = 0,8$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine:
 a) a altura máxima atingida em relação ao solo
 b) o alcance 320 m

- Q32** Faça uma análise da seguinte questão:
 A figura a seguir mostra as trajetórias de três bolas de futebol que foram chutadas.



Desprezando-se a resistência do ar, conclui-se que todas as bolas têm o mesmo tempo de vôo, já que as alturas máximas de suas trajetórias são as mesmas.

- Q33** (UFGO) "Sapos, milhões de sapos asquerosos e venenosos, em saltos pelo solo até onde a vista alcança." *IstoÉ*, nº 1 302, 14/09/96.

Um desses sapos está em um barranco, à beira de uma lagoa, admirando a paisagem australiana. De repente ele vê, dentro da lagoa, uma sapa também asquerosa e venenosa, mas para ele muito atraente. O sapo, então, pula para dentro da lagoa com velocidade inicial de 30 cm/s e atinge a água a 12 cm de onde saltou. O salto é executado sob um ângulo θ com a horizontal cujos $\sin \theta = 0,6$ e $\cos \theta = 0,8$. (Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$ e despreze a resistência do ar.)

- a) Quanto tempo levou o sapo para atingir a água? 0,5 s
 b) Qual a altura do barranco de onde o sapo pulou? 16,2 cm
 c) Qual a velocidade com que ele atinge a água? 30 cm/s

- Q34** (UFU-MG) Estando a 8,6 m da trave, um jogador chuta a bola para o gol, a qual sai formando um ângulo de 30° com a horizontal. Sendo a altura da trave de 3 m, determine:
 a) a velocidade com que a bola deve deixar o pé do jogador (v_0) para que ela acerte a trave de cima do gol 15,5 m/s

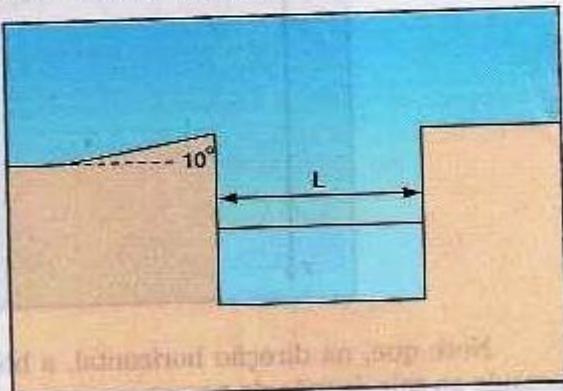
- b) a faixa de velocidade (v_0) para que ela faça o gol, isto é, caia após a linha de gol e passe por baixo da trave $10 \text{ m/s} < v_0 < 15,5 \text{ m/s}$
 c) qual deve ser a velocidade média do goleiro, que se encontra sob o gol no momento do chute, para ele alcançar a bola antes que ela toque o chão, caso a velocidade inicial da bola (v_0) seja de 8,6 m/s 2,6 m/s

$$\begin{aligned} g &= 10 \text{ m/s}^2 \\ \text{Dados: } \left\{ \begin{array}{l} \sin 30^\circ = \frac{1}{2} \\ \cos 30^\circ = 0,86 \end{array} \right. \end{aligned}$$

- Q35** (UFPR) Um jogador de futebol chutou uma bola no solo com velocidade inicial de módulo 15,0 m/s e fazendo um ângulo α com a horizontal. O goleiro, situado a 18,0 m da posição inicial, interceptou-a no ar. Calcule a altura em que estava a bola quando foi interceptada. Despreze a resistência do ar e considere $g = 10,0 \text{ m/s}^2$, $\sin \alpha = 0,600$ e $\cos \alpha = 0,800$.

2,25 m

- Q36** (Unitau-SP) Numa competição de motocicletas, os participantes devem ultrapassar um fosso e, para tornar possível essa tarefa, foi construída uma rampa conforme mostra a figura.

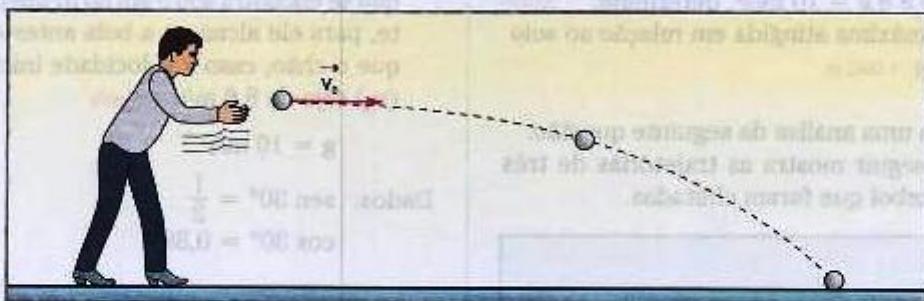


Desprezando as dimensões da moto e considerando $L = 7,0 \text{ m}$, $\cos 10^\circ = 0,98$ e $\sin 10^\circ = 0,17$, determine a mínima velocidade com que as motos devem deixar a rampa a fim de que consigam atravessar o fosso. 14,3 m/s

- Q37** (UFPE) Um gafanhoto adulto pode saltar até 0,80 m, com um ângulo de lançamento de 45° . Desprezando a resistência do ar e a força da sustentação aerodinâmica sobre o gafanhoto, calcule quantos décimos de segundo ele permanecerá em vôo. 0,4 s ou $\frac{4}{10} \text{ s}$

LANÇAMENTO HORIZONTAL

Consideremos um corpo (uma bola de tênis) lançado horizontalmente com velocidade inicial \vec{v}_0 .

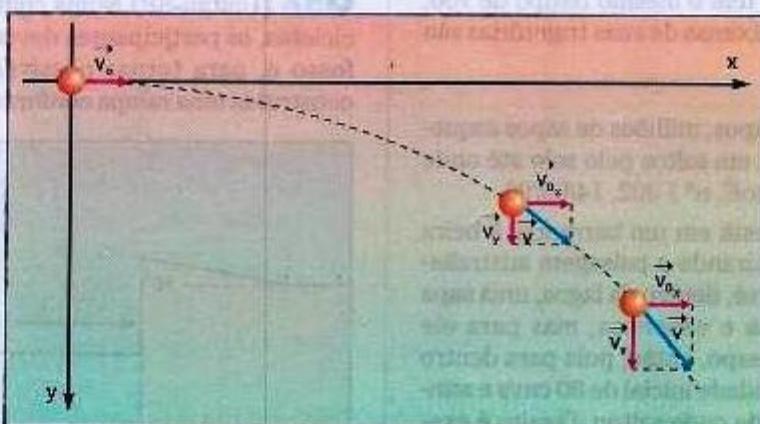


Logo após sair da mão da pessoa a bola de tênis começa a cair, devido ao seu peso, ao longo do percurso em forma de parábola.

Essa trajetória é resultante da composição de dois movimentos independentes:

- ✓ um, MRU na direção horizontal
- ✓ outro, MRUV na direção vertical com aceleração \vec{g}

O lançamento horizontal é um caso particular de lançamento obliquio. Nesse caso, o ângulo de lançamento é igual a zero ($\alpha = 0^\circ$).



Note que, na direção horizontal, a bola tende a manter a velocidade horizontal que possuía ao sair da mão da pessoa.

APLICAÇÃO

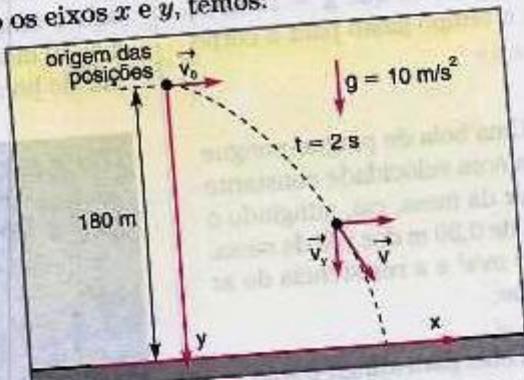
A8

Um corpo é lançado horizontalmente do alto de uma plataforma de 180 m de altura em relação ao solo, com velocidade inicial de 40 m/s. Dado $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine:

- o tempo gasto para atingir o solo
- suas coordenadas no instante 3 s
- sua velocidade no instante 2 s
- o alcance

Resolução:

a) Estabelecendo os eixos x e y , temos:



$$v_x = v_0 \cdot \cos 0^\circ = 40 \cdot 1 = 40 \text{ m/s}$$

$$v_y = v_0 \cdot \sin 0^\circ = 40 \cdot 0 = 0$$

Funções horárias:

segundo x

$$x = x_0 + v_{0x} t \rightarrow x = 40t$$

segundo y

$$y = y_0 + v_{0y} t + \frac{1}{2} g t^2 \rightarrow y = 5t^2$$

$$v_y = v_{0y} + gt \rightarrow v_y = 10t$$

No solo, $y = 180 \text{ m}$; logo:

$$y = 5t^2 \rightarrow 180 = 5t^2 \rightarrow t^2 = 36 \rightarrow t = 6 \text{ s}$$

$$\text{b)} x = 40t \rightarrow x = 40 \cdot 6 = 240 \text{ m} \therefore (240 \text{ m}, 180 \text{ m})$$

$$y = 5t^2 \rightarrow y = 5 \cdot 6^2 = 180 \text{ m}$$

c) Quando $t = 2 \text{ s}$, temos:

$$v_y = 10t$$

$$v_y = 20 \text{ m/s}$$

$$v = \sqrt{v_{0x}^2 + v_y^2}$$

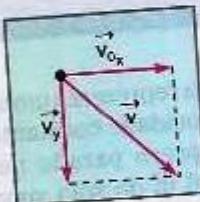
$$v = \sqrt{40^2 + 20^2}$$

$$v = 20\sqrt{5} \text{ m/s}$$

d) Quando $t = 6 \text{ s}$, temos:

$$x = 40t \rightarrow x = 40 \cdot 6 = 240 \text{ m}$$

Respostas: a) 6 s; b) (240 m, 180 m); c) $20\sqrt{5}$ m/s; d) 240 m



QUESTÕES

Q38 Um projétil é atirado horizontalmente do alto de uma torre de 500 m de altura com velocidade inicial de 40 m/s. Dado $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule:

- a) o tempo que o projétil leva para atingir o solo 10 s

b) as coordenadas do projétil no instante 4 s

(160 m, 80 m)

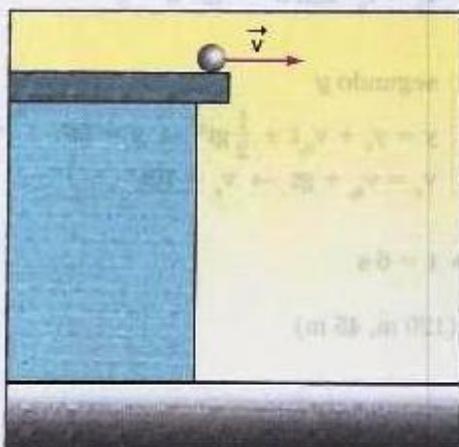
Q39 Um avião precisa soltar um saco de mantimentos a um grupo de sobreviventes que está numa balsa. A velocidade horizontal do avião é constante e igual a 100 m/s com relação à balsa e sua altitude é de 2 000 m. Calcule a distância horizontal que separa o avião dos sobreviventes no instante do lançamento. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

2 000 m

Q40 De um lugar situado 125 m acima do solo lança-se um corpo horizontalmente, com velocidade igual a 10 m/s. Sabendo que $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule o alcance e o tempo gasto para o corpo atingir o solo. **50 m e 5 s**

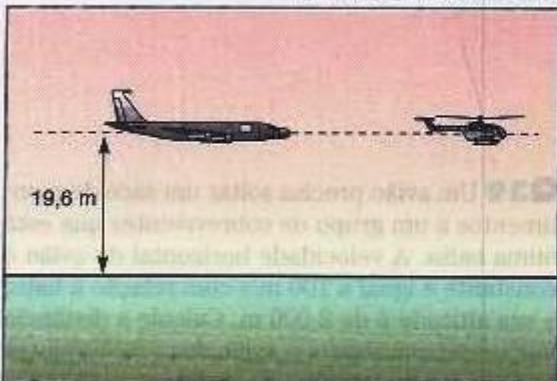
Q41 (Cefet-MG) Uma bola de pingue-pongue rola sobre uma mesa com velocidade constante de 0,20 m/s. Após sair da mesa, cai, atingindo o chão a uma distância de 0,20 m dos pés da mesa. Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$ e a resistência do ar desprezível, determine:

- a altura da mesa **5 m**
- o tempo gasto pela bola para atingir o solo **1 s**



Q42 (ITE-Bauru) A figura representa um avião em voo horizontal com velocidade constante de $19,6\sqrt{3} \text{ m/s}$ e um helicóptero parado no ar, ambos a um altura de 19,6 m do solo suposto plano e horizontal. Nestas condições, dado $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, se eles abandonam uma bomba simultaneamente, compare os tempos gastos pelas bombas abandonadas pelos dois aparelhos até atingirem o solo. Despreze a resistência do ar.

Os tempos são iguais a 2 s.



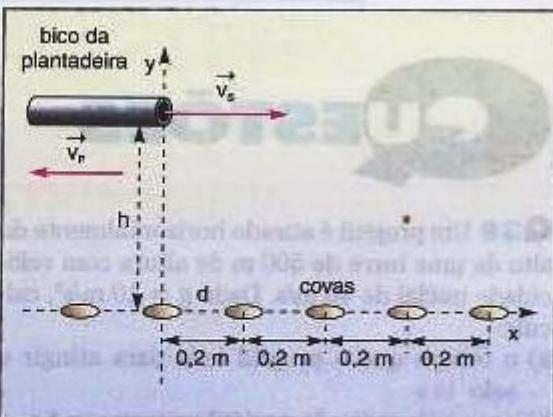
Q43 Um jato de água sai do bocal de uma mangueira horizontal a 20 m de altura, atingindo o solo a uma distância horizontal de 10 m. Dado $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine a velocidade da água ao sair do bocal da mangueira. **5 m/s**



Q44 (UFU-MG) Sementes são lançadas periodicamente do bico de uma plantadeira, na horizontal, para trás, de uma altura h , alinhadas com as covas que estão equidistantes de $d = 0,2 \text{ m}$, uma (cova) da outra. As sementes são lançadas no instante em que o bico da plantadeira está alinhado verticalmente com uma das covas (eixo y). As sementes deverão cair na cova imediatamente atrás. A plantadeira anda com uma velocidade constante v_p em relação ao solo. Despreze a resistência do ar.

Determine:

- o tempo gasto para que as sementes caiam nas covas **1 s**
 - qual deverá ser a velocidade de lançamento das sementes (v_s), em relação ao solo, para que elas caiam nas covas **1,2 m/s**
 - o vetor velocidade das sementes imediatamente antes de cair nas covas **$10 \text{ m/s}, 88,9^\circ$ - noroeste para sudeste**
- Dados: $h = 5 \text{ m}$; $d = 0,2 \text{ m}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$ e $v_p = 1 \text{ m/s}$



CAPÍTULO 6

MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME

VELOCIDADE ANGULAR MÉDIA

Considere um móvel percorrendo uma trajetória circular de raio R e os ângulos φ_1 , e φ_2 quando o móvel se encontra nos instantes t_1 e t_2 , respectivamente.

Define-se como *velocidade angular média* o quociente entre o ângulo descrito, $\Delta\varphi$, e o tempo, Δt , gasto para descrevê-lo.

Analiticamente, temos:

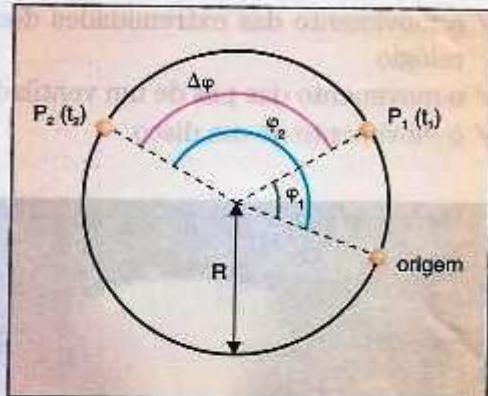
$$\omega_m = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{t_2 - t_1}$$

ω_m = velocidade angular média

$\Delta\varphi$ = deslocamento

Δt = tempo

No SI, os ângulos são medidos em radianos. Assim, a unidade de velocidade angular é rad/s.



VELOCIDADE ANGULAR INSTANTÂNEA

É o limite para o qual tende a velocidade angular média quando Δt tende a zero, isto é:

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \omega_m = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

Observação:

A velocidade escalar, que já conhecemos, definida pela relação $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, também pode ser chamada de *velocidade linear*, para não ser confundida com a velocidade angular ω , que acabamos de definir.

A velocidade linear leva em consideração a distância percorrida na unidade de tempo. A velocidade angular leva em consideração o ângulo descrito na unidade de tempo.

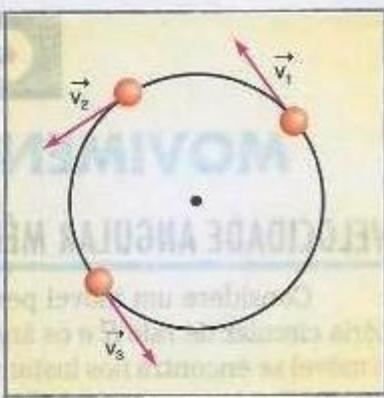
Em nosso livro vamos estudar somente os movimentos circulares em que a velocidade angular é constante, isto é, não faremos distinção entre velocidade angular média e velocidade angular instantânea. Por esse motivo, ambas serão chamadas de *velocidade angular*.

O QUE É MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME (MCU)

Dizemos que um móvel realiza um *movimento circular uniforme* quando sua trajetória é circular e o módulo do vetor velocidade permanece constante e diferente de zero.

Como exemplos de movimento circular uniforme, temos:

- ✓ o movimento das extremidades dos ponteiros de um relógio
- ✓ o movimento das pás de um ventilador
- ✓ o movimento de um disco



$$|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2| = |\vec{v}_3| = cte \neq 0$$



Stefan Donha / Getty Images



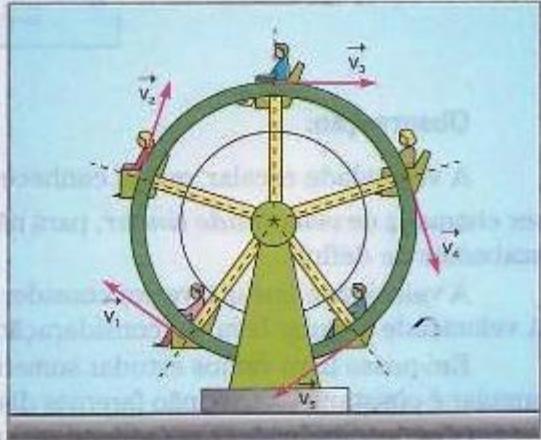
Stefan Donha / Getty Images

FREQÜÊNCIA E PÉRIODO

Consideremos uma roda-gigante girando.



PhotoDisc



Durante esse movimento, cada cadeira da roda-gigante descreve circunferências contínuamente, ou seja, cada uma delas passa repetidas vezes pela mesma posição e nas mesmas condições (posição, velocidade etc.), em intervalos de tempo iguais. Devido a isso, o movimento de rotação da roda-gigante é considerado *periódico*.

O número de voltas (ou ciclos) que a roda-gigante efetua na unidade de tempo é chamado *frequência* do movimento.

Se, por exemplo, cada cadeira dá 15 voltas por minuto, dizemos que a roda-gigante gira com uma frequência de 15 ciclos por minuto ou 15 rotações por minuto (15 rpm).

Se quisermos achar a frequência em segundos, basta dividirmos por 60, pois 1 min é igual a 60 s.

A unidade ciclos por segundo ou rotações por segundo é chamada *hertz*, que se abre-
via Hz. Assim:

$$15 \text{ rpm} = \frac{15}{60} \text{ rps} = \frac{1}{4} \text{ rps} = \frac{1}{4} \text{ Hz}$$

Por outro lado, o tempo que a roda-gigante leva para dar uma volta completa é denominado *período* do movimento.

Podemos achar o período do movimento da roda-gigante estabelecendo uma regra de três simples: se a roda-gigante dá $\frac{1}{4}$ de volta por segundo, então, o tempo gasto para dar uma volta completa é T .

Número de voltas	Tempo (s)
$\frac{1}{4}$	1
1	T
	$\rightarrow \frac{\frac{1}{4}}{1} = \frac{1}{T} \rightarrow T = 4 \text{ s}$

Note que o período é o inverso da frequência:

$$T = \frac{1}{f} \text{ ou } f = \frac{1}{T}$$

RELAÇÕES MATEMÁTICAS NO MCU

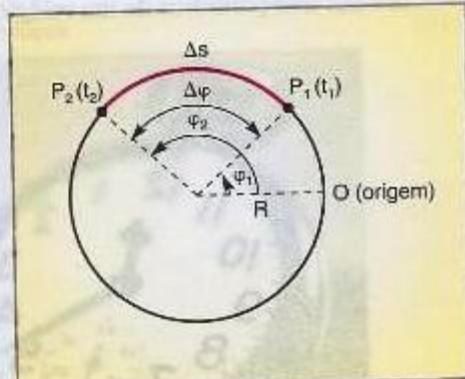
Consideremos um móvel descrevendo um movimento circular uniforme no sentido anti-horário, conforme mostra a figura.

Para uma volta completa, o espaço percorrido é o comprimento da circunferência ($\Delta s = 2\pi R$), o ângulo descrito é 360° ou 2π rad ($\Delta\varphi = 2\pi$) e o tempo gasto é o período T .

Assim:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T} \text{ ou } \omega = 2\pi \cdot \frac{1}{T} \text{ ou } \omega = 2\pi f$$

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow v = \frac{2\pi R}{T} \rightarrow v = \omega R$$



APLICAÇÃO

A9

Um corpo em MCU efetua 480 voltas numa circunferência de raio 0,5 m em 2 min. Determine:

- a) a freqüência b) o período c) a velocidade escalar do corpo

Resolução:

a) nº de voltas tempo (s)

$$\begin{array}{ccc} 480 & 120 & \rightarrow \\ f & 1 & \end{array} \quad \begin{array}{l} 120f = 480 \\ f = 4 \text{ Hz} \end{array}$$

b) $f = \frac{1}{T} \rightarrow T = \frac{1}{f} \rightarrow T = \frac{1}{4} \text{ s}$

c) $\omega = 2\pi f \rightarrow \omega = 2\pi \cdot 4 \rightarrow \omega = 8\pi \text{ rad/s}$
 $v = \omega R \rightarrow v = 8\pi \cdot 0,5 \rightarrow v = 4\pi \text{ m/s}$

Respostas: a) 4 Hz; b) $\frac{1}{4}$ s; c) 4π m/s

QUESTÕES

Q45 Um ventilador gira com freqüência 4 Hz. O que significa esse número? Significa que a hélice do ventilador gira 4 vezes por segundo.

Q46 Transforme cada uma das freqüências a seguir em rotações por segundo.

- a) 240 rpm 4 rps
 b) 180 rpm 3 rps

Q47 Qual é o período e a freqüência de cada um dos três ponteiros de um relógio?

segundos: 60 s e $\frac{1}{60}$ Hz;



minutos: 3 600 s e $\frac{1}{3 600}$ Hz; horas: 43 200 s e $\frac{1}{43 200}$ Hz

108

Q48 Um corpo dá 300 voltas numa circunferência em 2,5 min.

- a) Qual o período do movimento? 0,5 s
 b) Qual a freqüência, em Hz, do movimento?

Q49 Uma mosca pousa a 3 cm do centro de um disco que está efetuando 40 rpm. Quais as velocidades angular e linear da mosca?

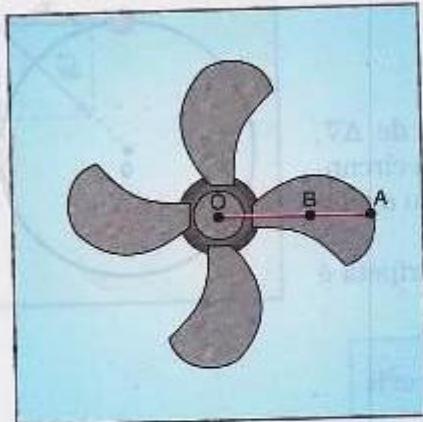
Q50 Um carrossel gira, efetuando uma rotação completa a cada 4 s. Cada cavalo executa MCU.

- a) Qual a freqüência do movimento dos cavalos? $\frac{1}{4}$ Hz
 b) Qual a velocidade angular de cada cavalo? $\frac{\pi}{2}$ rad/s



Credit: Stock Photo

- Q51** O motor elétrico de um ventilador efetua 720 rpm.



Sabendo que $\overline{OB} = 25 \text{ cm}$ e $\overline{OA} = 50 \text{ cm}$, calcule:

$$24\pi \text{ rad/s (ambas)}$$

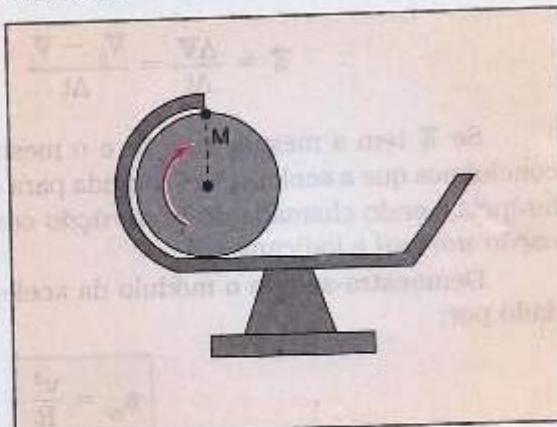
- a velocidade angular dos pontos A e B.
- a velocidade escalar dos pontos A e B.

$$v_A = 12\pi \text{ m/s} \text{ e } v_B = 6\pi \text{ m/s}$$

- Q52** (UFPE) As rodas de uma bicicleta possuem raio igual a 0,5 m e giram com velocidade angular igual a 5,0 rad/s. Qual a distância percorrida, em metros, por esta bicicleta num intervalo de 10 s? 25 m

- Q53** (UFPel-RS) Quando um profissional da indústria mecânica opera um moto-esmeril, ele deve usar, adequadamente, óculos de proteção para evitar que fragmentos metálicos, desprendidos do rebolo, atinjam seus olhos. A figura seguinte mostra um rebolo de 30 cm de diâmetro, girando com velocidade angular igual a 1 800 rpm.

Na posição ilustrada, o fragmento metálico M se desprende.



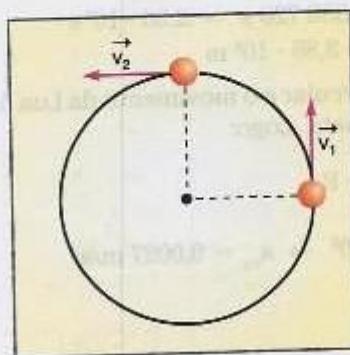
Responda:

- Em que direção e sentido o fragmento se movimenta imediatamente após se soltar?
- Qual o valor, no sistema internacional de unidades, da velocidade linear do fragmento que se desprende? Justifique sua resposta considerando que $1 \text{ rpm} = \frac{\pi}{30} \text{ rad/s}$. $9\pi \text{ m/s}$

- Q54** (UFGO) Um disco gira num plano horizontal ao redor de um eixo vertical que passa pelo seu centro. O disco efetua 5,0 rps. Solta-se uma pedra, do repouso e no vácuo, de uma altura de 5,0 m acima do disco, de tal modo que a pedra cai sobre o disco. Quantas rotações terá efetuado o disco desde o instante em que se solta a pedra até o instante em que ela toca o disco? Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$. 5 rotações

ACELERAÇÃO CENTRÍPETA

No movimento circular uniforme o vetor velocidade é constante em módulo mas é variável em direção e sentido em cada ponto.



$$|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2| = v$$

Como existe variação do vetor velocidade, existe aceleração.

A aceleração \vec{a} é dada por:

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}$$

Se \vec{a} tem a mesma direção e o mesmo sentido de $\Delta \vec{v}$, concluímos que a aceleração é dirigida para o centro da circunferência, sendo chamada de *aceleração centrípeta* ou *aceleração normal* e indicamos \vec{a}_{cp} .

Demonstra-se que o módulo da aceleração centrípeta é dado por:

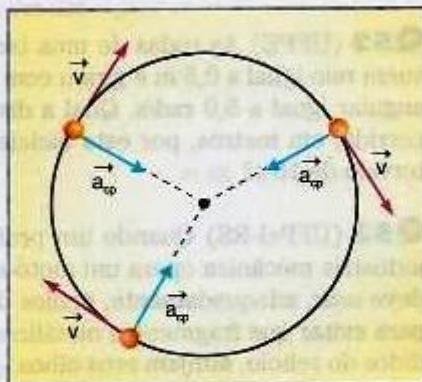
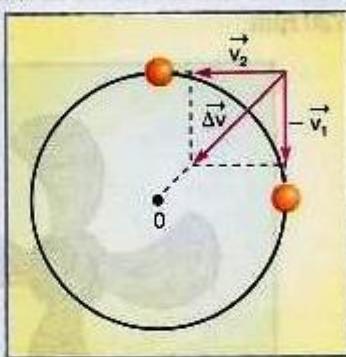
$$a_{cp} = \frac{v^2}{R} \quad \text{ou} \quad a_{cp} = \omega^2 R$$

Sendo:

- ✓ v a velocidade escalar
- ✓ R o raio da trajetória

A aceleração centrípeta tem por função variar a direção do vetor velocidade, mantendo o móvel sobre a circunferência, produzindo o movimento circular.

Em cada posição do móvel o vetor \vec{a}_{cp} é perpendicular ao vetor \vec{v} e dirigido para o centro da circunferência.



APLICAÇÃO

A 10

A Lua gira em torno da Terra, completando uma revolução em 27,3 dias. Suponha que sua órbita seja circular e tenha um raio de 385 000 km. Determine a aceleração da Lua nesse movimento.

Resolução:

Dados $\left\{ \begin{array}{l} T = 27,3 \text{ dias} = 2\ 358\ 720 \text{ s} \approx 2,36 \cdot 10^6 \text{ s} \\ R = 385\ 000 \text{ km} = 3,85 \cdot 10^8 \text{ m} \end{array} \right.$

Como a órbita suposta é circular e o movimento da Lua é uniforme, temos que a aceleração dela é centrípeta. Logo:

$$a_{cp} = \omega^2 R \rightarrow a_{cp} = \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 \cdot R$$

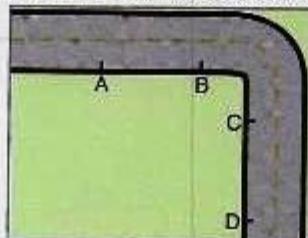
$$a_{cp} = \frac{(2 \cdot 3,14)^2}{(2,36 \cdot 10^6)^2} \cdot 3,85 \cdot 10^8 \rightarrow a_{cp} \approx 0,0027 \text{ m/s}^2$$

Resposta: $= 0,0027 \text{ m/s}^2$

QUESTÕES

Q55 (Metodista-SBC) Foi proposto a dois alunos que comentassem sobre a aceleração de um automóvel que percorre, com velocidade constante, uma pista composta de três trechos: dois retilíneos, AB e CD, e um curvilíneo, BC, conforme a figura abaixo. O aluno X afirma que a aceleração do automóvel é nula em todos os trechos, pois sua velocidade é constante, enquanto o aluno Y acredita que no trecho BC a aceleração do automóvel é não-nula. Qual dos dois alunos está correto? Argumente sua afirmação.

O aluno Y está correto, pois no trecho BC existe aceleração centrípeta.



Q56 (UMC-SP) Numa pista circular horizontal, de raio igual a 2 km, um automóvel se move com velocidade escalar constante, cujo módulo é igual a 72 km/h. Determine o módulo da aceleração centrípeta do automóvel, em m/s^2 .

$$0,2 \text{ m/s}^2$$

Q57 (UFGO) Uma partícula executa um MCU de raio 1 m com aceleração $0,25 \text{ m/s}^2$. Qual é o período desse movimento? $4\pi \text{ s}$

FUNÇÃO HORÁRIA ANGULAR

Já vimos que a função do MRU é $s = s_0 + vt$. Essa função fornece a posição s em cada instante t sobre a trajetória.

No entanto, para localizar um ponto material que descreve um MCU é mais útil uma função que forneça o ângulo descrito no decorrer do tempo, isto é, precisamos de uma função horária angular.

Isso ocorre porque a posição escalar não é uma variável conveniente. O ponto material em MCU passa várias vezes pela mesma posição sobre a circunferência.

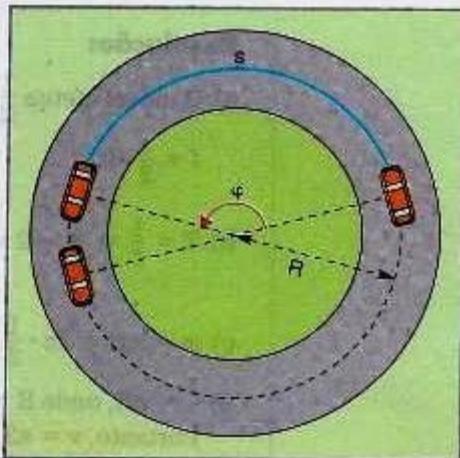
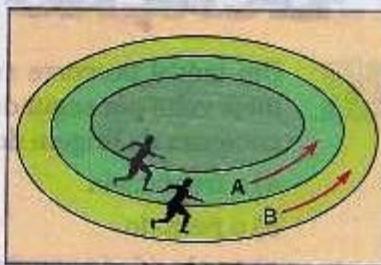
O mesmo não ocorre com o ângulo que esse ponto material percorre (varre) durante o movimento. Seus valores nunca se repetem, pois quando o ponto material passa pelo mesmo ponto o valor do ângulo é acrescido de 360° ou 2π rad.

Q58 Um automóvel executa, em 2 min, uma volta completa em pista circular, mantendo constante a indicação do velocímetro. Num dos pontos da trajetória, a aceleração vetorial do automóvel tem módulo igual a 4 m/s^2 . Determine o raio da pista. Adote $\pi = 3,14$. $\sim 1460,5 \text{ m}$

Q59 Dois corredores competem numa pista circular. O corredor A corre pela pista interna, enquanto o B corre pela externa. Sabendo que ambos completam uma volta no mesmo tempo, afirma-se o seguinte:

- I. A velocidade angular de A é igual à de B
- II. A velocidade linear de A é maior que a de B
- III. A freqüência de A é igual à de B
- IV. A aceleração centripeta de A é menor que a de B

Quais afirmações são verdadeiras? I e III



Assim, podemos obter uma relação matemática entre o ângulo ϕ e o instante t considerado.

Para isso, consideremos a figura:

$$\text{A velocidade angular é dada por } \omega = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad ①$$

$$\text{Mas } \Delta\phi = \phi - \phi_0 \quad ② \text{ e } \Delta t = t - t_0 = t - 0 = t \quad ③$$

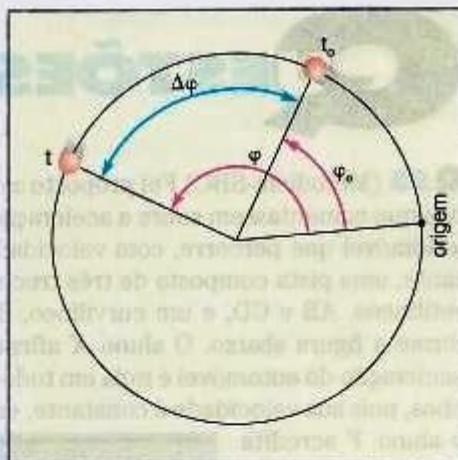
Substituindo ② e ③ em ①, vem:

$$\omega = \frac{\phi - \phi_0}{t} \rightarrow \boxed{\phi = \phi_0 + \omega t}, \text{ função horária}$$

sob a forma angular.

Sendo:

- ✓ ϕ o ângulo ou a fase no instante t
- ✓ ϕ_0 o ângulo inicial ou a fase inicial
- ✓ ω a velocidade angular
- ✓ t o tempo



APLICAÇÃO

A 11

Um móvel percorre com MU uma circunferência de 3 m de raio, efetuando meia volta por segundo. Sabendo que no início da contagem dos tempos ele se encontra na origem dos arcos, calcule:

- a freqüência
- o período
- a velocidade angular
- a velocidade escalar
- as funções horárias do movimento sob as formas linear e angular
- a aceleração centrípeta
- o tempo decorrido para descrever um ângulo de $\frac{3\pi}{2}$ rad

Resolução:

a) O móvel efetua $\frac{1}{2}$ volta por segundo. Portanto:

$$f = \frac{1}{2} \text{ Hz}$$

$$b) T = \frac{1}{f} = \frac{1}{\frac{1}{2}} = 2 \text{ s} \therefore T = 2 \text{ s}$$

$$c) \omega = 2\pi f = 2\pi \cdot \frac{1}{2} = \pi \text{ rad/s} \therefore \omega = \pi \text{ rad/s}$$

$$d) v = \omega R, \text{ onde } R = 3 \text{ m}$$

$$\text{Portanto, } v = \pi 3 = 3\pi \text{ m/s} \rightarrow v = 3\pi \text{ m/s}$$

e) Forma linear:

$$s = s_0 + vt, \text{ com } \begin{cases} s_0 = 0 \text{ (o móvel parte da origem)} \\ v = 3\pi \text{ m/s} \end{cases}$$

Substituindo-se, vem:

$$s = 0 + 3\pi t \rightarrow s = 3\pi t$$

Forma angular:

$$\varphi = \varphi_0 + \omega t, \text{ com } \begin{cases} \varphi_0 = 0 \\ \omega = \pi \text{ rad/s} \end{cases}$$

Substituindo-se, vem:

$$\varphi = 0 + \pi t \rightarrow \varphi = \pi t$$

f) $a_{\varphi} = \frac{v^2}{R} = \frac{(3\pi)^2}{3} = \frac{9\pi^2}{3} = 3\pi^2 \text{ m/s}^2 \rightarrow a_{\varphi} = 3\pi^2 \text{ m/s}^2$

g) O tempo para descrever o ângulo $\varphi = \frac{3\pi}{2}$ rad será obtido pela função horária angular $\varphi = \pi t$.

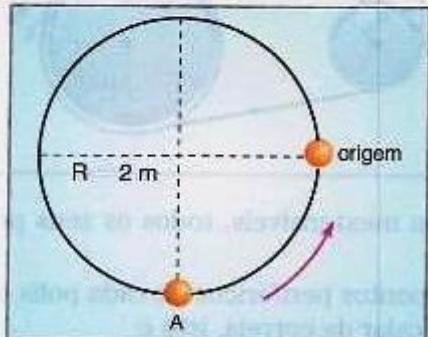
$$\frac{3\pi}{2} = \pi t \rightarrow t = 1,5 \text{ s}$$

Respostas: vide resolução

QUESTÕES

Q60 Um ponto material inicia seu movimento no ponto *A* da figura e percorre a trajetória com velocidade angular constante.

$$\omega = \frac{\pi}{4} \text{ rad/s}$$



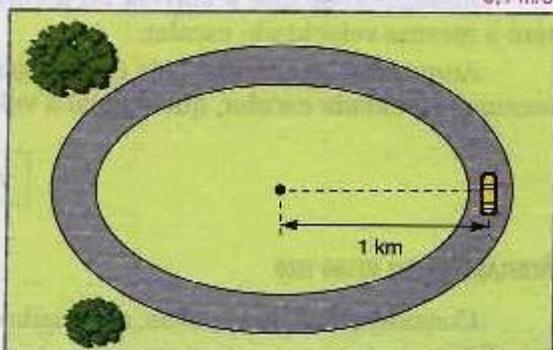
Determine:

- a) a função horária angular do movimento $\varphi = \frac{3\pi}{2} + \frac{\pi}{4} t$
b) a função horária escalar do movimento $s = 3\pi + \frac{\pi}{2} t$
c) a posição angular do ponto material no instante $3s$ $\frac{9\pi}{4}$ rad
d) o instante em que o ponto material completa oito voltas 58 s

Q61 Um móvel movimenta-se em MCU segundo a função horária angular $\varphi = \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{2}t$ (no SI). Calcule o instante em que ele passa pela posição $\varphi = \pi$ rad. $1,5$ s.

Q62 (Fuvest-SP) Um automóvel percorre uma pista circular de 1 km de raio, com velocidade de 36 km/h.

- a) Em quanto tempo o automóvel percorre um arco de circunferência de 30° ? $= 52$ s
b) Qual a aceleração centrípeta do automóvel? $0,1 \text{ m/s}^2$



Q63 Um corpo realiza um MCU de 2 m de raio, com freqüência 4 Hz. Sabendo que no início da contagem dos tempos ele estava na origem das posições, determine:

- sua velocidade angular $8\pi \text{ rad/s}$
- sua posição angular no instante 10 s $80\pi \text{ rad}$

Q64 (Fuvest-SP) Dois corredores, *A* e *B*, partem do mesmo ponto de uma pista circular

de 120 m de comprimento, com velocidade $v_A = 8 \text{ m/s}$ e $v_B = 6 \text{ m/s}$.

- Se partirem em sentidos opostos, qual será a menor distância entre eles, medida ao longo da pista, após 20 s? **40 m**
- Se partirem no mesmo sentido, após quanto tempo o corredor *A* estará com uma volta de vantagem sobre o *B*? **60 s**

ACOPLAMENTO DE POLIAS

Geralmente, os motores têm uma freqüência de rotação fixa. Entretanto, as máquinas acionadas por eles têm, quase sempre, sistemas girantes que precisam de diferentes freqüências de rotação. Muitas vezes essas freqüências são fornecidas por um único motor. Por isso, o eixo desse motor é acoplado a polias de diferentes tamanhos por meio de correias ou engrenagens.

Duas polias podem ser acopladas das seguintes formas:

ACOPLAMENTO POR CORREIA



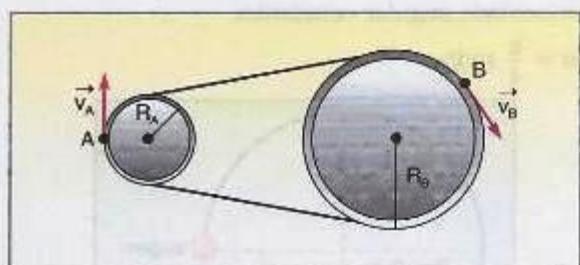
Para esse tipo de acoplamento, temos:

R_A = raio da polia *A*

R_B = raio da polia *B*

v_A = velocidade escalar de um ponto periférico da polia *A*

v_B = velocidade escalar de um ponto periférico da polia *B*



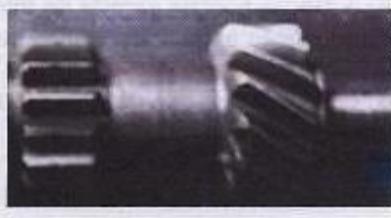
Admitindo-se que a correia ou a corrente sejam inextensíveis, todos os seus pontos têm a mesma velocidade escalar.

Admitindo-se que não haja escorregamento, os pontos periféricos de cada polia têm a mesma velocidade escalar, que é igual à velocidade escalar da correia, isto é:

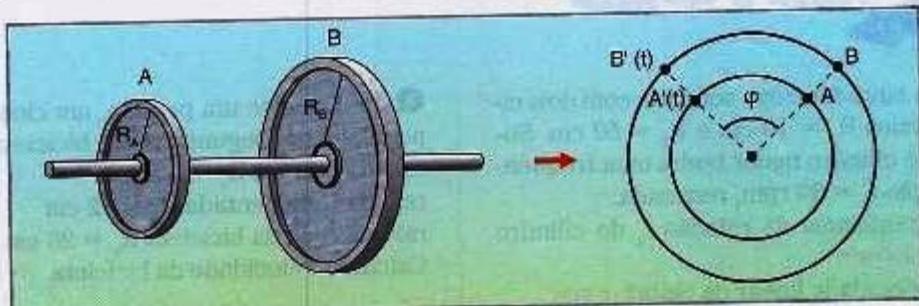
$$v_A = v_B$$

ACOPLAMENTO COM MESMO EIXO

Consideremos duas polias, associadas conforme indica a figura.



Nesse caso, os pontos *A* e *B* descrevem o mesmo ângulo central ϕ , no mesmo intervalo de tempo.



Para esse tipo de acoplamento, a velocidade angular de um ponto periférico da polia *A* é igual à velocidade angular de um ponto periférico da polia *B*, isto é:

$$\omega_A = \omega_B$$

APLICAÇÃO

A 12

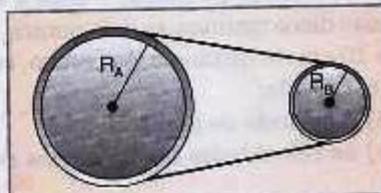
As polias indicadas na figura têm raios $R_A = 60$ cm e $R_B = 10$ cm. Sabendo-se que $f_A = 20$ rpm, determine o número de rotações da polia *B*.

Resolução:

Devemos ter:

$$\begin{aligned} v_A &= v_B \rightarrow \omega_A R_A = \omega_B R_B \\ 2\pi f_A \cdot R_A &= 2\pi f_B \cdot R_B \\ f_A \cdot R_A &= f_B \cdot R_B \\ 20 \cdot 60 &= f_B \cdot 10 \\ f_B &= 120 \text{ rpm} \end{aligned}$$

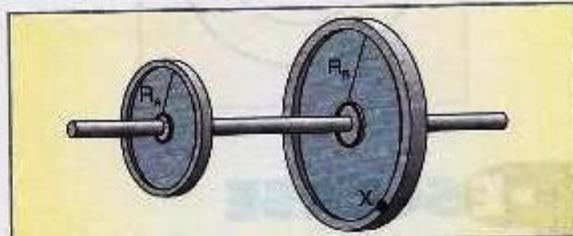
Resposta: 120 rpm



A 13

As polias indicadas na figura giram coaxialmente.

Sabendo-se que $R_A = 20$ cm, $R_B = 60$ cm e que a velocidade escalar de um ponto periférico da polia *A* é 50 cm/s, calcule a velocidade do ponto *X*.



Resolução:

Devemos ter:

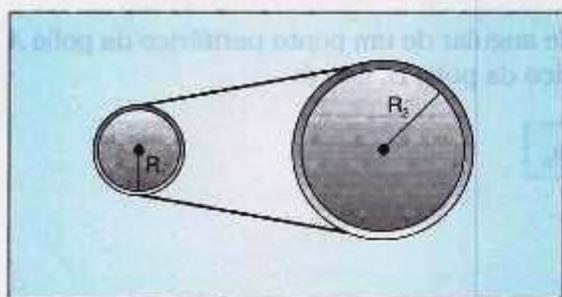
$$\omega_A = \omega_B \rightarrow \frac{v_A}{R_A} = \frac{v_B}{R_B} \rightarrow \frac{50}{20} = \frac{v_X}{60} \rightarrow v_X = 150 \text{ cm/s}$$

Resposta: 150 cm/s

QUESTÕES

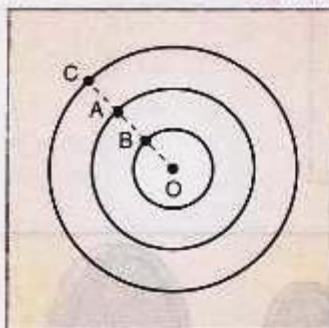
Q65 Uma cinta funciona solidária com dois cilindros de raios $R_1 = 10\text{ cm}$ e $R_2 = 50\text{ cm}$. Supondo que o cilindro maior tenha uma freqüência de rotação $f_s = 60\text{ rpm}$, responda:

- Qual a freqüência de rotação f_1 do cilindro menor? 300 rpm
- Qual a velocidade linear da cinta? $\pi\text{ m/s}$

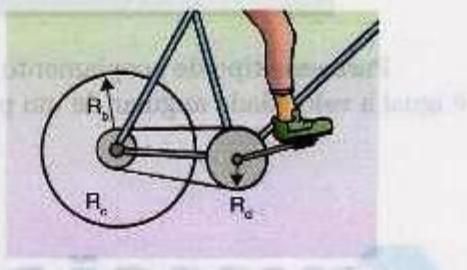


Q66 Um disco de raio 20 cm gira com velocidade angular constante e igual a $4\pi\text{ rad/s}$. Sobre esse disco marcam-se dois pontos, A e B , a 15 cm e 10 cm de distância do centro, respectivamente. Calcule:

- o período do ponto C $0,5\text{ s}$
- as velocidades escalares dos pontos A e B $60\pi\text{ cm/s}$ e $40\pi\text{ cm/s}$

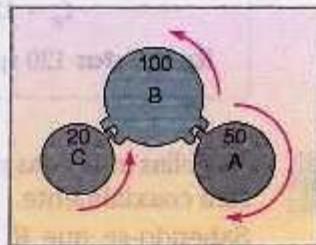


Q67 Durante um passeio, um ciclista dá uma pedalada por segundo numa bicicleta em que:
raio da catraca $R_c = 4\text{ cm}$
raio da roda dentada $R_d = 12\text{ cm}$
raio da roda da bicicleta $R_b = 20\text{ cm}$
Calcule a velocidade da bicicleta. $\approx 13,6\text{ km/h}$



Q68 (Unicamp-SP) Considere as três engrenagens acopladas simbolizadas na figura abaixo. A engrenagem A tem 50 dentes e gira no sentido horário, indicado na figura, com velocidade angular de 100 rpm. A engrenagem B tem 100 dentes e a C tem 20 dentes.

- Qual é o sentido de rotação da engrenagem C ? **horário**
- Quanto vale a velocidade tangencial da engrenagem A em dentes por minuto? **5 000 dentes/min**
- Qual é a velocidade angular de rotação (em rpm) da engrenagem B ? **50 rpm**



PESQUISE

- O que é embreagem?
- Os tipos de polia são determinados pela forma da superfície na qual a correia se assenta. Elas podem ser planas ou trapezoidais. Existem também polias para correntes, para cabos de aço, para correias redondas e para correias dentadas. Faça um estudo sobre esses tipos de polias e correias abordando: material usado para a fabricação, onde são usadas e como é feita a transmissão de movimento.

UNIDADE IV

de sensibilizar os
homens sobre o que

realizam para o
ambiente e como
o (2001-2002) influ-
enciou negativamente
as suas ações.
Assim, os estudos
apresentados na

seguem uma
ordem lógica:



Dinâmica

CAPÍTULO 7

FORÇA E MOVIMENTO

TEORIA, SEUS CRIADORES, SUA PRÁTICA

Nas unidades II e III estudamos o movimento dos corpos, porém não discutimos as causas que produzem ou modificam o movimento. A parte da Mecânica que estuda essas causas é a *Dinâmica*.

A primeira teoria sobre esse assunto, *Philosophia Naturalis Principia Mathematica*, publicada em 1687 por Isaac Newton (1642-1727), explicou de forma completa o movimento dos corpos, trabalho esse apoiado nos estudos realizados por Galileu Galilei (1564-1642) e Johannes Kepler (1571-1630). Nesse trabalho Newton conseguiu estabelecer relações entre a massa do corpo e seu movimento, surgindo daí três leis básicas que são chamadas *leis de Newton* ou *princípios da Dinâmica*. Nessa mesma obra explica-se o movimento dos astros e o efeito da massa dos planetas sobre os corpos próximos a eles, por meio da *lei da gravitação universal*.

A teoria proposta por Newton, também chamada *Mecânica Clássica*, permitiu que Max Planck (1858-1947) desenvolvesse a *Mecânica Quântica* e Albert Einstein (1879-1955), a *Mecânica Relativista*.

Nesta unidade você perceberá a diferença entre *massa* e *peso* — palavras que o leigo usa como se fossem sinônimas; explicaremos a razão pela qual os passageiros de um veículo em movimento são atirados para a frente quando o veículo é freado. Você conseguirá compreender o movimento dos foguetes e de tantos outros corpos na natureza, bem como entenderá a necessidade do atrito de uma superfície, que facilita o caminhar sobre ela.

Saberá também o porquê da necessidade de sobrelevação em pistas de corrida e de rodovias, o que ocorre quando um piloto realiza um *looping* com um avião, por que a Lua gira em torno da Terra e a Terra em torno do Sol, como é possível prever a data de ocorrência dos diversos eclipses.

Introduziremos aqui o mais importante conceito do mundo moderno, o conceito de *energia*, suas modalidades, transformações, sua conservação e dissipação. Com esses conceitos será fácil você explicar o movimento de um carrinho na montanha-russa, o funcionamento de um bate-estaca, a necessidade de utilizar o cinto de segurança no automóvel ou em qualquer outro veículo.



Corbis Stock Photo

Abordaremos a idéia de *quantidade de movimento e impulso de uma força*, inter-relacionando grandezas como massa, velocidade, força e tempo, e veremos que essas grandezas associadas permitem detectar a velocidade de partículas após a colisão com outras partículas e também a velocidade de veículos e até de bolas de bilhar.

A Dinâmica oferece recursos para respondermos a questões interessantíssimas. É o que passaremos a descobrir juntos.

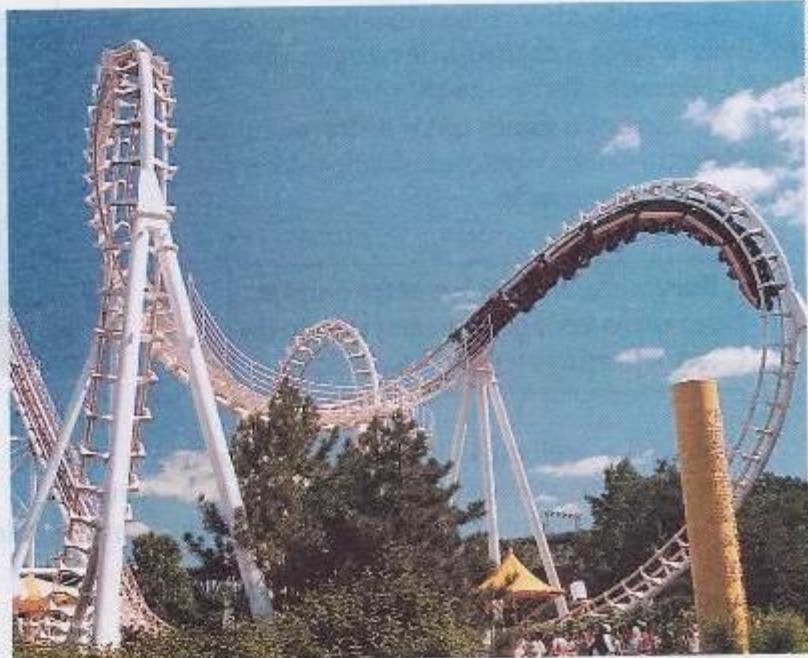


Foto: Stock Photo

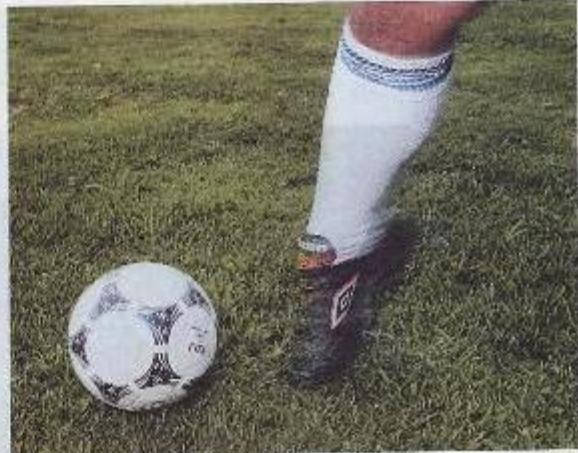
FORÇA

Quando acontece uma *interação* entre corpos, podem ocorrer variações na velocidade, deformações ou ambos os fenômenos.

As causas dessas variações ou deformações são denominadas *forças*.

Quando um corpo é abandonado de uma determinada altura, cai com movimento acelerado devido à *força de atração* da Terra.

Ao chutarmos uma bola, o pé faz sobre ela uma força que, além de deformá-la, inicia-lhe o movimento.



Albuquerque/Donna/Tony Neri

interação pé—bola

Quando as superfícies dos corpos que interagem se tocam — como a interação pé—bola, por exemplo —, a força é chamada *de contato*.

Ocorrendo a interação e estando os corpos a distância, a força é chamada de *campo*. Um exemplo é a interação Terra—maçã.

Em Dinâmica vamos tratar de forças cujo efeito principal é causar variações na velocidade de um corpo, isto é, aceleração.

Forças são interações entre corpos, causando variações no seu estado de movimento ou uma deformação.



Nelson Tejado

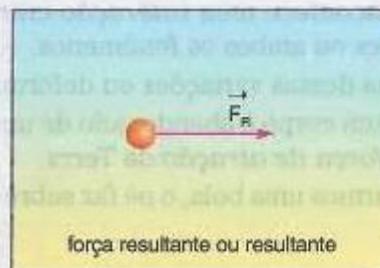
interação Terra—maçã

Tal qual a aceleração, a força é uma grandeza vetorial, exigindo, portanto, para ser caracterizada, uma intensidade, uma direção e um sentido.

A unidade de força no SI é o newton (N), que será definido mais adiante.

FORÇA RESULTANTE

Seja uma partícula na qual estão aplicadas várias forças. Esse sistema de forças pode ser substituído por uma única força, a *força resultante*, que é capaz de produzir na partícula o mesmo efeito que todas as forças aplicadas.



$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_N$$



Silvio Lora / O Globo

APLICAÇÃO

230 TÉSIS

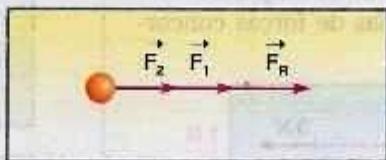
A 1

Duas forças concorrentes, \vec{F}_1 e \vec{F}_2 , de intensidades 4 N e 3 N, atuam num mesmo ponto material, formando um ângulo α entre si. Determine a intensidade da força resultante para os seguintes valores de α :

- a) 0° b) 60° c) 180°

Resolução:

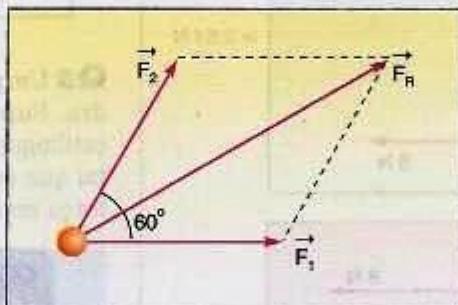
a) Sendo $\alpha = 0^\circ$, as forças têm mesma direção e mesmo sentido:



A intensidade da força resultante será:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \rightarrow F_R = F_1 + F_2 \rightarrow F_R = 4 + 3 \rightarrow F_R = 7 \text{ N}$$

b) Para $\alpha = 60^\circ$



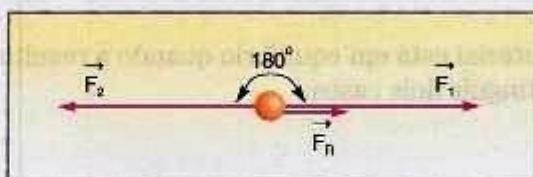
A intensidade da força resultante será:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \rightarrow F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos 60^\circ}$$

$$F_R = \sqrt{4^2 + 3^2 + 2 \cdot 4 \cdot 3 \cdot \frac{1}{2}}$$

$$F_R = 6,1 \text{ N}$$

c) Sendo $\alpha = 180^\circ$, as forças têm mesma direção e sentidos contrários:



A intensidade da força resultante será:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \rightarrow F_R = F_1 - F_2 \rightarrow F_R = 4 - 3 \rightarrow F_R = 1 \text{ N}$$

Respostas: a) 7 N; b) 6,1 N; c) 1 N

QUESTÕES

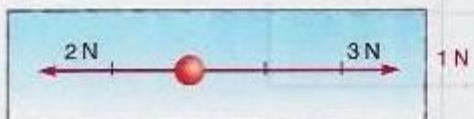
CÂMADA DE 10

Q1 O que é uma força? É uma grandeza escalar ou vetorial?

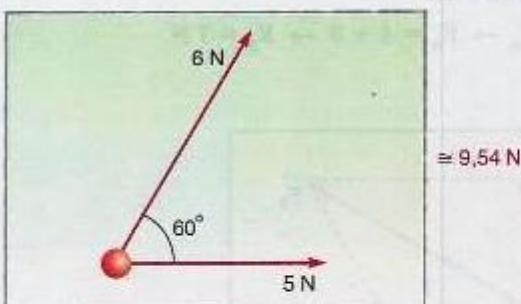
Q2 O que é a resultante de um sistema de forças?

Q3 Determine a intensidade da força resultante em cada um dos sistemas de forças concorrentes.

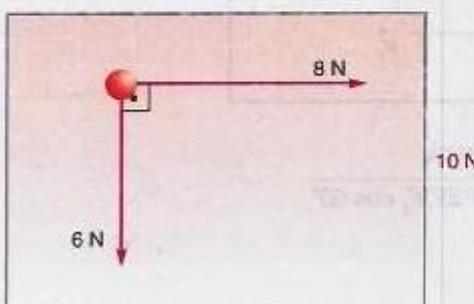
a)



b)

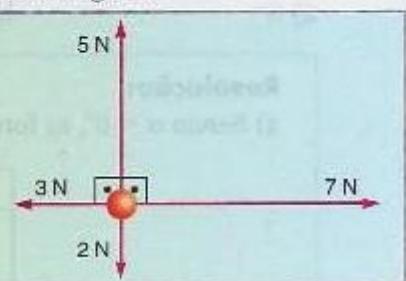


c)

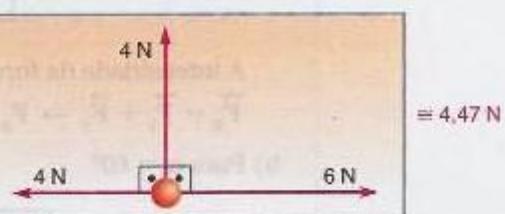


Q4 Ache o módulo da força resultante dos sistemas das figuras.

a)



b)



Q5 Um garotoarma um estilingue com uma pedra. Supondo que a força em cada ramo do estilingue seja de 40 N e o ângulo α entre eles tal que $\cos \alpha = 0,805$, determine o módulo da força resultante sobre a pedra. 76 N



Sérgio Gómez/Jeffre Neto

EQUILÍBRIO

Um ponto material está em equilíbrio quando a resultante das forças que nele atuam é nula. Podemos distinguir dois casos:

EQUILÍBRIO ESTÁTICO

Um ponto material está em equilíbrio estático quando se encontra em repouso, isto é, sua velocidade vetorial é nula no decorrer do tempo.

$$\left. \begin{array}{l} \vec{F}_R = 0 \\ \vec{v} = 0 \end{array} \right\} \text{repouso}$$

EQUILÍBIO DINÂMICO

O equilíbrio é dito dinâmico quando o ponto material está em movimento retílineo e uniforme, isto é, sua velocidade vetorial é constante e diferente de zero.

$$\left. \begin{array}{l} \vec{F}_R = 0 \\ \vec{v} = \text{cte} \neq 0 \end{array} \right\} \text{MRU}$$

PRINCÍPIO DA INÉRCIA OU 1^a LEI DE NEWTON

Considere um corpo não submetido à ação de força alguma. Nessa condição esse corpo não sofre variação de velocidade. Isso significa que, se ele está parado, permanece parado e, se está em movimento, permanece em movimento e sua velocidade se mantém constante.

Tal princípio, formulado pela primeira vez por Galileu e depois confirmado por Newton, é conhecido como primeiro princípio da Dinâmica (1^a lei de Newton) ou princípio da inércia. Podemos interpretar seu enunciado da seguinte maneira: todos os corpos são “preguiçosos” e não desejam modificar seu estado de movimento: se estão em movimento, querem continuar em movimento; se estão parados, não desejam mover-se.

Os físicos chamam essa “preguiça” de *inércia*, característica de todos os corpos dotados de massa.

O princípio da inércia pode ser observado no movimento de um ônibus. Quando o ônibus “arranca” a partir do repouso, os passageiros tendem a deslocar-se para trás, resistindo ao movimento. Da mesma forma, quando o ônibus já em movimento freia, os passageiros deslocam-se para a frente, tendendo a continuar com a velocidade que possuíam.



Para Galileu, o natural era o movimento — e não o repouso, como afirmava Aristóteles. Ao observar o movimento de um corpo, sua questão era “por que pára” e não “por que se move”.

A afirmação de que “um corpo parado permanece parado se não agir sobre ele alguma força” pode facilmente ser compreendida em nossa vida prática (um corpo não se move por si só, é necessário aplicar-lhe uma força).

Já a afirmação de que um corpo em movimento mantém velocidade constante se não atuarem forças sobre ele é menos intuitiva. Com efeito, um corpo em movimento não permanece sempre em movimento: depois de certo tempo — mais ou menos longo — o corpo pára. Uma bolinha jogada sobre um plano horizontal pára depois de percorrer poucos metros, mesmo que aparentemente não aja força alguma sobre ela.

Na realidade existe uma força de freamento, indicada genericamente com o nome de *atrito*, que estudaremos mais adiante. Porém, no caso de essas forças freantes não existirem ou serem reduzidas ao mínimo, o princípio da inércia é verificado plenamente.

Por exemplo, uma nave espacial que se move no espaço interplanetário, por exemplo, não encontra atrito; por isso não tem necessidade de motor e, pelo princípio da inércia, continua a mover-se em linha reta com a velocidade com a qual foi lançada inicialmente.

Os referenciais em que o princípio da inércia se verifica são chamados referenciais inerciais. Tais referenciais são fixos em relação às estrelas distantes ou se movem com velocidade constante em relação a elas, isto é, possuem aceleração vetorial nula.

Para movimentos de pequena duração (menor que 24 h), podemos desprezar os efeitos de rotação da Terra e considerar sua velocidade como constante durante o movimento de translação. Nessas condições a Terra pode ser considerada um referencial inercial.



MASSA DE UM CORPO

Por experiência própria, sabemos que os corpos que apresentam maior inércia são aqueles de maior massa. Por exemplo, é mais fácil empurrar um carrinho vazio do que um cheio de compras.



O carrinho com compras oferece maior resistência para sair do repouso.

Podemos, então, associar a massa de um corpo à sua inércia, dizendo que a massa de um corpo é a medida numérica de sua inércia.

No Sistema Internacional de unidades a massa tem como padrão o quilograma.

O submúltiplo e o múltiplo usuais do quilograma são, respectivamente, o grama (g) e a tonelada (t).

$$1 \text{ g} = \frac{1}{1000} \text{ kg} = 10^{-3} \text{ kg}$$
$$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg} = 10^3 \text{ kg}$$

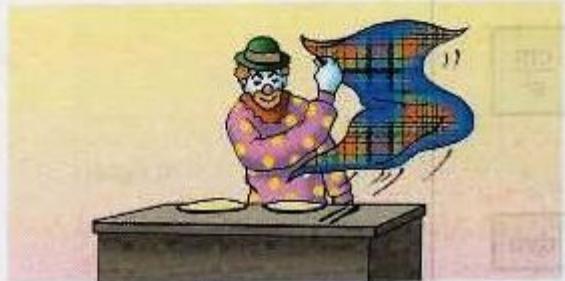
QUESTÕES

Q6 O que é equilíbrio estático? E equilíbrio dinâmico? Dê exemplos.

Q7 O que é inércia?

Q8 Explique fisicamente os seguintes fenômenos:

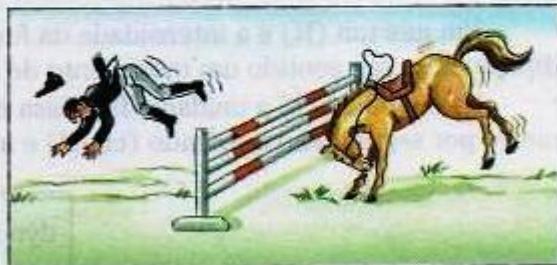
- a) No espetáculo de circo o palhaço se coloca diante de uma mesa coberta com uma toalha. Sobre a toalha estão pratos e talheres. O palhaço puxa a toalha rapidamente, retirando-a da mesa, mas os pratos e talheres continuam sobre a mesa.



- b) Quando saltamos verticalmente da carroceria de um caminhão em movimento, caímos num ponto que, em relação à carroceria, é o mesmo de onde saltamos.

c) Quando arremessamos uma pedra, ela começa a se movimentar devido ao impulso dado pela mão. Mas, por que continua a se movimentar depois de estar solta, fora da mão?

Q9 Por que o cavaleiro é jogado para a frente quando o cavalo pára bruscamente, recusando-se a pular o obstáculo?



Q10 (UFPel-RS) Um passageiro, sentado num ônibus, observa os passageiros que estão de pé. Em alguns momentos, nota que eles se inclinam para a frente e, em outros momentos, observa que os passageiros inclinam-se para trás; na maior parte da viagem, eles permanecem na sua posição normal.

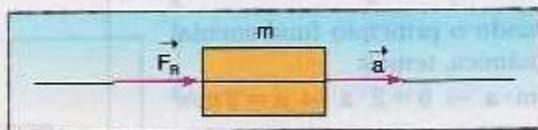
À luz das leis de Newton, analise os possíveis movimentos do ônibus e justifique sua resposta.

PRINCÍPIO FUNDAMENTAL DA DINÂMICA OU 2^a LEI DE NEWTON

A experiência nos mostra que uma mesma força produzirá diferentes acelerações sobre diferentes corpos. Uma mesma força provoca uma aceleração maior numa bola de tênis do que num automóvel, isto é, quanto maior a massa de um corpo mais força será necessária para produzir uma dada aceleração.

Esse princípio estabelece uma proporcionalidade entre causa (força) e efeito (aceleração).

Um ponto material de massa m submetido a uma força resultante \vec{F}_R adquire uma aceleração \vec{a} na mesma direção e sentido da força, tal que:



$$\vec{F}_R = m \vec{a}$$

A resultante das forças aplicada a um ponto material é igual ao produto de sua massa pela aceleração adquirida.

No Sistema Internacional de unidades (SI) a unidade de massa é o quilograma (kg) e a unidade de aceleração é o metro por segundo ao quadrado (m/s^2).

Aplicando o princípio fundamental da Dinâmica, temos a unidade de força newton (N).

$$F_R = ma$$

$$1 \text{ N} = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Um newton (N) é a intensidade da força que, aplicada à massa de 1 kg, produz na sua direção e no seu sentido um movimento de aceleração 1 m/s^2 .

No sistema CGS a unidade de massa é o grama (g), a unidade de aceleração é o centímetro por segundo ao quadrado (cm/s^2) e a unidade de força é o dina (dyn).

$$\text{dyn} = \text{g} \cdot \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$$

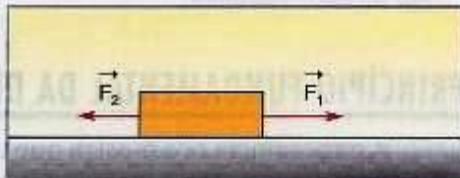
Relação entre o newton e o dina:

$$1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyn}$$

APLICAÇÃO

A2

Seja um corpo de massa 2 kg, em repouso, apoiado sobre um plano horizontal sob a ação das forças horizontais \vec{F}_1 e \vec{F}_2 de intensidades 10 N e 4 N, respectivamente, conforme indica a figura.



- Qual a aceleração adquirida pelo corpo?
- Ache a velocidade e o espaço percorrido pelo corpo 10 s após o início do movimento.

Resolução:

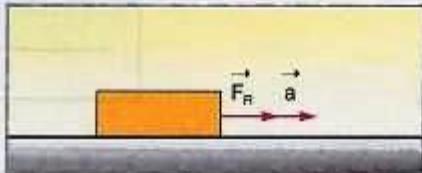
- Cálculo da força resultante:

$$F_R = F_1 - F_2 \rightarrow F_R = 10 - 4 \rightarrow F_R = 6 \text{ N}$$

Utilizando o princípio fundamental da Dinâmica, temos:

$$F_R = m \cdot a \rightarrow 6 = 2 \cdot a \rightarrow a = 3 \text{ m/s}^2$$

Observe que a aceleração do corpo tem a mesma direção e sentido da força resultante.



b) Como o corpo realiza um MUV, temos:

$$v = v_0 + at \rightarrow v = 0 + 3 \cdot 10 \rightarrow v = 30 \text{ m/s}$$

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \rightarrow \Delta s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$\Delta s = 0 + \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 10^2$$

$$\Delta s = 150 \text{ m}$$

Respostas: a) 3 m/s^2 ; b) 30 m/s e 150 m

A3

Um corpo de massa 4 kg é lançado num plano horizontal liso, com velocidade inicial de 40 m/s . Determine a intensidade da força resultante que deve ser aplicada sobre o corpo, contra o sentido do movimento, para pará-lo em 20 s .

Resolução:

Cálculo da aceleração:

$$v = v_0 + at$$

$$0 = 40 + a \cdot 20$$

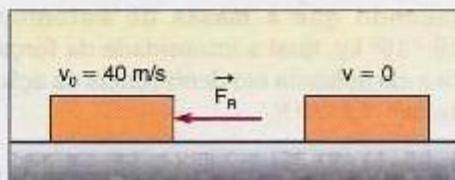
$$a = -2 \text{ m/s}^2$$

Cálculo da força resultante:

$$F_R = m \cdot a \rightarrow F_R = 4 \cdot (-2) = -8 \text{ N}$$

O sinal $-$ indica que a força resultante tem sentido oposto ao do movimento do corpo; portanto, $|F_R| = 8 \text{ N}$.

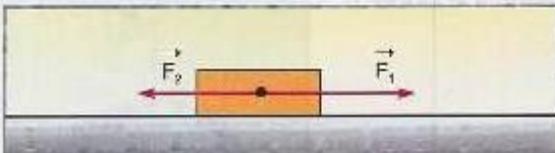
Resposta: 8 N



QUESTÕES

Q11 Determine a aceleração adquirida por um corpo de massa 2 kg , sabendo que sobre ele atua uma força resultante de intensidade 8 N . 4 m/s^2

Q12 Um bloco de massa 4 kg desliza sobre um plano horizontal sujeito à ação das forças \vec{F}_1 e \vec{F}_2 , conforme indica a figura. Sendo a intensidade das forças $F_1 = 15 \text{ N}$ e $F_2 = 5 \text{ N}$, determine a aceleração do corpo. $2,5 \text{ m/s}^2$



Q13 (Unicamp-SP) Dcz segundos após a partida, um veículo alcança a velocidade de 18 km/h .

a) Calcule, em m/s^2 , sua aceleração média nesse intervalo de tempo. $0,5 \text{ m/s}^2$

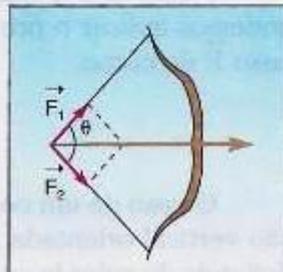
b) Calcule o valor médio da força resultante que imprimiu essa aceleração ao veículo, sabendo que sua massa é de $1,2 \cdot 10^3 \text{ kg}$.

$$6,0 \cdot 10^2 \text{ N}$$

Q14 Observe o esquema de um arco que exerce sobre uma flecha as forças \vec{F}_1 e \vec{F}_2 de sua corda. A força resultante imprimirá à flecha uma aceleração de $10\sqrt{2} \text{ m/s}^2$. Qual a massa da flecha?

$$\begin{cases} \vec{F}_1 = \vec{F}_2 = 2 \text{ N} \\ \theta = 90^\circ \end{cases}$$

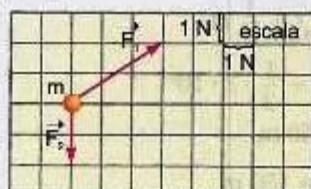
$$200 \text{ g ou } 0,2 \text{ kg}$$



Q15 (Vunesp-SP) A figura representa, em escala, as forças \vec{F}_1 e \vec{F}_2 , que atuam sobre um objeto de massa $m = 1,0 \text{ kg}$.

Determine:

- o módulo da força resultante que atua sobre o objeto **3 N**
- o módulo da aceleração que a força resultante imprime ao objeto **3 m/s^2**

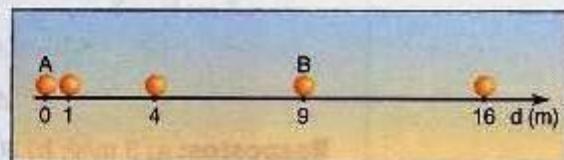


Q16 (EEM-SP) Um automóvel trafegando a 72 km/h leva $0,5 \text{ s}$ para ser imobilizado numa freada de emergência.

- Que aceleração, suposta constante, foi aplicada no veículo? **40 m/s^2**
- Sabendo que a massa do automóvel é $1,6 \cdot 10^3 \text{ kg}$, qual a intensidade da força que foi a ela aplicada em decorrência da ação dos freios? **$6,4 \cdot 10^4 \text{ N}$**

Q17 Um corpo de massa $1,8 \text{ kg}$ passa da velocidade de 7 m/s à velocidade de 13 m/s num percurso de 52 m . Calcule a intensidade da força constante que foi aplicada sobre o corpo nesse percurso. Despreze os atritos. **$2,07 \text{ N}$**

Q18 (FESP-PE) A figura seguinte é reproduzida de uma fotografia estroboscópica tirada com intervalos de $0,5 \text{ s}$ e as distâncias estão medidas em metros.



Trata-se de um corpo de $0,25 \text{ kg}$ de massa que parte do repouso do ponto A.

- Qual a aceleração do corpo? **8 m/s^2**
- Com que velocidade o corpo passa pelo ponto B = 9 m ? **12 m/s**
- Calcule a velocidade média com que o corpo se deslocou do ponto A ao ponto B. **6 m/s**
- Determine a força que atua sobre o corpo. **2 N**

Q19 Um ponto material de massa $m = 3 \text{ kg}$ está apoiado numa superfície horizontal perfeitamente lisa, em repouso. Num dado instante, uma força horizontal de intensidade 6 N passa a agir sobre o corpo. Determine:

- a aceleração adquirida pelo ponto material **2 m/s^2**
- a velocidade e o deslocamento do ponto material **$20 \text{ m/s e } 100 \text{ m}$**

PESO DE UM CORPO

Em torno da Terra há uma região chamada campo gravitacional, na qual todos os corpos sofrem sua influência, que se apresenta em forma de uma força.

Essas forças de atração são denominadas forças gravitacionais.

Peso é a força de atração gravitacional que a Terra exerce sobre um corpo.



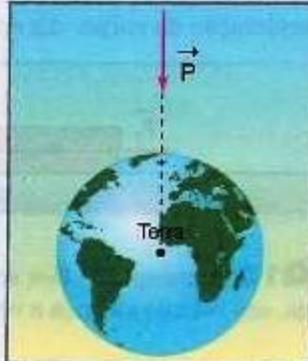
A maçã cai, atraída pela Terra.

Desprezando-se a resistência do ar, todos os corpos abandonados próximo à superfície da Terra caem, devido aos seus pesos, com velocidades crescentes, sujeitos a uma mesma aceleração, denominada aceleração da gravidade.

Sendo m a massa do corpo e \vec{g} a aceleração da gravidade, podemos aplicar o princípio fundamental da Dinâmica e obter o peso \vec{P} do corpo.

$$\vec{P} = m \vec{g}$$

O peso de um corpo é uma grandeza vetorial que tem direção vertical orientada para o centro da Terra e cuja intensidade depende do valor local da aceleração da gravidade.



Em torno de qualquer planeta ou satélite existe um campo gravitacional. Por isso, podemos falar em peso de um corpo na Lua ou em Marte, por exemplo.

A unidade de peso no SI é o newton (N). Podemos ainda utilizar o quilograma-força (kgf), que é uma unidade de força muito usada pela indústria.

1 kgf é o peso de um corpo de 1 kg de massa num local em que a aceleração da gravidade é igual a $9,8 \text{ m/s}^2$.

A relação entre o quilograma-força e o newton é:

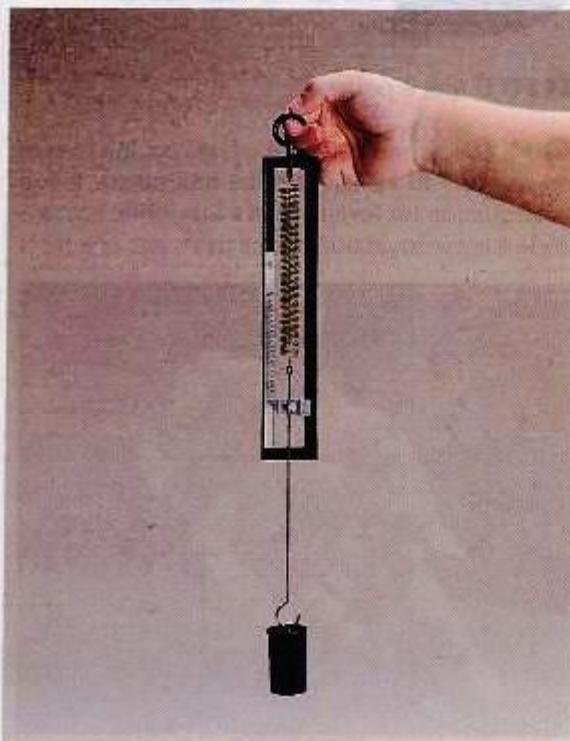
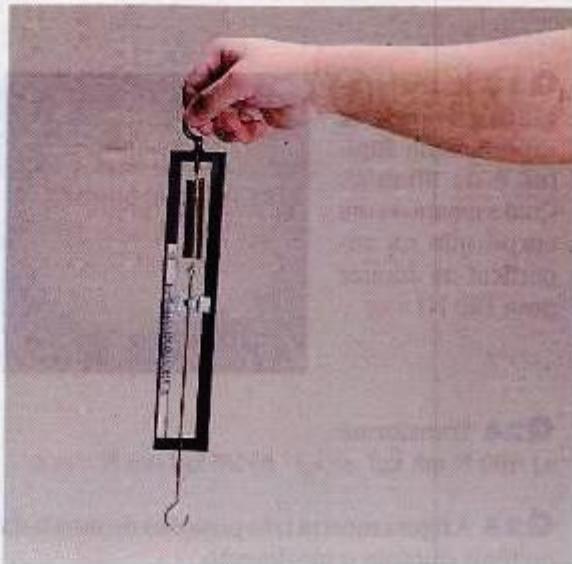
$$P = mg \rightarrow 1 \text{ kgf} = 1 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \rightarrow 1 \text{ kgf} = 9,8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \rightarrow 1 \text{ kgf} = 9,8 \text{ N}$$

Note que peso e massa são grandezas diferentes.

- ✓ A massa é uma propriedade exclusiva do corpo; não depende do local em que é medida.
- ✓ O peso do corpo depende do local no qual é medido.

MEDIDA DE UMA FORÇA

Podemos medir a intensidade de uma força pela deformação que ela produz num corpo elástico.



Thales Trigo

O dispositivo utilizado é o *dinamômetro*, que consiste numa mola helicoidal de aço envolvida por um protetor. Na extremidade livre da mola há um ponteiro que se desloca ao longo de uma escala.

A medida de uma força é feita por comparação da deformação causada por essa força com a de forças padrão.

APLICAÇÃO

A 4

A aceleração da gravidade na Terra é, em média, $9,8 \text{ m/s}^2$ e na Lua, $1,6 \text{ m/s}^2$.

Para um corpo de massa 5 kg, determine:

- o peso desse corpo na Terra
- a massa e o peso desse corpo na Lua

Resolução:

a) O peso na Terra é dado por:

$$P_T = m_T g_T \rightarrow P_T = 5 \cdot 9,8 \rightarrow P_T = 49 \text{ N}$$

b) Como a massa é uma propriedade do corpo, tem o mesmo valor em qualquer lugar. Logo:

$$m_T = m_L = 5 \text{ kg}$$

Portanto:

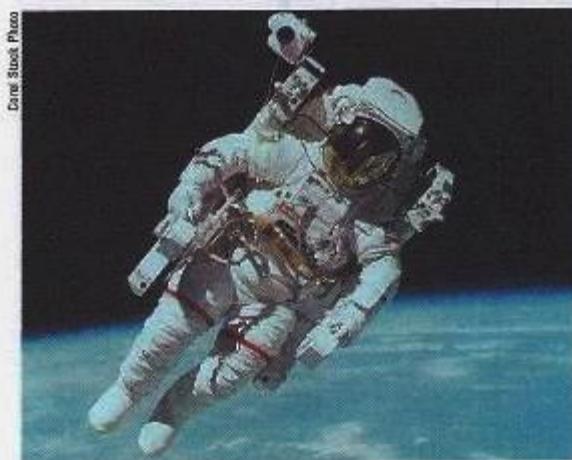
$$P_L = m_L g_L \rightarrow P_L = 5 \cdot 1,6 \rightarrow P_L = 8 \text{ N}$$

Respostas: a) 49 N; b) 8 N

QUESTÕES

Q20 O que é peso? É a força gravitacional exercida pela Terra sobre um corpo.

Q21 Um astronauta com o traje completo tem massa de 120 kg. Determine sua massa e seu peso quando for levado para a Lua, onde a gravidade é aproximadamente $1,6 \text{ m/s}^2$. 120 kg e 192 N



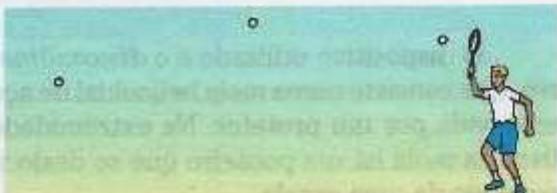
Q22 Qual é o peso, na Lua, de um astronauta que na Terra tem peso 784 N? Considere $g_T = 9,8 \text{ m/s}^2$ e $g_L = 1,6 \text{ m/s}^2$. 128 N

Q23 A aceleração da gravidade na superfície de Júpiter é de 30 m/s^2 . Qual a massa de um corpo que na superfície de Júpiter pesa 120 N? 4 kg



Q24 Transforme:
a) 490 N em kgf 50 kgf b) 20 kgf em N 196 N

Q25 A figura mostra três posições de uma bola de tênis durante o movimento.



Desprezando o atrito do ar, desenhe em cada uma dessas posições a força que atua sobre a bola.

resposta no final do livro

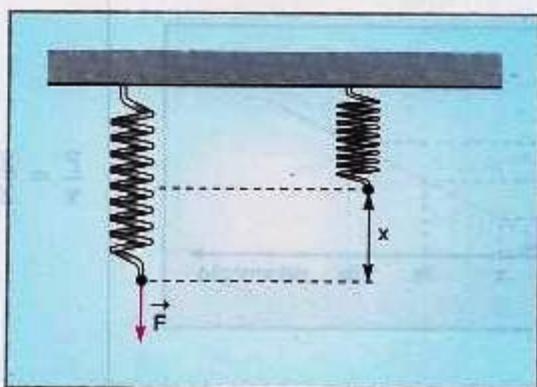
PESQUISE

“Um pacote de açúcar pesa 1 kg” é uma frase usada na linguagem do dia-a-dia, mas está errada do ponto de vista físico.

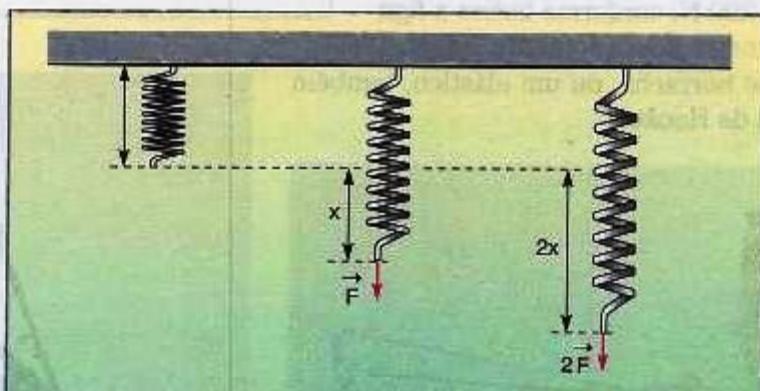
O que está errado? Como você escreveria essa frase corretamente, usando seus conhecimentos de Física?

LEI DE HOOKE

Uma mola apresenta uma deformação elástica se, retirada a força que a deforma, ela retornar ao seu comprimento e forma originais.



Robert Hooke (cientista inglês, 1635-1703), estudando as deformações elásticas, verificou que, duplicando a força aplicada, a deformação duplica, triplicando a força, a deformação triplica e assim sucessivamente.



Analizando esses dados, Hooke verificou que existe uma proporcionalidade entre a força exercida na mola e a correspondente deformação e enunciou a seguinte lei:

A intensidade da força deformadora é proporcional à deformação.

A expressão matemática da lei de Hooke é:

$$F = kx$$

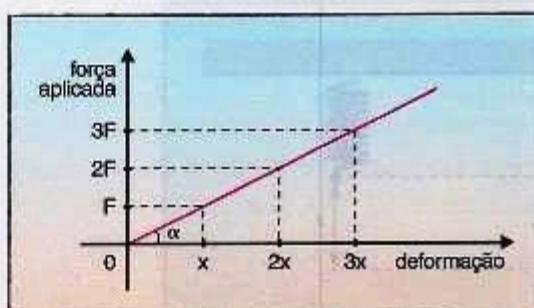
Em que:

F = força deformadora

x = deformação sofrida pela mola

k = constante de proporcionalidade característica da mola, chamada de constante elástica da mola

O valor de k depende do material com que é feita a mola. Molas com valores de k muito grandes são muito duras. O valor de k é dado por:

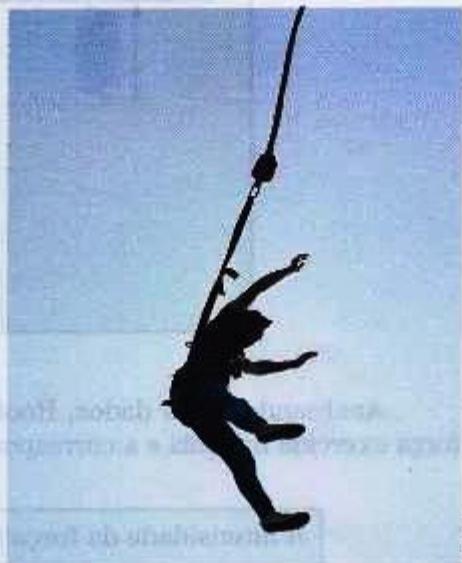
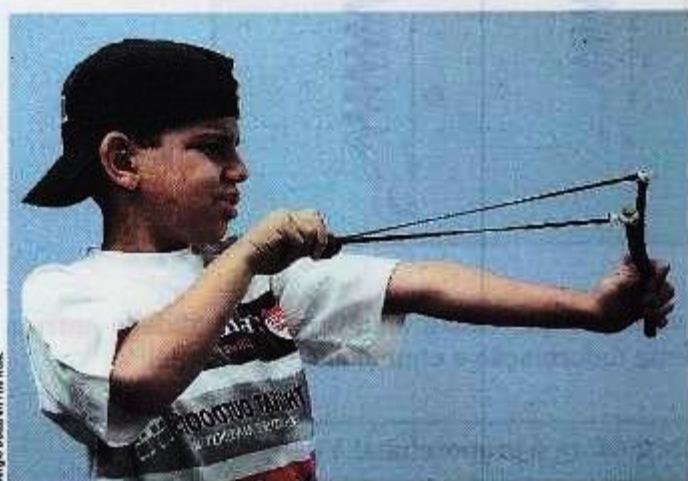
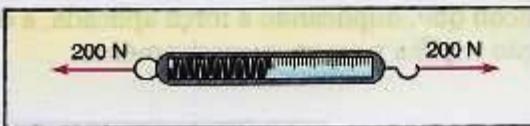


$$\frac{F}{x} = \frac{2F}{2x} = \frac{3F}{3x} = k$$

A unidade de k no SI é o N/m.

Observações:

- 1º) O dinamômetro indica a intensidade da força aplicada em uma de suas extremidades. Tracionando um dinamômetro com duas forças iguais de 200 N, conforme indica a figura, o dinamômetro acusa somente 200 N.
- 2º) Uma corda de borracha, ou um elástico, também obedece à lei de Hooke.



APLICAÇÃO

A5

Considere uma mola de comprimento inicial x_0 , presa em uma das extremidades. Aplicando-se forças de 100 N, 200 N e 300 N, a mola sofre, respectivamente, deformações de 2 cm, 4 cm e 6 cm. Qual a intensidade da força deformadora quando a deformação for 11 cm?

Resolução:

A constante elástica da mola é:

$$k = \frac{F}{x} = \frac{100 \text{ N}}{2 \text{ cm}} = \frac{200 \text{ N}}{4 \text{ cm}} = \frac{300 \text{ N}}{6 \text{ cm}} = 50 \text{ N/cm}$$

Para a mola em questão, uma deformação elástica de 11 cm corresponde a uma força de:

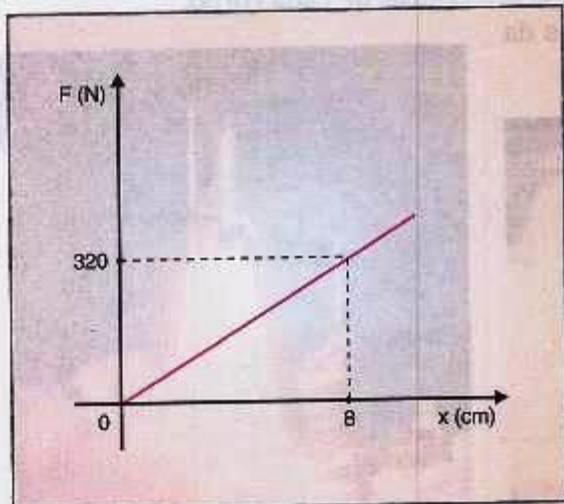
$$F = kx \rightarrow F = 50 \cdot 11 \rightarrow F = 550 \text{ N}$$

Resposta: 550 N

QUESTÕES

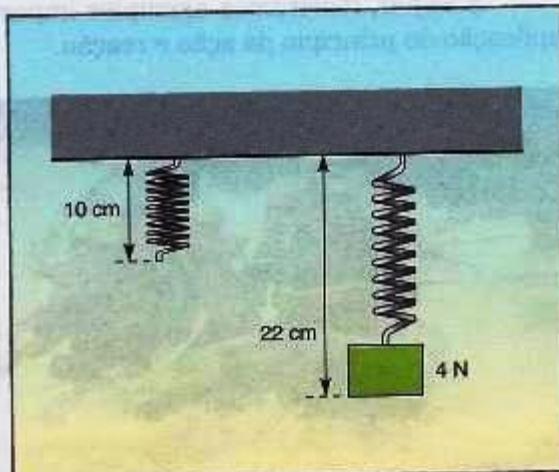
Q26 A constante elástica de uma mola é de 30 N/cm. Determine a deformação sofrida pela mola ao ser solicitada por uma força de intensidade 120 N. **4 cm**

Q27 O gráfico mostra como varia a intensidade da força tensora aplicada a uma mola em função da deformação produzida.



- Qual a constante elástica da mola? **40 N/cm**
- Qual a intensidade da força tensora quando $x = 10 \text{ cm}$? **400 N**

Q28 (Mack-SP) A mola da figura varia seu comprimento de 10 cm para 22 cm quando penduramos em sua extremidade um corpo de 4 N. Determine o comprimento total dessa mola quando penduramos nela um corpo de 6 N. **28 cm**



PRINCÍPIO DA AÇÃO E REAÇÃO OU 3^º LEI DE NEWTON

Quando dois corpos interagem aparece um par de forças como resultado da ação que um corpo exerce sobre o outro. Essas forças são comumente chamadas de ação e reação.

O princípio da ação e reação estabelece as seguintes propriedades das forças decorrentes de uma interação entre os corpos:

A toda ação corresponde uma reação, com a mesma intensidade, mesma direção e sentido contrário.

Admita dois patinadores, *A* e *B*. Se *A* exerce uma força \vec{F}_A em *B*, este, simultaneamente, reage e exerce uma força \vec{F}_B em *A*.



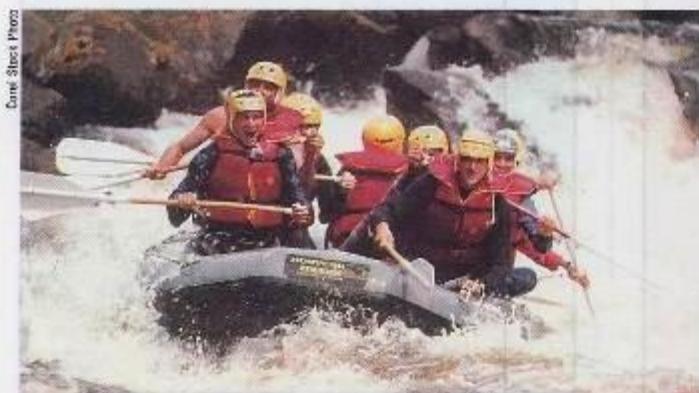
Pela 3^a lei de Newton, as forças de ação e reação apresentam:

- ✓ mesma intensidade: $|\vec{F}_A| = |\vec{F}_B|$
- ✓ mesma direção: horizontal
- ✓ sentidos contrários: $\vec{F}_A = -\vec{F}_B$ (o sinal $-$ indica que são forças de sentidos opostos)

Como consequência dessa interação, *A* e *B* vão se movimentar em sentidos contrários.

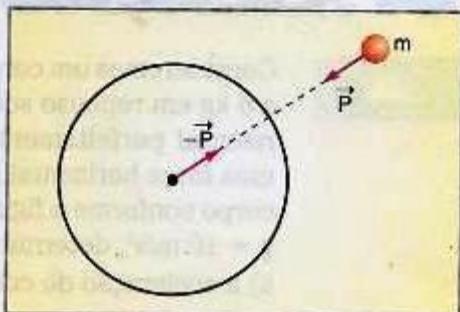
Apesar de as forças de ação e reação apresentarem a mesma intensidade, os efeitos produzidos por elas dependerão da massa e das características de cada corpo.

A seguir, mostramos exemplos importantes da aplicação do princípio da ação e reação.

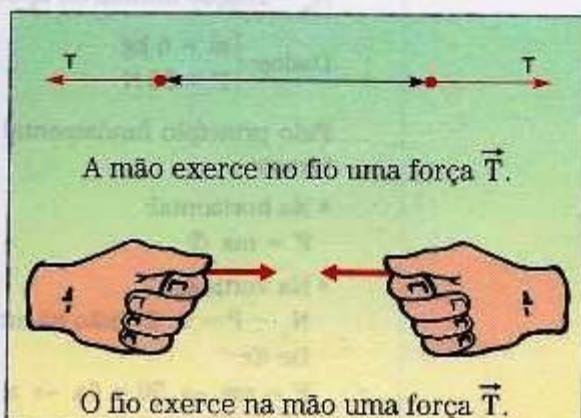
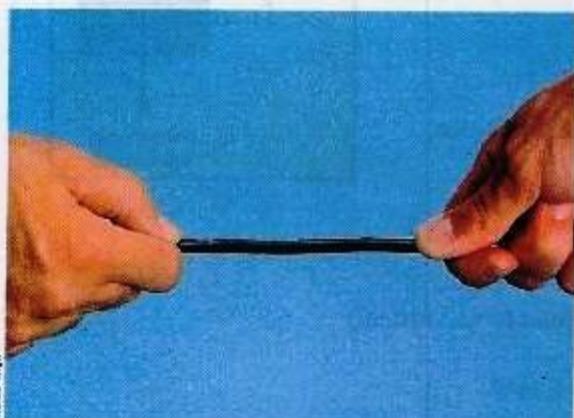


Apresentamos também o par de forças ação-reação em alguns exemplos:

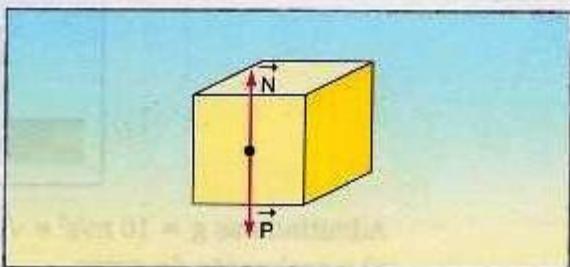
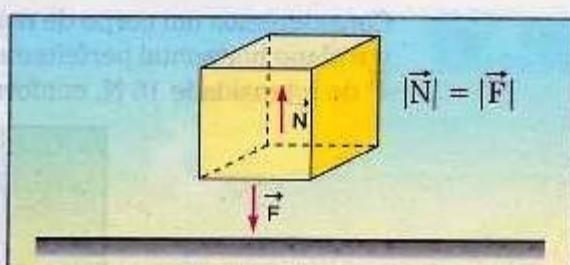
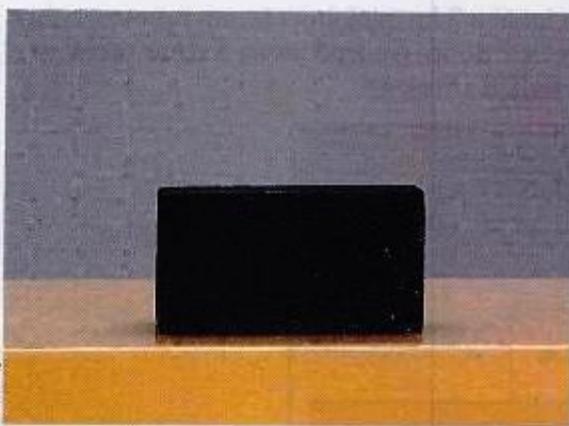
- a) *Força peso* — Na interação da Terra com um corpo, o peso do corpo é a ação, e a força que o corpo exerce sobre a Terra é a reação.



- b) *Força de tração em fio* — Quando esticamos um fio ideal (inextensível e de massa desprezível), nas suas extremidades aparecem forças de mesma intensidade chamadas forças de tração (\vec{T}).



- c) *Força de reação normal* — Um corpo em repouso, apoiado numa superfície horizontal, aplica sobre esta uma força \vec{F} de compressão, cuja intensidade é igual à do seu peso. A superfície de apoio exerce no corpo uma força \vec{N} de reação, que por ser perpendicular às superfícies de contato é chamada força de reação normal de apoio.



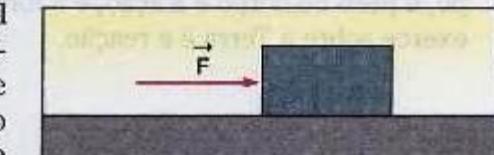
Ao considerarmos o peso do corpo, nele atuam duas forças de mesma intensidade e sentidos contrários. Logo, elas se anulam.

APLICAÇÃO

A6

Consideremos um corpo de massa igual a 6 kg em repouso sobre um plano horizontal perfeitamente liso. Aplica-se uma força horizontal $F = 30 \text{ N}$ sobre o corpo conforme a figura. Admitindo-se $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine:

a) a aceleração do corpo



b) a reação do plano de apoio

Resolução:

a) Isolando o corpo, temos:

$$P = \text{força peso}$$

$$N_A = \text{reação normal do apoio}$$

$$\text{Dados: } \begin{cases} m = 6 \text{ kg} \\ F = 30 \text{ N} \end{cases}$$

Pelo princípio fundamental da Dinâmica, temos:

- Na horizontal:

$$F = ma \quad ①$$

- Na vertical:

$$N_A - P = 0 \quad ② \quad (\text{não há movimento na vertical})$$

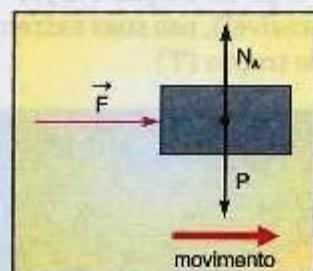
De ①:

$$F = ma \rightarrow 30 = 6a \rightarrow a = 5 \text{ m/s}^2$$

b) De ②:

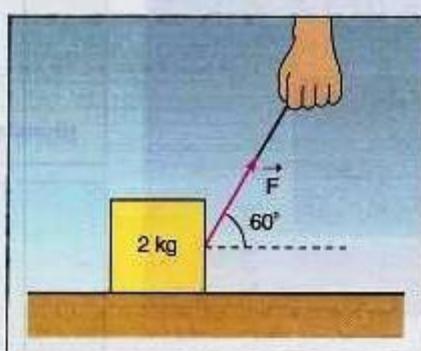
$$N_A = P \rightarrow N_A = mg \rightarrow N_A = 6 \cdot 10 \rightarrow N_A = 60 \text{ N}$$

Respostas: a) $a = 5 \text{ m/s}^2$; b) $N_A = 60 \text{ N}$



A7

Consideremos um corpo de massa igual a 2 kg inicialmente em repouso sobre um plano horizontal perfeitamente liso. Sobre o corpo passa a atuar uma força F de intensidade 16 N, conforme indica a figura.



Admitindo-se $g = 10 \text{ m/s}^2$ e $\sqrt{3} \approx 1,7$, determine:

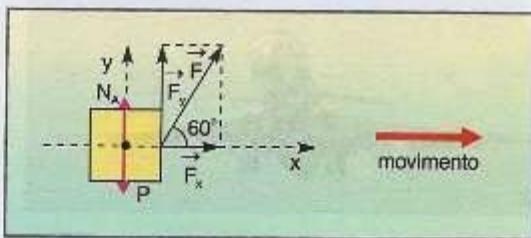
a) a aceleração do corpo

b) a reação normal do plano de apoio

Resolução:

a) Isolando o corpo, temos:

Dados: $\begin{cases} m = 2 \text{ kg} \\ F = 16 \text{ N} \end{cases}$

Decompondo \vec{F} nos eixos x e y , temos:

$$F_x = F \cos 60^\circ = 16 \cdot \frac{1}{2} = 8 \text{ N}$$

$$F_y = F \sin 60^\circ = 16 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 8\sqrt{3} \text{ N} = 13,6 \text{ N}$$

Aplicando o princípio fundamental da Dinâmica, vem:

• Na horizontal:

$$F_x = ma \quad ①$$

• Na vertical:

$$N_A + F_y - P = 0 \quad ②$$

De ①:

$$F_x = ma \rightarrow 8 = 2a \rightarrow a = 4 \text{ m/s}^2$$

b) De ②:

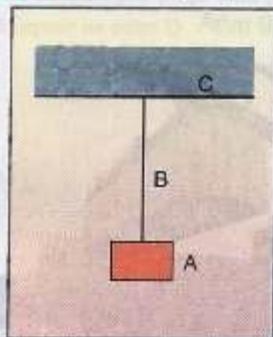
$$N_A + F_y - P = 0 \rightarrow N_A = P - F_y = mg - F_y \rightarrow N_A = 2 \cdot 10 - 13,6 \\ N_A = 6,4 \text{ N}$$

Respostas: a) $a = 4 \text{ m/s}^2$; b) $N_A = 6,4 \text{ N}$

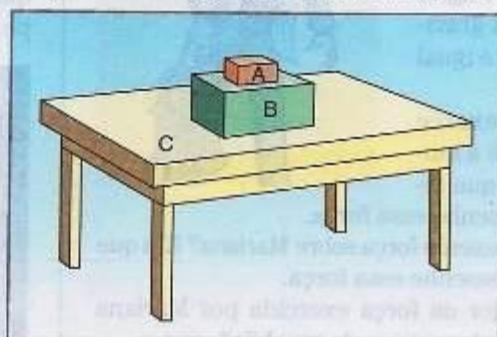
QUESTÕES

Q29 Isolde as forças que agem sobre os corpos *A*, *B* e *C* das figuras. *respostas no final do livro*

a)

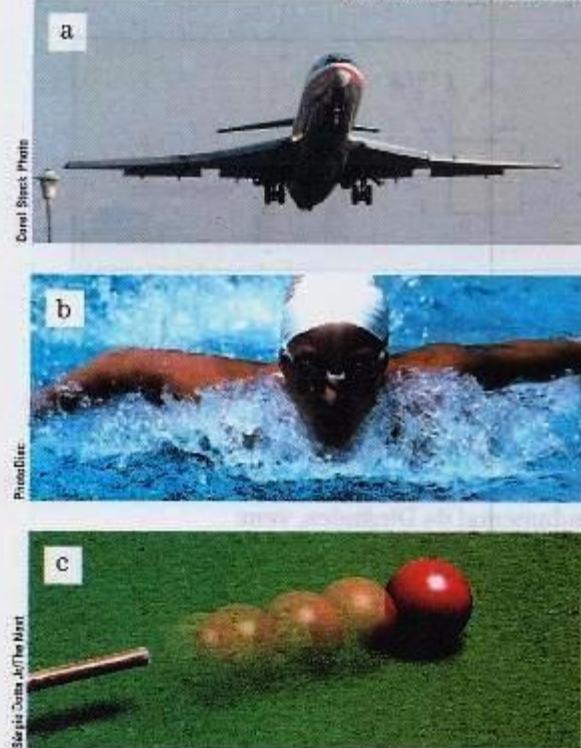


b)



Q30 Utilizando o princípio da ação e reação, explique os seguintes movimentos:

respostas no final do livro



Q31 Embora desprovidos de nadadeiras, alguns moluscos e medusas se movem no mar com certa precisão, admitindo e expelindo água de forma conveniente. Formule uma explicação física para seu movimento e indique a lei ou princípio físico em que você se baseou.

resposta no final do livro

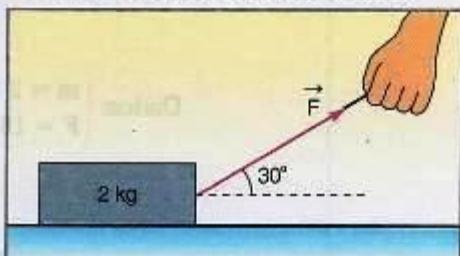
Q32 Mariana está parada, em pé, em um ponto de ônibus, segurando em uma das mãos uma mochila que contém seu material escolar, cuja massa total é 4 kg. A aceleração da gravidade no local é igual a $9,8 \text{ m/s}^2$.

- A garota exerce força sobre a mochila? Em que direção? Desenhe essa força.
- A mochila exerce força sobre Mariana? Em que direção? Desenhe essa força.
- Qual o valor da força exercida por Mariana para sustentar o peso da mochila? **39,2 N**

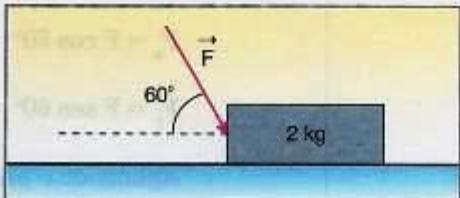
respostas no final do livro

Q33 Consideremos um corpo de massa igual a 2 kg em repouso sobre um plano horizontal bem liso. Seja \vec{F} uma força de intensidade 10 N que passa a atuar sobre o corpo nos casos:

a)



b)



Determine a aceleração do corpo e a reação do apoio nos dois casos. Admita $g = 10 \text{ m/s}^2$.

a) $2,5\sqrt{3} \text{ m/s}^2$ e 15 N; b) $2,5 \text{ m/s}^2$ e $5(4 + \sqrt{3}) \text{ N}$

Q34 (UFU-MG) Um menino chuta uma pedra, exercendo nela uma força de 100 N. Quanto vale a reação dessa força, quem a exerce e onde está aplicada essa reação?

100 N; a pedra; está aplicada no pé do menino

Q35 Qual a intensidade da força que devemos aplicar a um corpo de massa 1 kg de modo que o corpo suba verticalmente, com aceleração $1,0 \text{ m/s}^2$. Despreze a resistência do ar e adote $g = 10 \text{ m/s}^2$. **11 N**

Q36 (UFPR) Uma caixa de massa igual a 100 kg, suspensa por um cabo de massa desprezível, deve ser baixada, reduzindo sua velocidade inicial com uma desaceleração de módulo $2,00 \text{ m/s}^2$. A tração máxima que o cabo pode sofrer, sem se romper, é 1 100 N. Fazendo os cálculos pertinentes, responda se este cabo é adequado a essa situação, isto é, se ele não se romper. Considere $g = 10,0 \text{ m/s}^2$. **O cabo se romperá.**



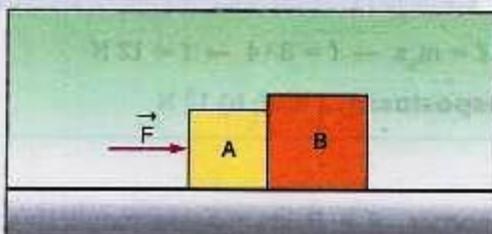
APLICAÇÕES DAS LEIS DE NEWTON

Vamos ver agora mais algumas aplicações das leis de Newton.

APLICAÇÃO

A 8

Dois blocos de massas $m_A = 2 \text{ kg}$ e $m_B = 3 \text{ kg}$, apoiados sobre uma superfície horizontal perfeitamente lisa, são empurrados por uma força constante \vec{F} de 20 N, conforme indica a figura:

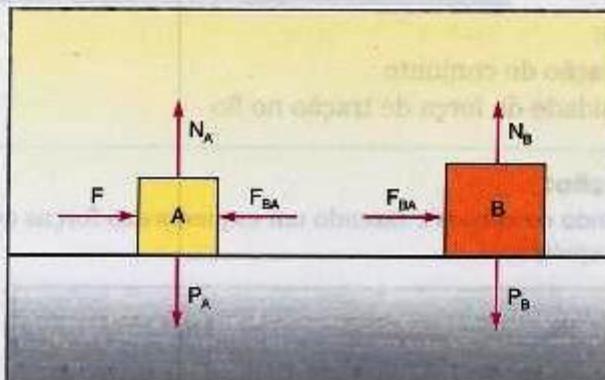


Determine:

- a aceleração do conjunto
- a intensidade das forças que A e B exercem entre si

Resolução:

a) Isolando os corpos e fazendo um esquema das forças que agem em cada um, temos:



- N_A e P_A se anulam.
- N_B e P_B se anulam.

F_{AB} e F_{BA} formam um par de ação—reação ($F_{AB} = F_{BA} = f$).

Aplicando o princípio fundamental da Dinâmica, temos:

$$\text{corpo } a \rightarrow F - F_{BA} = m_A a$$

$$\text{corpo } b \rightarrow F_{AB} = m_B a$$

Substituindo-se, vem:

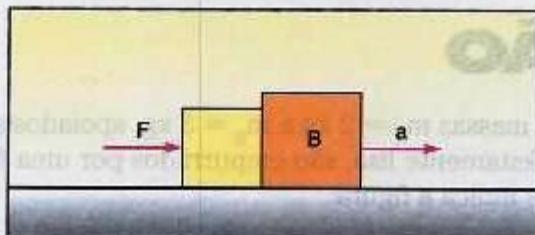
$$F - f = m_A a$$

$$f = m_B a +$$

$$F = (m_A + m_B)a \rightarrow 20 = (2 + 3)a \rightarrow a = 4 \text{ m/s}^2$$

Observação:

Para o cálculo da aceleração, os blocos *A* e *B* podem ser considerados como um único bloco de massa ($m_A + m_B$), sujeito à força resultante \vec{F} . Pelo princípio fundamental da Dinâmica:



$$F = (m_A + m_B)a$$

$$20 = 5a$$

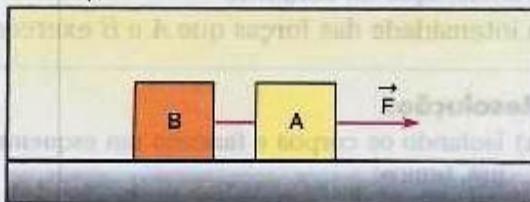
$$a = 4 \text{ m/s}^2$$

b) $f = m_B a \rightarrow f = 3 \cdot 4 \rightarrow f = 12 \text{ N}$

Respostas: a) 4 m/s^2 ; b) 12 N

A9

Dois corpos, *A* e *B*, de massas respectivamente iguais a 6 kg e 4 kg estão interligados por um fio ideal. A superfície de apoio é horizontal e perfeitamente lisa. Aplica-se em *A* uma força \vec{F} horizontal de 20 N, conforme indica a figura.

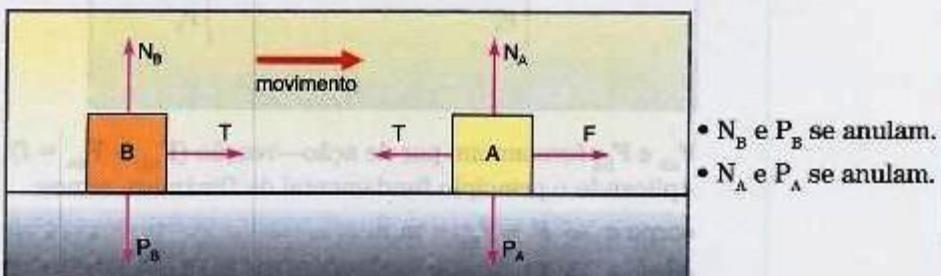


Determine:

- a aceleração do conjunto
- a intensidade da força de tração no fio

Resolução:

- a) Isolando os corpos e fazendo um esquema das forças que atuam em cada um, temos:



Aplicando o princípio fundamental da Dinâmica em cada corpo, temos:

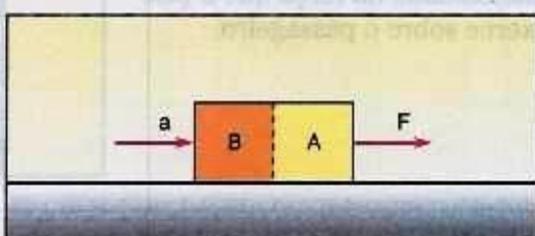
$$\text{corpo } A \rightarrow F - T = m_A a$$

$$\text{corpo } B \rightarrow T = m_B a +$$

$$F = (m_A + m_B)a \rightarrow 20 = (6 + 4)a \rightarrow a = 2 \text{ m/s}^2$$

Observação:

Considerando o conjunto como um único corpo, sujeito à força resultante F , temos:



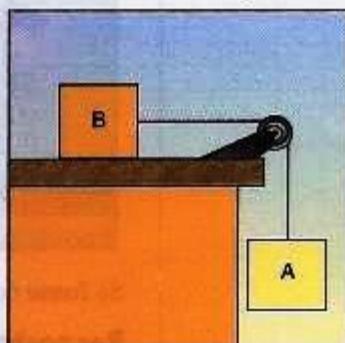
$$\begin{aligned}F_R &= ma \\F &= (m_A + m_B)a \\20 &= 10a \\a &= 2 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

b) $T = m_B a \rightarrow T = 4 \cdot 2 \rightarrow T = 8 \text{ N}$

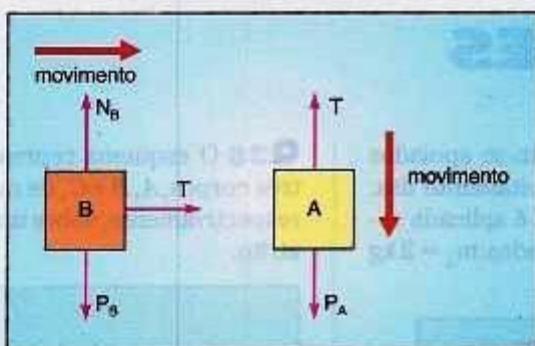
Respostas: a) 2 m/s^2 ; b) 8 N

A 10

A figura ao lado mostra dois corpos, A e B , ligados entre si por um fio que passa por uma polia. Abandonando-se o sistema em repouso à ação da gravidade, verifica-se que o corpo A desce com uma aceleração de 3 m/s^2 . Sabendo que $m_B = 7 \text{ kg}$, calcule a massa do corpo A . Despreze os atritos e considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

**Resolução:**

Isolando os corpos, temos:



• P_B e N_B se anulam.

Aplicando o princípio fundamental da Dinâmica:

$$\text{corpo } A \rightarrow P_A - T = m_A a$$

$$\text{corpo } B \rightarrow T = m_B a$$

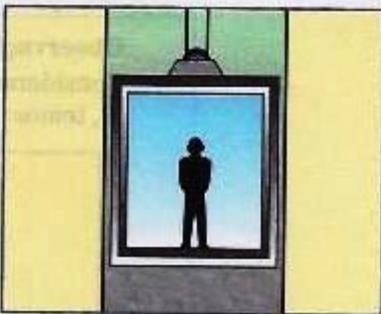
$$\begin{aligned}P_A &= (m_A + m_B)a \rightarrow m_A g = (m_A + m_B) \cdot a \\10 m_A &= (m_A + 7) \cdot 3 \rightarrow m_A = 3 \text{ kg}\end{aligned}$$

Resposta: 3 kg

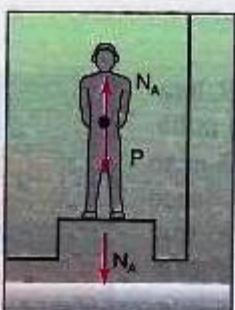
A11

Um passageiro de massa de 80 kg está num elevador que desce verticalmente com aceleração constante de 2 m/s^2 .

Determine a intensidade da força que o piso do elevador exerce sobre o passageiro.


Resolução:

No passageiro atuam as forças peso e normal. Como está descendo com a mesma aceleração do elevador, $P > N_A$. Aplicando o princípio fundamental da Dinâmica no passageiro, temos:



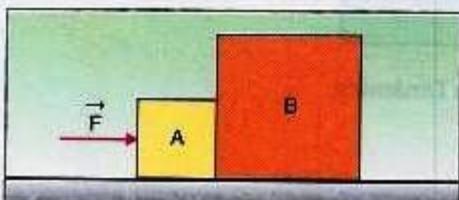
$$F_R = ma \rightarrow P - N_A = ma \rightarrow 800 - N_A = 80 \cdot 2 \\ N_A = 640 \text{ N}$$

Se fosse colocada uma balança no piso do elevador, esta indicaria 640 N.

Resposta: 640 N

QUESTÕES

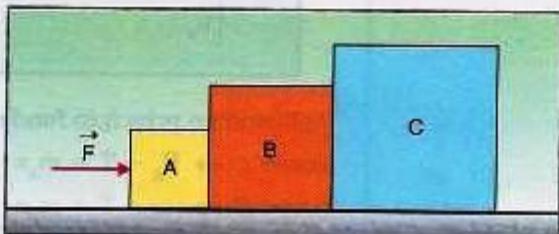
Q37 Os corpos *A* e *B* encontram-se apoiados sobre uma superfície plana, perfeitamente lisa. Uma força \vec{F} de intensidade 40 N é aplicada sobre *A*, conforme indica a figura. (Dados: $m_A = 2 \text{ kg}$ e $m_B = 8 \text{ kg}$)



Determine:

- a aceleração dos corpos *A* e *B* 4 m/s^2
- a força que *A* exerce em *B* 32 N
- a força que *B* exerce em *A* 32 N

Q38 O esquema representa um conjunto de três corpos, *A*, *B* e *C*, de massas 2 kg, 3 kg e 5 kg, respectivamente, sobre um plano horizontal sem atrito.



A força \vec{F} , horizontal, tem intensidade 60 N.

- Qual a aceleração do conjunto? 6 m/s^2
- Qual a intensidade da força que *A* exerce sobre *B* e *B* exerce sobre *C*? 48 N e 30 N

- Q39** Do ponto de vista físico, justifique a função dos seguintes dispositivos de um carro:
a) cinto de segurança b) encosto de cabeça
respostas no final do livro

- Q40** (UFRJ) A figura mostra uma locomotiva puxando um comboio no instante em que sua aceleração \vec{a} tem módulo igual a $0,20 \text{ m/s}^2$ e direção e sentido conforme indicados na figura. A locomotiva tem massa $M = 5,0 \cdot 10^4 \text{ kg}$ e cada vagão tem massa $m = 8,0 \cdot 10^3 \text{ kg}$.

respostas no final do livro



- Indique a direção e o sentido da força resultante sobre a locomotiva e calcule o seu módulo.
- Indique a direção e o sentido da força resultante sobre o primeiro vagão e calcule o seu módulo.

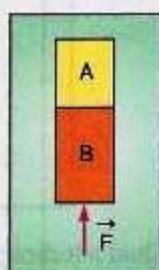
- Q41** Quais dessas frases são falsas? II e III

- Um atleta arremessa uma bola para a frente exercendo nela uma força de 100 N ; simultaneamente a bola exerce no atleta uma força oposta de igual intensidade.
- Necessariamente a reação da bola sobre o atleta acelera este para trás.
- Nas interações entre os corpos, as forças de ação e reação se equilibram.

- Q42** Dois corpos, A e B , de massas 2 kg e 6 kg , respectivamente, sobem verticalmente em movimento acelerado, sob a ação da força \vec{F} , de intensidade 120 N .

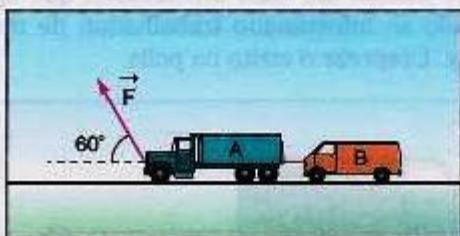
Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- Determine a aceleração do conjunto. 5 m/s^2
- Calcule a intensidade da força que o corpo B exerce no corpo A . 30 N



- Q43** Um garoto arrasta um brinquedo aplicando uma força \vec{F} de intensidade $5 \cdot 10^{-2} \text{ N}$, conforme indica a figura. As massas dos carrinhos A e B valem, respectivamente, 40 g e 10 g . Des-

prezando os atritos e sabendo que $g = 10 \text{ m/s}^2$, pede-se:

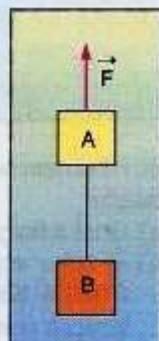


- a) a aceleração do conjunto $0,5 \text{ m/s}^2$
- b) a tração na corda que liga os carrinhos A e B
- c) a força com que o chão empurra o carrinho A
(Adote $\sqrt{3} = 1,7$)

$$5 \cdot 10^{-2} \text{ N}$$

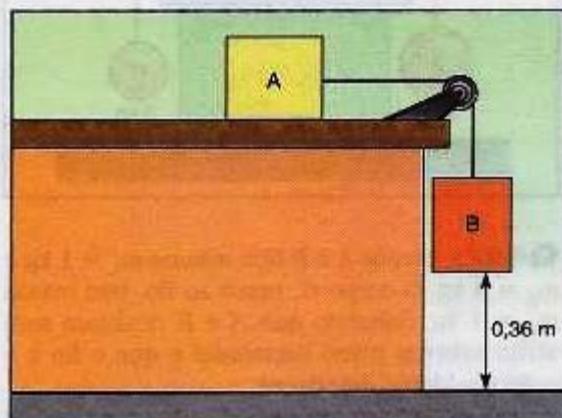
$$3,57 \cdot 10^{-1} \text{ N}$$

- Q44** Dois corpos, A e B , de massas respectivamente iguais a 4 kg e 5 kg , estão ligados por um fio ideal, conforme mostra a figura. Aplica-se ao corpo A uma força \vec{F} , vertical, de intensidade de 117 N . Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.
- Qual a aceleração do conjunto? 3 m/s^2
 - Qual a intensidade da tração no fio? 65 N

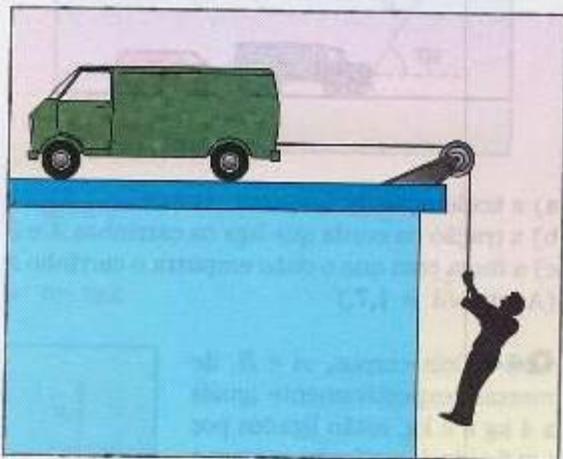


- Q45** (Unirio-RJ) Um corpo A , de 10 kg , é colocado num plano horizontal sem atrito. Uma corda ideal de peso desprezível liga o corpo A a um corpo B , de 40 kg , passando por uma polia de massa desprezível e também sem atrito. O corpo B , inicialmente em repouso, está a uma altura de $0,36 \text{ m}$, como mostra a figura. Sendo a aceleração da gravidade $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine:

- o módulo da tração na corda 80 N
- o mínimo intervalo de tempo necessário para que o corpo B chegue ao solo $0,3 \text{ s}$



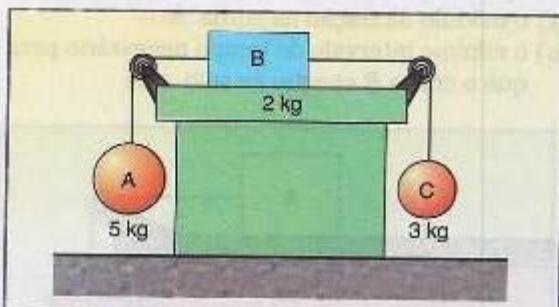
- Q46** (PUC-SP) Uma caminhonete de 2 000 kg tenta resgatar um operário a partir de um precipício, usando um cabo inextensível que liga o veículo ao infeliz trabalhador, de massa 80 kg. Despreze o atrito na polia.



Se o homem sobe com aceleração de 1 m/s^2 , responda:

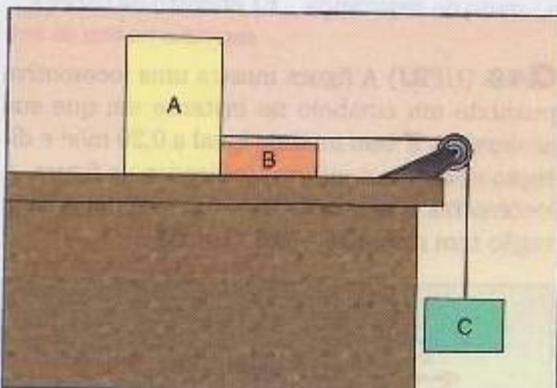
- a) Qual a força que movimenta a caminhonete? 2880 N
 b) O cabo suporta no máximo uma tração de 2 000 N. Será possível o resgate com essa aceleração sem que ele arrebente? Será, pois a força tensora vale 880 N.
 Dado: aceleração da gravidade local $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- Q47** Na figura, o corpo B está ligado por fios inextensíveis e perfeitamente flexíveis aos corpos A e C . O corpo B está sobre uma mesa horizontal. Despreze todos os atritos e as massas dos fios que ligam os corpos. Determine o módulo da aceleração de C e a intensidade das trações nos fios. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$. $2 \text{ m/s}^2; 40 \text{ N}$ e 36 N

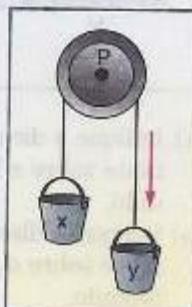


- Q48** Os corpos A e B têm massas $m_A = 1 \text{ kg}$ e $m_B = 3 \text{ kg}$. O corpo C , preso ao fio, tem massa $m_C = 1 \text{ kg}$. Sabendo que A e B deslizam sem atrito sobre o plano horizontal e que o fio e a polia são ideais, determine:
 a) a aceleração do conjunto 2 m/s^2

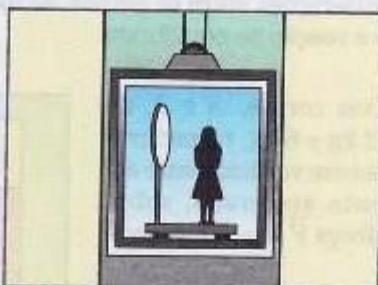
- b) a tração no fio 8 N
 c) a força que A exerce em B 6 N



- Q49** Na figura ao lado, X e Y são corpos interligados por um fio inextensível, de massa desprezível e perfeitamente flexível, que passa por uma polia P . A aceleração de Y é igual a $2,0 \text{ m/s}^2$ e seu peso é igual a $30,0 \text{ N}$. A seta indica o sentido da aceleração de Y . Considerando que os atritos são desprezíveis e que a aceleração gravitacional local é igual a $10,0 \text{ m/s}^2$, calcule a massa do corpo X . 2 kg



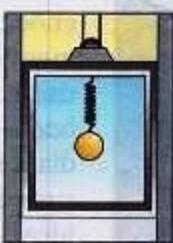
- Q50** Admita que a massa de uma pessoa seja 40 kg e que ela esteja sobre uma balança dentro de um elevador, como ilustra a figura. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.



- Qual a indicação da balança quando o elevador:
 a) sobe acelerado, com aceleração constante de 2 m/s^2 ? 480 N
 b) desce acelerado, com aceleração constante de 2 m/s^2 ? 320 N
 c) desce freando, com aceleração constante de 2 m/s^2 ? 480 N
 d) sobe com velocidade constante? 400 N
 e) cai em queda livre (os cabos se rompem)? zero

Q51 (Cefet-MG) Um corpo de massa igual a 2,0 kg está dependurado, por uma mola, no teto de um elevador que sobe com velocidade constante igual a 5,0 m/s. Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine:

- a) a força exercida pela mola sobre o corpo **20 N**
- b) a força exercida pela mola sobre o corpo, se o elevador estivesse subindo com a aceleração igual a $1,0 \text{ m/s}^2$ **22 N**



Q52 (UFRJ) Em uma festa junina, um menino de massa igual a 40 kg desliza para baixo, abraçado a um pau-de-sebo vertical, com aceleração constante de $2,0 \text{ m/s}^2$. O pau-de-sebo exerce sobre o menino uma força resultante de compo-

nente vertical \vec{F} , com sentido de baixo para cima. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

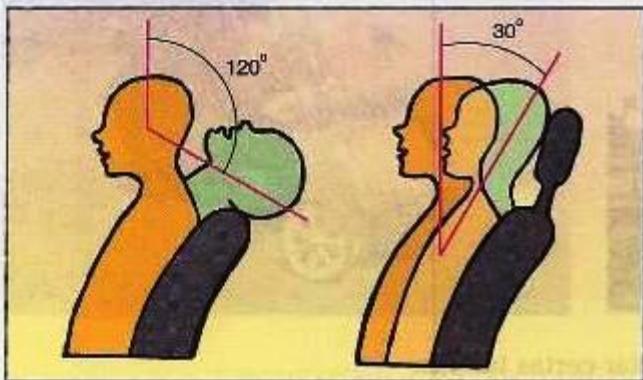
- a) Calcule o módulo da força \vec{F} . **320 N**
- b) Calcule o módulo do componente vertical da força que o menino exerce sobre o pau-de-sebo. Indique a direção e o sentido dessa força. **320 N, vertical e de cima para baixo**



VOCÊ SABIA?

EQUIPAMENTOS DE SEGURANÇA EM UM AUTOMÓVEL

O encosto de cabeça é um equipamento de segurança veicular que pode salvar vidas, especialmente quando ocorre uma colisão traseira. No momento do impacto o passageiro é lançado para frente e, depois, para trás — esteja ele usando ou não o cinto de segurança.



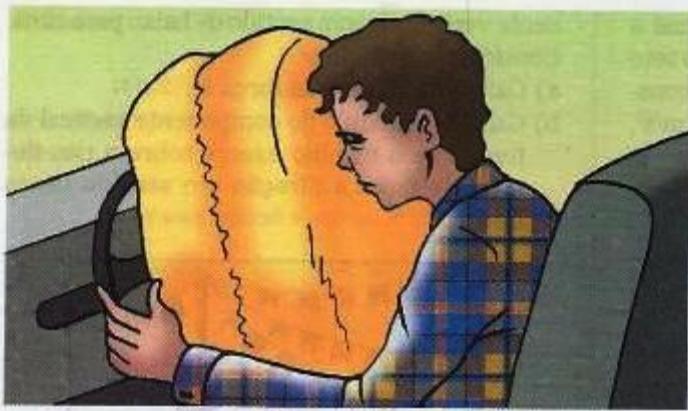
O encosto de cabeça impede que o passageiro seja jogado para trás violentamente — o que pode causar traumatismo da coluna cervical, com paralisia e até a morte.

Testes realizados com bonecos colocados num automóvel a 28 km/h mostraram que a sequência do movimento da cabeça, sem o uso do encosto, efetua um giro total de 120° num intervalo de tempo de 0 a 120 milissegundos — tempo equivalente a um piscar de olhos.

Com o encosto, o giro da cabeça atinge no máximo 30°.

No entanto, o cinto de segurança ainda é o equipamento que oferece maior proteção, uma vez que impede o lançamento dos passageiros para fora do carro. Se todos usarem o cinto, a morte será evitada em 80% dos casos.

Numa colisão a 50 km/h, uma criança de apenas 4,5 kg exerce uma força equivalente a quase 150 kg contra os braços que a seguram — ou melhor, que tentariam segurar-la. Por isso elas nunca devem ser transportadas no banco da frente, muito menos no colo do motorista, onde correm o risco de serem prensadas contra o volante. Para as crianças, recomenda-se o uso de assentos especiais.



Convém salientar que a proteção oferecida pelo cinto de segurança não é completa. Numa colisão frontal violenta, o motorista pode se chocar contra o volante, o painel ou mesmo o pára-brisa. Nesses casos, o uso combinado do cinto com o *air bag* — a almofada de ar que infla diante dos ocupantes dianteiros em caso de desaceleração brusca — é o ideal.

Fonte: *Superinteressante* (out./92), p. 26; e *Revista Exame* (13/3/96)

PLANO INCLINADO

Diariamente temos oportunidade de observar objetos em movimento ou em repouso sobre uma superfície inclinada.



Usamos o plano inclinado para facilitar certas tarefas.

APLICAÇÃO

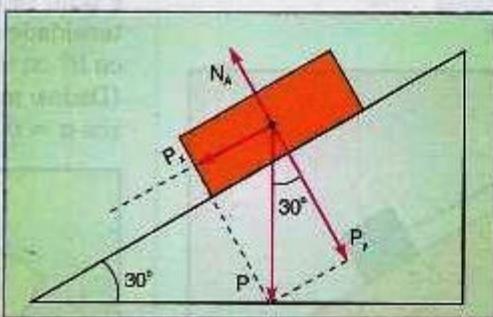
A 12

Um corpo de massa 8 kg é abandonado sobre um plano inclinado cujo ângulo de elevação é 30° . O atrito entre o corpo e o plano é desprezível. Admitindo $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine:

- a aceleração do corpo
- a intensidade da reação normal de apoio

Resolução:

Isolando o corpo, temos:



Decompondo-se o peso, vem:

$$P_x = P \sin 30^\circ = \frac{mg}{2} = \frac{8 \cdot 10}{2} = 40 \text{ N}$$

$$P_y = P \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} mg = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 8 \cdot 10 = 40\sqrt{3} \text{ N}$$

a) Na direção do plano de apoio a força resultante é P_x . Logo:

$$F_R = m \cdot a \rightarrow P_x = m \cdot a \rightarrow 40 = 8a \rightarrow a = 5 \text{ m/s}^2$$

Note que a aceleração não depende da massa do corpo.

b) Na direção perpendicular ao plano de apoio não há movimento: P_y anula N_A .

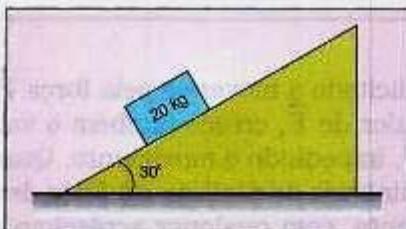
$$N_A = P_y \rightarrow N_A = 40\sqrt{3} \text{ N}$$

Respostas: a) 5 m/s^2 ; b) $40\sqrt{3} \text{ N}$

QUESTÕES

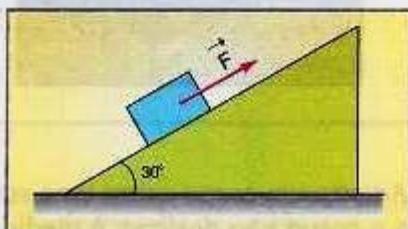
Q53 No esquema, um bloco de 20 kg é abandonado livremente num plano inclinado perfeitamente liso. Sendo $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine:

- a) a intensidade da reação do plano de apoio $100\sqrt{3} \text{ N}$
b) a aceleração do bloco 5 m/s^2



Q54 Um corpo de massa 4 kg move-se sobre um plano inclinado perfeitamente liso, puxado

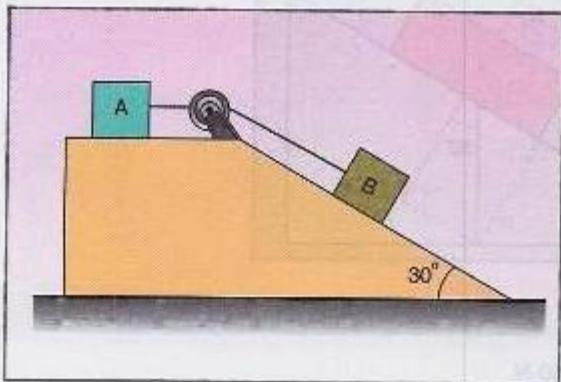
por uma força \vec{F} paralela ao plano inclinado, como indica a figura.



Sabendo que $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule a intensidade de F nos seguintes casos:

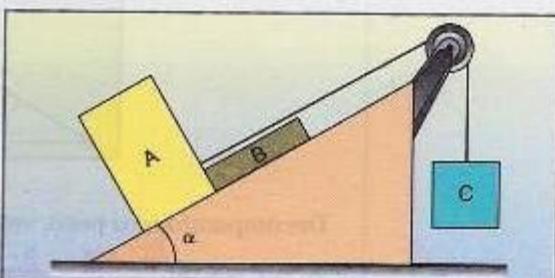
- a) o corpo sobe o plano inclinado com aceleração de 2 m/s^2 28 N
b) o corpo sobe o plano inclinado com velocidade constante 20 N

- Q55** No sistema, o atrito entre os blocos e o plano e na roldana é desprezível. Sendo $m_A = 20 \text{ kg}$, $m_B = 30 \text{ kg}$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine:
 a) a aceleração do sistema 3 m/s^2
 b) a tração no fio 60 N



- Q56** Num local em que a aceleração gravitacional tem módulo 10 m/s^2 , dispõe-se o conjunto abaixo, no qual o atrito é desprezível e a polia e o fio são ideais. Nessas condições, qual a intensidade da força que o bloco A exerce no bloco B? 32 N

(Dados: $m_A = 6,0 \text{ kg}$, $m_B = 4,0 \text{ kg}$, $m_C = 10 \text{ kg}$, $\cos \alpha = 0,8$ e $\sin \alpha = 0,6$)

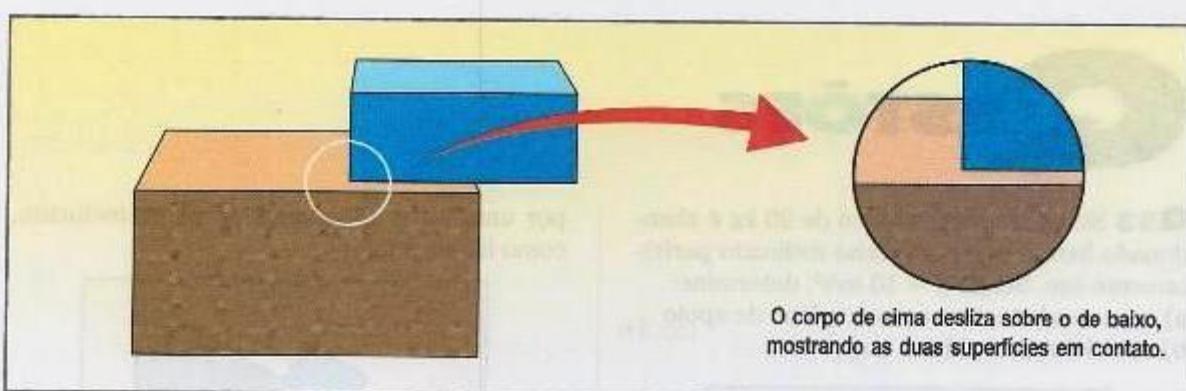


FORÇA DE ATRITO

O fato de não conseguirmos fazer um corpo deslizar sobre uma superfície é justificado pelo aparecimento de uma força entre as superfícies de contato que impede o movimento, denominada *força de atrito estático*.

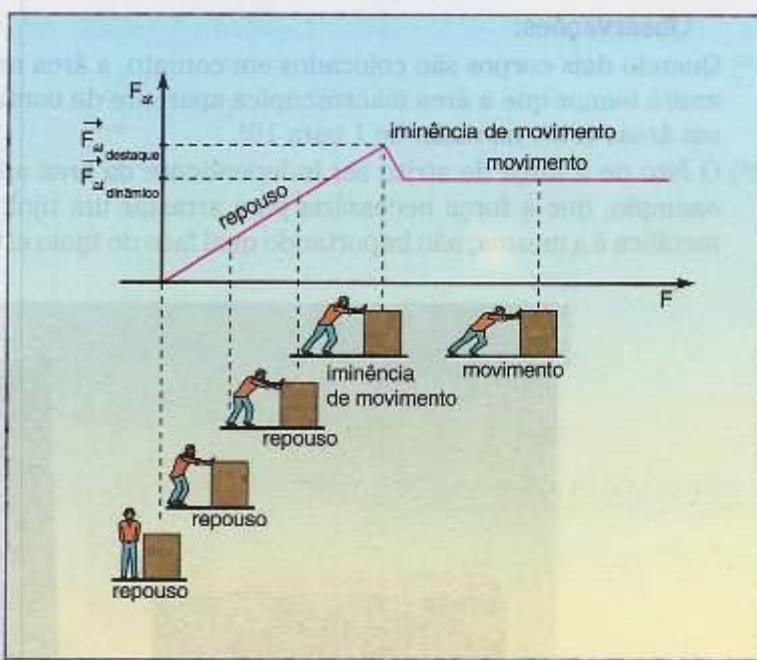
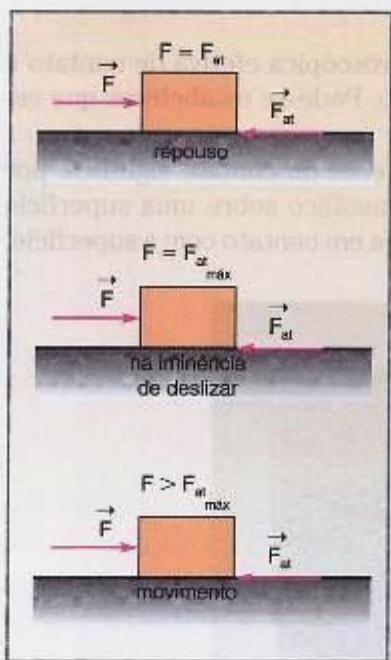
Quando um corpo desliza sobre outro surge uma força de contato que se opõe ao movimento, chamada *força de atrito dinâmico*.

A força de atrito entre corpos sólidos é devida às asperezas das superfícies em contato e diminui com o polimento ou com o uso de lubrificantes.



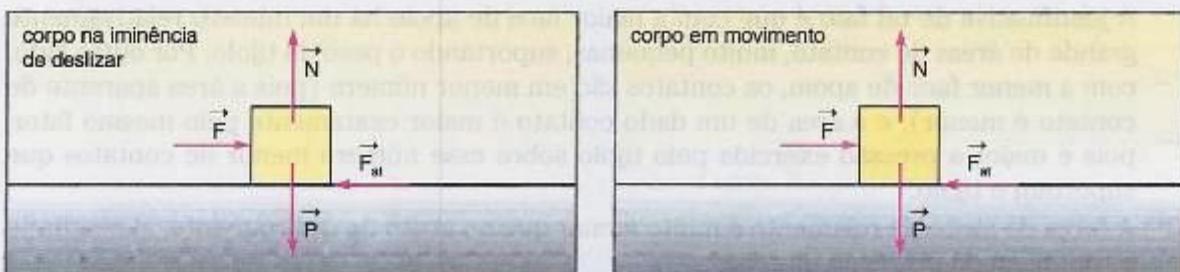
Admita um corpo sobre uma superfície sendo solicitado a mover-se pela força \vec{F} . Enquanto o corpo não deslizar, à medida que cresce o valor de \vec{F} , cresce também o valor da força de atrito estática, de modo a equilibrar a força \vec{F} , impedindo o movimento. Quando a força \vec{F} atingir um determinado valor, o corpo fica na iminência de deslizar, e a força de atrito estática atinge seu valor máximo. A partir desse instante, com qualquer acréscimo que a força \vec{F} sofra, o corpo começa a deslizar.

Uma vez iniciado o movimento, a força de atrito estática deixa de existir, passando a atuar a força de atrito dinâmica, de valor inferior ao valor máximo da força de atrito estática.



A força de atrito entre um par qualquer de superfícies obedece às seguintes leis:

- 1º) É aproximadamente independente da área de contato.
- 2º) É aproximadamente proporcional à intensidade da força normal.



$$F_{at_{max}} = \mu N$$

$$F_{at} = \mu N$$

O fator μ é uma constante de proporcionalidade, chamada *coeficiente de atrito*, que depende do material dos corpos em contato e do polimento das superfícies.

O μ é adimensional e recebe o nome de *coeficiente de atrito estático* (μ_e) na iminência do deslizamento e o de *coeficiente de atrito dinâmico* (μ_d) quando já foi iniciado o movimento. A experiência mostra que, para um mesmo par de superfícies, $\mu_e > \mu_d$.

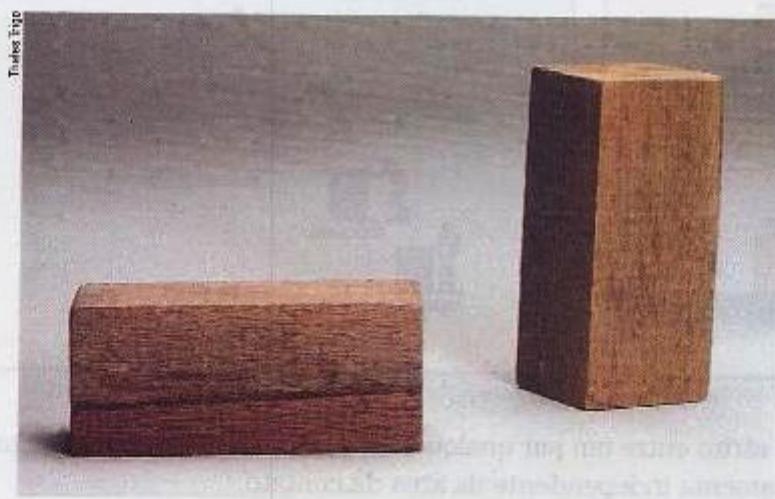
Nos exercícios, se não for especificado μ_e ou μ_d , utiliza-se simplesmente o coeficiente de atrito μ e admite-se $\mu_e = \mu_d$.

As duas leis do atrito foram descobertas experimentalmente por Leonardo da Vinci (1452-1519).

Foi o cientista francês Charles A. Coulomb que, estudando o atrito, estabeleceu a diferença entre atrito estático e dinâmico.

Observações:

- 1º) Quando dois corpos são colocados em contato, a área microscópica efetiva de contato é muito menor que a área macroscópica aparente de contato. Pode-se estabelecer que essas áreas estão na razão de 1 para 10^4 .
- 2º) O fato de a força de atrito ser independente da área aparente de contato significa, por exemplo, que a força necessária para arrastar um tijolo metálico sobre uma superfície metálica é a mesma, não importando qual face do tijolo esteja em contato com a superfície.



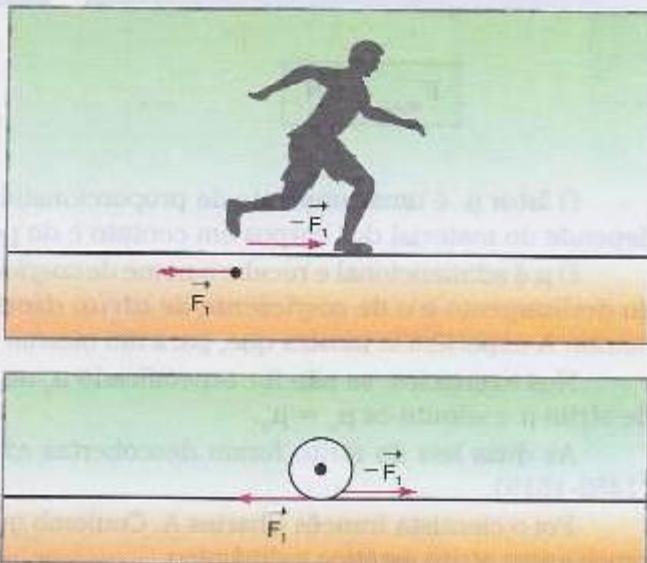
Isso porque a área microscópica de contato é a mesma para as duas posições do tijolo. A justificativa de tal fato é que com a maior face de apoio há um número relativamente grande de áreas de contato, muito pequenas, suportando o peso do tijolo. Por outro lado, com a menor face de apoio, os contatos são em menor número (pois a área aparente de contato é menor), e a área de um dado contato é maior exatamente pelo mesmo fator, pois é maior a pressão exercida pelo tijolo sobre esse número menor de contatos que suportam o tijolo.

- 3º) A força de atrito de rolamento é muito menor que no atrito de deslizamento, ai residindo a vantagem da invenção da roda.

É o atrito que nos permite caminhar sobre uma superfície.

O pé da pessoa exerce uma força \vec{F}_1 sobre o solo e, devido ao atrito, o solo aplica no pé a força $-\vec{F}_1$ (princípio da ação e reação), que empurra a pessoa para a frente. Se não houvesse o atrito, o pé da pessoa escorregaria para trás.

Num carro com tração traseira são as rodas traseiras que empurram o solo para trás, exercendo sobre ele a força \vec{F}_1 , e devido ao atrito (forças de ação e reação) o solo exerce sobre as rodas a força $-\vec{F}_1$, que empurra o carro para a frente.



INFLUÊNCIA DA RESISTÊNCIA DO AR

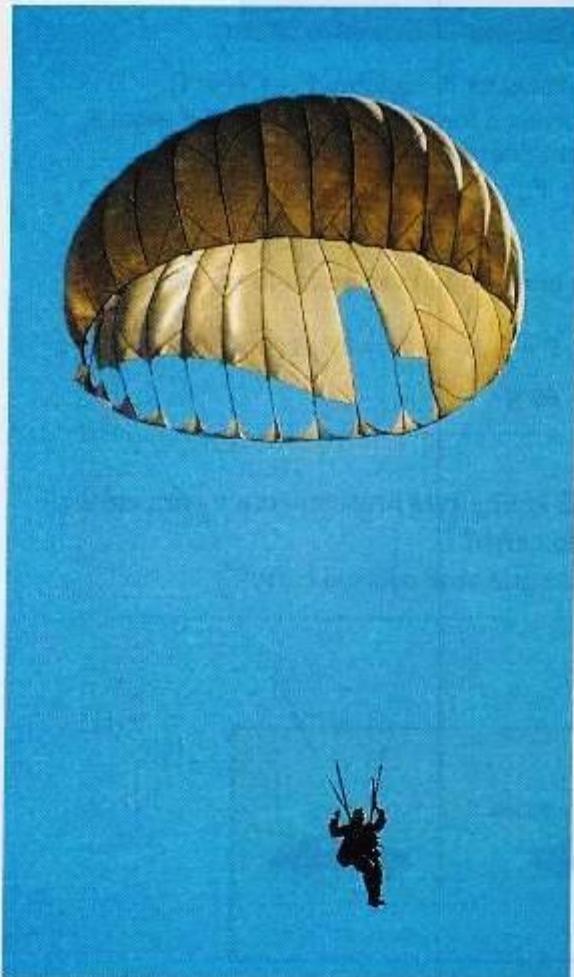
O meio no qual o corpo está imerso (ar ou líquido) oferece também uma resistência ao deslocamento.

Um corpo abandonado do alto de um prédio adquire movimento acelerado por causa da ação da força peso. Além dessa força, atua no corpo a força de resistência do ar, que tem mesma direção e sentido contrário ao da força peso.

Essa força de resistência do ar é variável e depende da velocidade do corpo, de sua forma e da maior secção transversal em relação à direção do movimento.

Vejamos alguns exemplos:

- ✓ Para uma gota de chuva cuja velocidade é de 2 m/s, a força de resistência do ar é proporcional a essa velocidade.
- ✓ Para corpos pequenos cuja velocidade varia entre 24 m/s e 330 m/s, a força de resistência do ar é proporcional ao quadrado da velocidade.
- ✓ Um pára-quedas tem forma semi-csférica côncava (área muito grande) para aumentar a força de resistência do ar.
- ✓ Carros, aviões e peixes têm forma aerodinâmica (cortam o ar e a água) e área da secção transversal muito pequena para diminuir a força de resistência do ar ou da água.



Fotos: Crisai Saita/Photo

APLICAÇÃO

INFLUÊNCIA DO RESISTÊNCIA DO AR

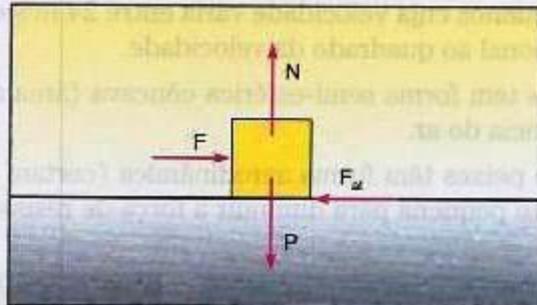
A 13

Um corpo de peso igual a 200 N está em repouso sobre uma superfície horizontal cm que os coeficientes de atrito estático e dinâmico valem, respectivamente, 0,4 e 0,3. Calcule a intensidade da força paralela ao plano capaz de fazer o corpo:

- entrar em movimento
- mover-se em movimento retilíneo uniforme

Resolução:

a) Isolando o corpo, temos:



Na direção vertical não há movimento: N equilibra $P \rightarrow N = P$.

Para o corpo entrar em movimento, a força F terá de ser maior que a $F_{at_{max}}$ que surge na iminência do deslizamento.

$$F_{at_{max}} = \mu_e N \rightarrow F_{at_{max}} = \mu_e P \rightarrow F_{at_{max}} = 0,4 \cdot 200 = 80 \text{ N}$$

Logo, $F > 80 \text{ N}$.

b) Depois que o corpo entrou em movimento, para mantê-lo em MRU ($a = 0$), devemos ter:

$$F_R = m \cdot a \rightarrow F - F_{at} = 0 \rightarrow F = \mu_d N \rightarrow F = 0,3 \cdot 200 = 60 \text{ N}$$

Respostas: a) $F > 80 \text{ N}$; b) $F = 60 \text{ N}$

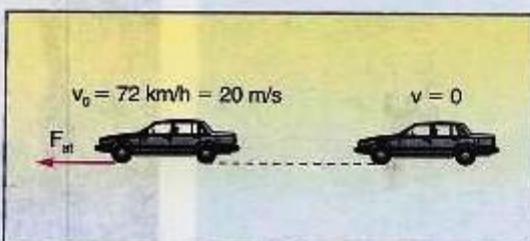
A 14

Um carro de 900 kg, andando a 72 km/h, freia bruscamente e pára em 4 s.

- Qual o módulo da aceleração do carro?
- Qual o módulo da força de atrito que atua sobre o carro?

Resolução:

a) Isolando o carro, temos:



A única força que age sobre o carro em movimento é a força de atrito que produz no carro um movimento uniformemente retardado; logo:

$$v = v_0 + at \rightarrow 0 = 20 + a \cdot 4 \rightarrow a = -5 \text{ m/s}^2 \therefore |a| = 5 \text{ m/s}^2$$

b) $F_{at} = ma \rightarrow F_{at} = 900(-5)$

$$F_{at} = -4500 \text{ N (sentido contrário ao movimento)}$$

Logo, o módulo da força de atrito é 4500 N.

Respostas: a) 5 m/s^2 ; b) 4500 N

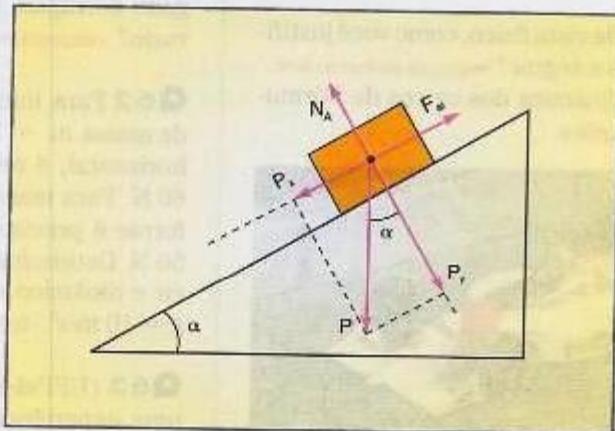
A 15

Um corpo de massa 5 kg desce um plano inclinado que faz um ângulo α com a horizontal. O coeficiente de atrito entre as superfícies é 0,4. Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$ e sendo $\sin \alpha = 0,8$ e $\cos \alpha = 0,6$, calcule:

- a reação normal do apoio
- a aceleração do corpo

Resolução:

a) Esquema



Se $m = 5 \text{ kg}$, então: $P = 5 \cdot 10 = 50 \text{ N}$.

Cálculo de P_x e P_y :

$$P_x = P \sin \alpha = 50 \cdot 0,8 = 40 \text{ N}$$

$$P_y = P \cos \alpha = 50 \cdot 0,6 = 30 \text{ N}$$

A reação normal do apoio N_A é equilibrada por P_y :

$$N_A = P_y \rightarrow N_A = 30 \text{ N}$$

- b) A força de atrito é igual a:

$$F_{at} = \mu N_A = 0,4 \cdot 30 = 12 \text{ N}$$

Aplicando o princípio fundamental da Dinâmica, temos:

$$P_x - F_{at} = ma \rightarrow 40 - 12 = 5a \rightarrow a = 5,6 \text{ m/s}^2$$

Respostas: a) 30 N; b) $5,6 \text{ m/s}^2$

QUESTÕES

Q57 (UFPel-RS) As rodas de um automóvel que procura movimentar-se para a frente exercem claramente forças para trás sobre o solo. Para cientificar-se disso, pense no que acontece se houver uma fina camada de areia entre as rodas e o piso.

Explique como é possível, então, ocorrer o deslocamento do automóvel para a frente.

resposta no final do livro

Q58 (UFPR) Considere as situações:

- um barco a remo num lago de águas paradas
- uma pessoa em pé no solo

Tanto o barco como a pessoa estão inicialmente em repouso. Indique as forças impulsoras responsáveis pelo início do deslocamento de cada um e explique suas origens do ponto de vista da Física.

respostas no final do livro

Q59 Do ponto de vista físico, como você justificaria as situações a seguir? *respostas no final do livro*

- A forma acrodinâmica dos carros de Fórmula 1 e dos tubarões.



Credit Stock Photo

- Os ciclistas raspam as pernas para que os pêlos do corpo não atrapalhem seu movimento.



Credit Stock Photo

- Os jangadeiros usam roletes (pequenos troncos de madeira) entre a jangada e a areia para facilitar o movimento da jangada.



Cesar Díaz/Agência

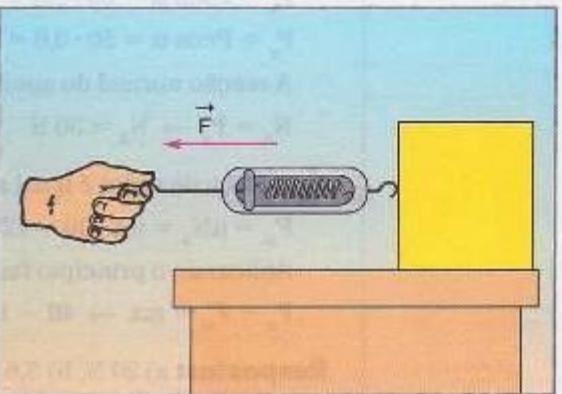
Q60 Por que nos dias de chuva é mais difícil frear um carro? Devido à camada de água, que reduz o atrito entre o solo e as rodas.

Q61 Por que as rodas de um automóvel carregado derrapam menos do que quando ele está vazio? *resposta no final do livro*

Q62 Para iniciar o movimento de um corpo de massa $m = 10 \text{ kg}$, apoiado sobre um plano horizontal, é necessária uma força mínima de 60 N . Para manter o corpo em movimento uniforme é preciso aplicar ao bloco uma força de 50 N . Determine os coeficientes de atrito estático e dinâmico entre o corpo e o plano. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

0,6 e 0,5

Q63 (UFPel-RS) Um grupo de alunos realiza uma experiência usando uma caixa, de massa igual a $2,0 \text{ kg}$, que se encontra em repouso sobre uma mesa horizontal. A caixa é puxada com uma força horizontal \vec{F} , exercida através de um dinamômetro, conforme indica a figura abaixo. A

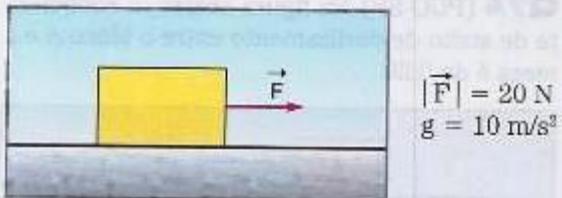


estudante Jaqueline faz medidas do módulo de F e da aceleração correspondente da caixa, formando a tabela abaixo.

F	0	10	20	N
a	0	0	1	m/s^2

- a) Quando $F = 10 \text{ N}$, é possível que se obtenha $a = 0$? Ou isso é resultado de um erro nas medidas de Jaqueline? É possível, pois $F = F_{\text{ar}}$.
 b) Qual o valor da força de atrito cinético entre a caixa e a mesa, quando o módulo de F vale 20 N ? Justifique suas respostas. 18 N

Q64 (UMC-SP) Um corpo de massa $m = 2 \text{ kg}$ está sob ação de uma força $F = 20 \text{ N}$ e se desloca na direção horizontal. O coeficiente de atrito cinético entre o corpo e o apoio é igual a 0,5.



Perguntamos:

- a) Qual é o valor da força normal (ou reação do apoio)? 20 N
 b) Qual é o valor da força de atrito? 10 N
 c) Qual é a aceleração adquirida pelo corpo? 5 m/s²
 d) Admitindo-se que o corpo parte do repouso, qual é sua velocidade após percorrer uma distância de 2,5 m? 5 m/s

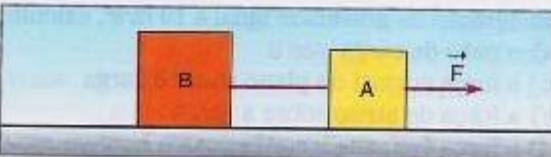
Q65 (Mauá-SP) Um garçom faz escorregar pelo balcão, sem tombar, uma garrafa de cerveja até que ela pare em frente a um freguês, a 5,0 m de distância. Sabendo que o coeficiente de atrito entre o balcão e a garrafa vale 0,16 e que a aceleração local da gravidade deve ser tomada como $10,0 \text{ m/s}^2$, pede-se determinar a velocidade inicial imposta à garrafa pelo garçom. 4 m/s

Q66 (Unicamp-SP) Um carro de 800 kg, andando a 108 km/h, freia bruscamente e pára em 5,0 s.
 a) Qual a aceleração do carro? modulu: 8 m/s; direção: do movimento; sentido: contrário ao movimento
 b) Qual o valor da força de atrito que atua sobre o carro? 4 800 N

Q67 (PUC-SP) Um pára-quedista desce verticalmente com velocidade constante de $0,4 \text{ m/s}$. A massa do pára-quedista é 90 kg e $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- a) Zero. Pois o movimento é uniforme.
 b) Qual a aceleração do movimento? Justifique.
 b) Calcule a resultante das forças que se opõem ao movimento. 900 N

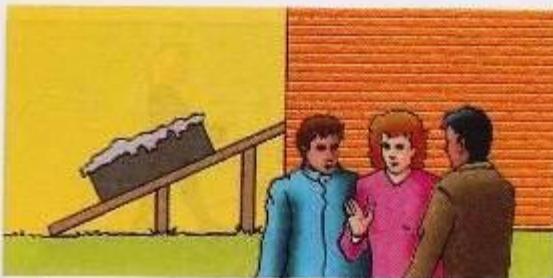
Q68 (UFMS) A figura abaixo representa dois blocos, A e B , ligados por um fio inextensível e apoiados sobre uma superfície horizontal. Puxasse o bloco A por uma força horizontal \vec{F} de módulo 28 N. A massa de A é igual a 3,0 kg, a de B , igual a 1,0 kg e o coeficiente do atrito cinético entre cada um dos blocos e a superfície vale 0,20. Despreze a massa do fio e considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.



Determine:

- a) a aceleração dos blocos 2 m/s²
 b) a força de tração no fio que liga os blocos 16 N

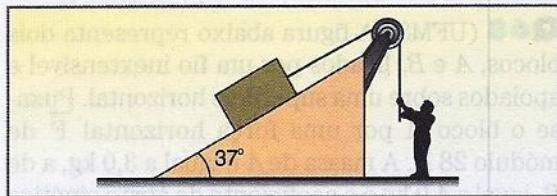
Q69 (UFPel-RS) Três estudantes, Rogério, Fábio e Míriam, ao passar por uma construção, perceberam uma caixa de argamassa apoiada sobre uma rampa, sem deslizar sobre ela. Os três estudantes passam a discutir o equilíbrio da caixa. Rogério afirma que a caixa não escorrega porque o valor da força de atrito entre ela e a rampa é igual ao valor do peso da caixa. Fábio afirma que o valor da força de atrito entre a caixa e a rampa é menor que o valor do peso da caixa e, mesmo assim, ela não escorrega. Míriam afirma que o equilíbrio da caixa só ocorre porque a força de atrito entre ela e a rampa tem módulo maior que o valor do seu peso.



Observe atentamente a situação descrita, responda às questões seguintes e justifique suas respostas.

- a) Com qual dos estudantes você concorda? Fábio
 b) Você acha que, acrescentando mais argamassa à caixa, altera-se o coeficiente de atrito estático entre ela e a rampa? não

- Q70** (UFV-MG) Um homem ergue uma carga de 50 kg, à velocidade constante, num plano inclinado que forma 37° com a horizontal.

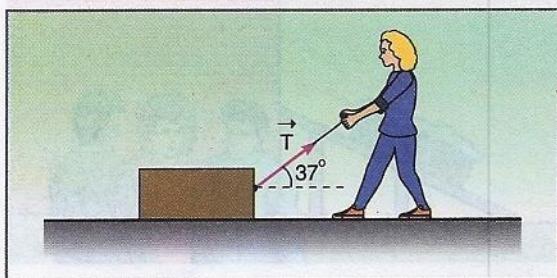


O coeficiente de atrito entre as superfícies é 0,2. Considerando $\sin 37^\circ = 0,6$, $\cos 37^\circ = 0,8$ e a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 , calcule:

- o peso da carga **500 N**
- a força normal do plano sobre a carga **400 N**
- a força de atrito sobre a carga **80 N**
- a força com que a corda puxa o homem **480 N**

- Q71** (Unicamp-SP) Um caminhão transporta um bloco de ferro de 3 000 kg, trafegando horizontalmente e em linha reta, com velocidade constante. O motorista vê o sinal (semáforo) ficar vermelho e aciona os freios, aplicando uma desaceleração de $3,0 \text{ m/s}^2$. O bloco não escorregue. O coeficiente de atrito estático entre o bloco e a carroceria é 0,40. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.
- Qual a força que a carroceria aplica sobre o bloco durante a desaceleração? **$3,1 \cdot 10^4 \text{ N}$**
 - Qual é a máxima desaceleração que o caminhão pode ter para o bloco não escorregar? **4 m/s^2**

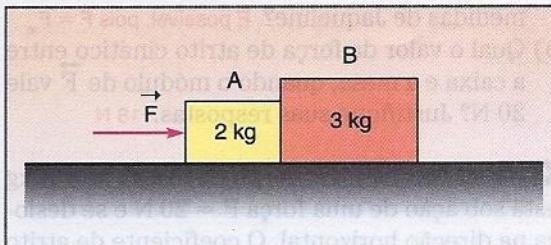
- Q72** (Unesp-SP) A figura ilustra uma jovem arrastando um caixote com uma corda, ao longo de uma superfície horizontal, com velocidade constante. A tração T que ela exerce no fio é de 20 N.



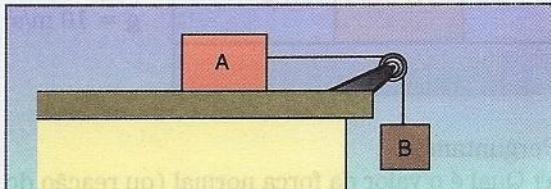
- Desenhe todas as forças que atuam sobre o caixote, nomeando-as. **resposta no final do livro**
 - Calcule a força de atrito entre o caixote e o solo. **16 N**
- (Dados: $\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0,6$; $\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$)

- Q73** Os blocos *A* e *B* encontram-se apoiados sobre uma superfície horizontal, onde o coeficiente de atrito entre cada corpo e o plano é $\mu = 0,2$. Uma força constante de intensidade 20 N é exercida sobre *A*, conforme mostra a figura. Determine:

- a aceleração dos blocos **2 m/s^2**
- a força que *B* exerce em *A* **12 N**
- a força que *A* exerce em *B* **12 N**



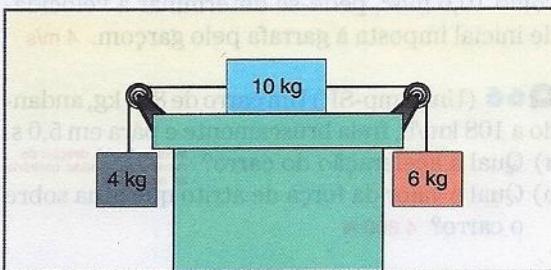
- Q74** (PUC-SP) Na figura abaixo, o coeficiente de atrito de deslizamento entre o bloco *A* e a mesa é de 0,20.



A massa do bloco *A* é de 25 kg, a aceleração da gravidade no local é 10 m/s^2 e o fio que liga *A* a *B* é inextensível e de massa desprezível.

- Represente na figura todas as forças que atuam nos blocos *A* e *B*. **resposta no final do livro**
- Determine a massa do bloco *B* para que o sistema tenha aceleração de 2 m/s^2 . **12,5 kg**

- Q75** O sistema indicado, onde as polias são ideais, permanece em repouso graças à força de atrito entre o corpo de 10 kg e a superfície de apoio.



Determine o valor da força de atrito. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$. **20 N**

Atrito é a resistência ao movimento que surge quando se desliza ou se rola uma peça sobre outra.

O atrito causa vários problemas: produz aumento da temperatura, desgaste das peças, corrosão, liberação de partículas e, consequentemente, formação de sujeiras. Para evitar esses problemas usam-se lubrificantes.

O que é um lubrificante? Quais são os tipos de lubrificantes? Quais as características de cada um deles? Quais as propriedades de um lubrificante? Dê exemplos da vida cotidiana em que se procura reduzir o atrito e outros em que se tenta implementá-lo.

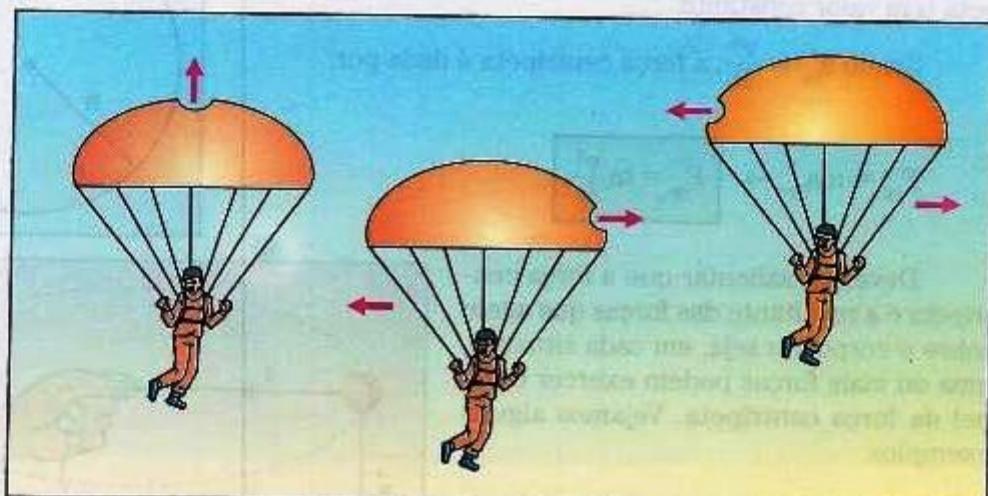
VOCÊ SABIA?

A RESISTÊNCIA DO AR NO PÁRA-QUEDISTA

Ao saltar de um avião, a velocidade inicial do pára-quedista é nula e aumenta no decorrer do tempo (movimento acelerado) devido à ação da força peso.

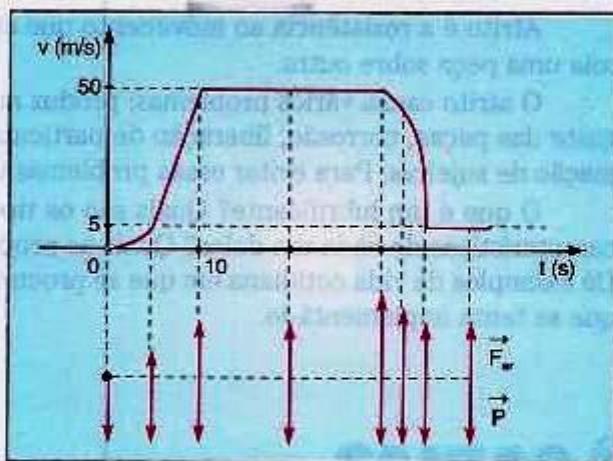
Como nesse caso a força de resistência do ar é proporcional ao quadrado da velocidade, há também um aumento da força de resistência do ar — que cresce até se igualar, em módulo, com a força peso. Nesse instante, aproximadamente 10 s após o salto, o pára-quedista passa a descer com uma velocidade constante de 50 m/s (180 km/h).

Ao abrir o pára-quedas, a força de resistência ao ar aumenta enormemente, produzindo uma aceleração contrária ao movimento e reduzindo a velocidade até 5 m/s — que permanece constante até o final da queda. Essa velocidade permite ao pára-quedista atingir o solo sem perigo.



A abertura no alto do pára-quedas permite escape do ar comprimido e proporciona descida regular. Sem essa "chaminé", o ar escapa por baixo, provocando violentas oscilações. Uma abertura lateral faz com que o pára-quedas plane horizontalmente enquanto desce.

O gráfico a seguir ilustra a velocidade em função do tempo adquirida pelo pára-quedista.



FORÇA CENTRÍPETA

Quando um corpo de massa m efetua um MCU, está sujeito a uma aceleração que é responsável pela mudança da direção do movimento. Essa aceleração é constante, denomina-se *aceleração centrípeta* e é perpendicular, em cada instante, ao vetor velocidade \vec{v} .

Se existe uma aceleração, de acordo com a 2^a lei de Newton, deve haver uma força resultante, na direção da aceleração, perpendicular à velocidade e dirigida para o centro da circunferência que é responsável por essa aceleração. Essa força resultante é denominada *força centrípeta*. Sem ela, um corpo não pode descrever um movimento circular.

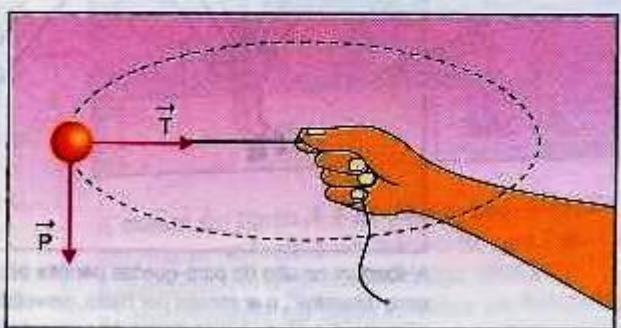
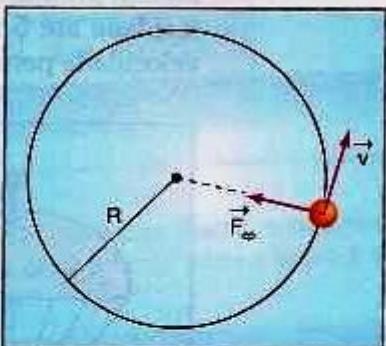
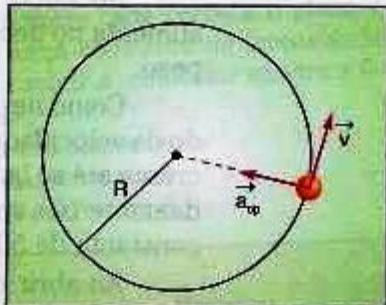
Se o movimento é circular e uniforme, a força centrípeta tem valor constante.

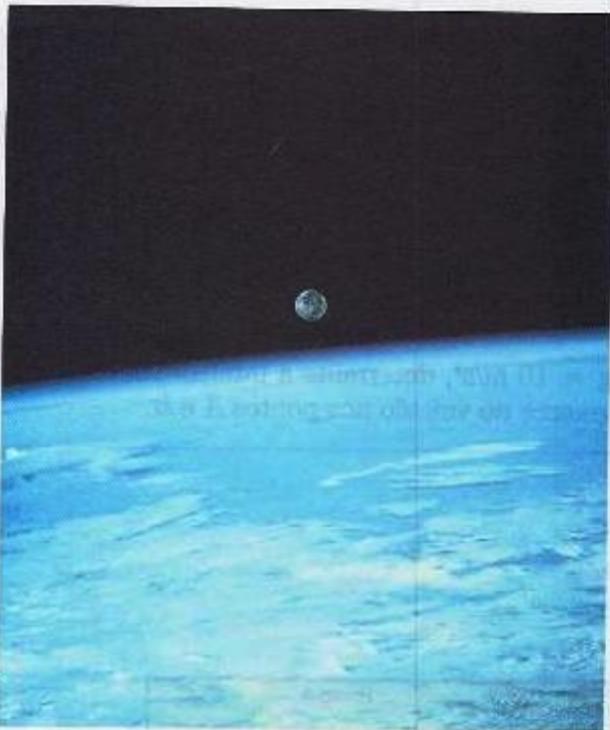
Sendo $a_{cp} = \frac{v^2}{R}$, a força centrípeta é dada por:

$$F_{cp} = ma_{cp} \rightarrow F_{cp} = m \frac{v^2}{R}$$

Devemos salientar que a força centrípeta é a resultante das forças que agem sobre o corpo, ou seja, em cada situação, uma ou mais forças podem exercer o papel da força centrípeta. Vejamos alguns exemplos.

- 1) Quando giramos uma pedra presa à extremidade de um fio, a tração \vec{T} no fio faz o papel da força centrípeta.

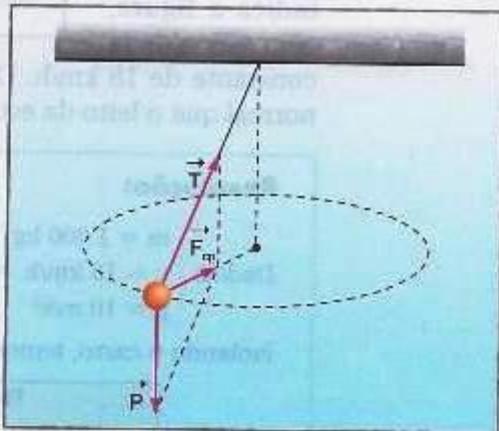




PhotoDisc

2) A Lua movimenta-se em órbita circular devido à força centrípeta, que é a própria força que a Terra exerce sobre a Lua.

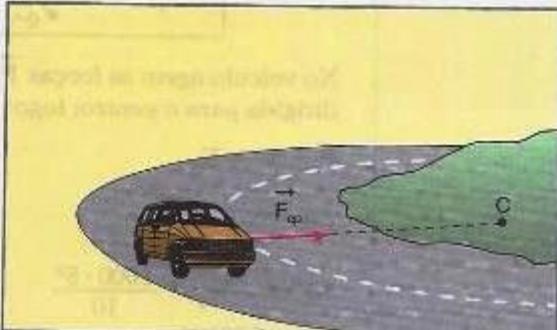
3) No caso do pêndulo cônico, a força centrípeta é a resultante da força peso e da tração no fio.



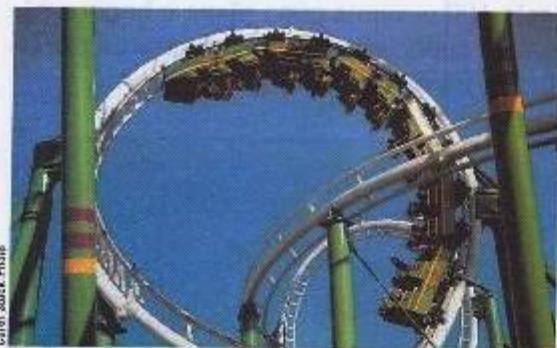
4) No caso de um carro que descreve uma curva horizontal, as forças de atrito originam a resultante centrípeta.



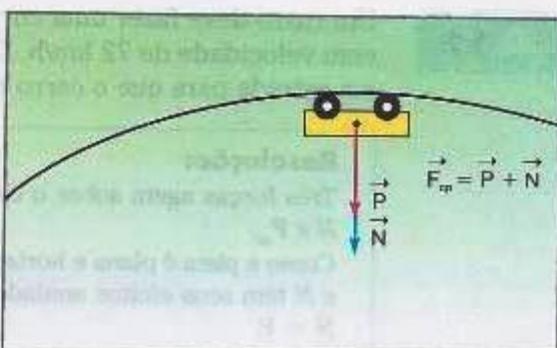
PhotoDisc



5) No *looping*, um carrinho de montanha-russa está sujeito a uma resultante centrípeta.



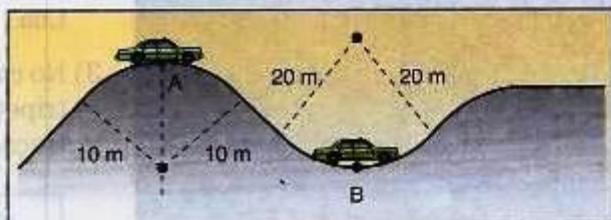
Carol Stock Photo



APLICAÇÃO

A 16

Um veículo de massa 1 000 kg percorre o trecho de uma estrada conforme indica a figura, com velocidade

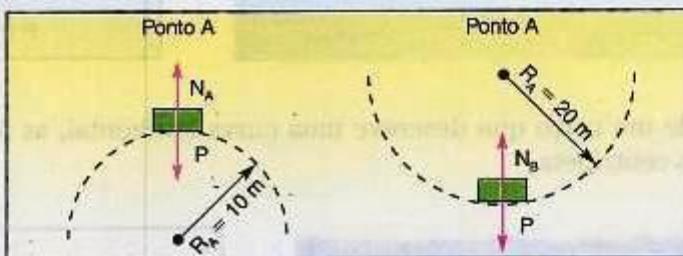


constante de 18 km/h. Dado $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine a intensidade da força normal que o leito da estrada exerce no veículo nos pontos A e B.

Resolução:

$$\begin{array}{l} m = 1\,000 \text{ kg} \\ \text{Dados: } v = 18 \text{ km/h} = 5 \text{ m/s} \\ g = 10 \text{ m/s}^2 \end{array}$$

Isolando o carro, temos:



No veículo agem as forças \vec{P} e \vec{N} que têm como resultante a força centrípeta, dirigida para o centro; logo:

$$\begin{aligned} P - N_A &= F_{cp} \\ mg - N_A &= \frac{mv_A^2}{R_A} \\ 10\,000 - N_A &= \frac{1\,000 \cdot 5^2}{10} \\ N_A &= 7\,500 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_B - P &= F_{cp} \\ N_B - mg &= \frac{mv_B^2}{R_B} \\ N_B - 10\,000 &= \frac{1\,000 \cdot 5^2}{20} \\ N_B &= 11\,250 \text{ N} \end{aligned}$$

Resposta: no ponto A: 7 500 N; no ponto B: 11 250 N

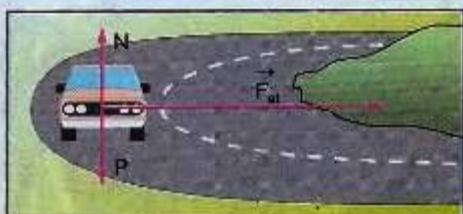
A 17

Um carro deve fazer uma curva de raio 100 m numa pista plana e horizontal, com velocidade de 72 km/h. Determine o coeficiente de atrito entre os pneus e a estrada para que o carro não derrapse na pista. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Resolução:

Três forças agem sobre o carro: P , N e F_{ar} .

Como a pista é plana e horizontal, P e N têm seus efeitos anulados, pois $N = P$.



Para percorrer a curva, a F_{at} deve atuar como força centrípeta, e, na iminência de o carro derrapar, temos:

Dados: $\begin{cases} v = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s} \\ R = 100 \text{ m} \\ g = 10 \text{ m/s}^2 \end{cases}$

$$F_{\text{at}} = F_{\text{cp}} \rightarrow \mu N = \frac{mv^2}{R} \rightarrow \mu mg = \frac{mv^2}{R} \rightarrow \mu = \frac{v^2}{Rg} \rightarrow \mu = \frac{20^2}{100 \cdot 10} \\ \mu = 0,4$$

Observe que o coeficiente de atrito independe da massa do carro.

Resposta: 0,4

A 18

Um motociclista realiza um movimento circular num plano vertical dentro de um “globo da morte” de raio 4,9 m. Determine o menor valor da velocidade no ponto mais alto para a moto não perder o contato com o globo. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Resolução:

Dados: $\begin{cases} R = 4,9 \text{ m} \\ g = 10 \text{ m/s}^2 \end{cases}$

Além da força peso P , atua a força de reação normal N que o globo exerce na moto.

A resultante dessas forças é a força centrípeta; logo:

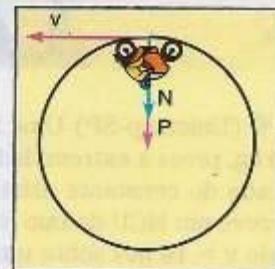
$$F_{\text{cp}} = P + N \rightarrow m \frac{v^2}{R} = P + N$$

Como m , R e P permanecem constantes, o menor valor de v é atingido quando $N = 0$; logo:

$$m \cdot \frac{v_{\min}^2}{R} = P + 0 \rightarrow m \cdot \frac{v_{\min}^2}{R} = m \cdot g \rightarrow v_{\min} = \sqrt{Rg} \rightarrow v_{\min} = \sqrt{4,9 \cdot 10} \\ v_{\min} = 7 \text{ m/s}$$

Observe que, quando $N = 0$, o corpo ainda não cai, pois apresenta a velocidade v_{\min} que o mantém na trajetória.

Resposta: 7 m/s



QUESTÕES

Q76 Para uma partícula em movimento circular uniforme são feitas as seguintes afirmações:

- I. A sua aceleração é zero.
- II. O módulo da força resultante que atua na partícula é proporcional ao quadrado da sua velocidade.

III. A força resultante que atua na partícula está dirigida para o centro da circunferência.

IV. A aceleração resultante em cada ponto é perpendicular à velocidade vetorial.

Quais dessas afirmações são verdadeiras?

II, III e IV

Q77 Um ponto material de massa $m = 0,25\text{ kg}$ descreve uma trajetória circular horizontal de raio $R = 0,50\text{ m}$, com velocidade constante e frequência $f = 4,0\text{ Hz}$. Calcule a intensidade da força centrípeta que age sobre o ponto material.

$$8\pi^2 \text{ N}$$

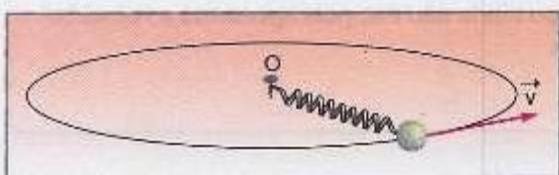
Q78 Um avião de brinquedo é posto para girar num plano horizontal preso a um fio de comprimento $4,0\text{ m}$. Sabe-se que o fio suporta uma força de tração horizontal máxima de valor 20 N . Sabendo que a massa do avião é $0,8\text{ kg}$, qual a máxima velocidade que pode ter o avião, sem que ocorra o rompimento do fio? 10 m/s



Q79 (Unicamp-SP) Uma bola de massa igual a $1,0\text{ kg}$, presa à extremidade livre de uma mola esticada de constante elástica $k = 2\,000\text{ N/m}$, descreve um MCO de raio $R = 0,50\text{ m}$ com velocidade $v = 10\text{ m/s}$ sobre uma mesa horizontal e sem atrito. A outra extremidade da mola está presa a um pino em O , segundo a figura a seguir.

a) Determine o valor da força que a mola aplica na bola para que esta realize o movimento descrito. 200 N

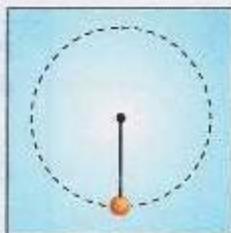
b) Qual era o comprimento original da mola antes de ter sido esticada? $0,4\text{ m}$



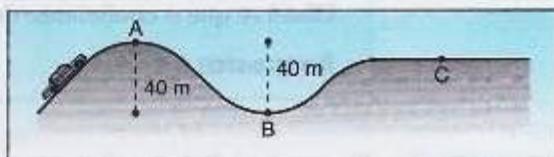
Q80 (UFPE) Um automóvel deve contornar uma praça circular seguindo uma trajetória com raio de 100 m . Supondo que a rodovia é horizontal e que o coeficiente de atrito cinético entre os pneus e a estrada é $0,4$, qual a velocidade máxima, em km/h, que o carro pode atingir para contornar a praça sem derrapar? 72 km/h

Q81 Uma esfera de massa $2,0\text{ kg}$ oscila num plano vertical suspenso por um fio leve e inextensível de $1,0\text{ m}$ de comprimento.

Ao passar pela parte mais baixa da trajetória, sua velocidade é de $2,0\text{ m/s}$. Sabendo $g = 10\text{ m/s}^2$, qual a intensidade da tração no fio quando a esfera passa pela posição inferior? 28 N



Q82 O círculo de um trecho de rodovia está contido num plano vertical e apresenta-se em perfil.



Os raios de curvatura nos pontos A e B são iguais a 40 m e o trecho que contém C é horizontal. Um carro com massa 800 kg percorre a estrada com velocidade escalar constante de 54 km/h . Determine a intensidade da reação normal da rodovia sobre o carro nos pontos A , B e C .

$$3\,500\text{ N}, 12\,500\text{ N} \text{ e } 8\,000\text{ N}$$

Q83 Um motociclista descreve uma circunferência vertical num "globo da morte" de 4 m de raio. Que força é exercida sobre o globo no ponto mais alto da trajetória, se a velocidade da moto afé é de 12 m/s^2 ? A massa total (motociclista + moto) é de 150 kg . Considere $g = 10\text{ m/s}^2$.

$$3\,900\text{ N}$$

Q84 Nas comemorações de aniversário de certa cidade, o aeroclube promove um show no qual três aviadores realizam um *looping*. Sabendo que o raio da trajetória é de 360 m . Qual é a mínima velocidade de cada avião para que o espetáculo seja coroado de êxito? Adote $g = 10\text{ m/s}^2$.

$$216\text{ km/h}$$

Q85 (UFMG) Uma borracha de massa igual a 50 g está sobre o disco de uma eletrola, a 10 cm de seu centro. A borracha gira junto com o disco, numa velocidade angular constante de $0,4\text{ rad/s}$. O coeficiente de atrito estático entre a borracha e o disco vale $0,50$, e a aceleração da gravidade pode ser considerada igual a 10 m/s^2 .

- a) Determine o valor da força centrípeta que atua na borracha. $8 \cdot 10^{-4}\text{ N}$
- b) Determine o valor da força de atrito que atua sobre a borracha. $0,25\text{ N}$

CAPÍTULO 8

GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

INTRODUÇÃO

O brilho e o movimento dos astros sempre despertaram a curiosidade dos homens. Em todas as etapas da civilização, eles procuraram dar uma explicação para os fascinantes fenômenos da gravitação universal.

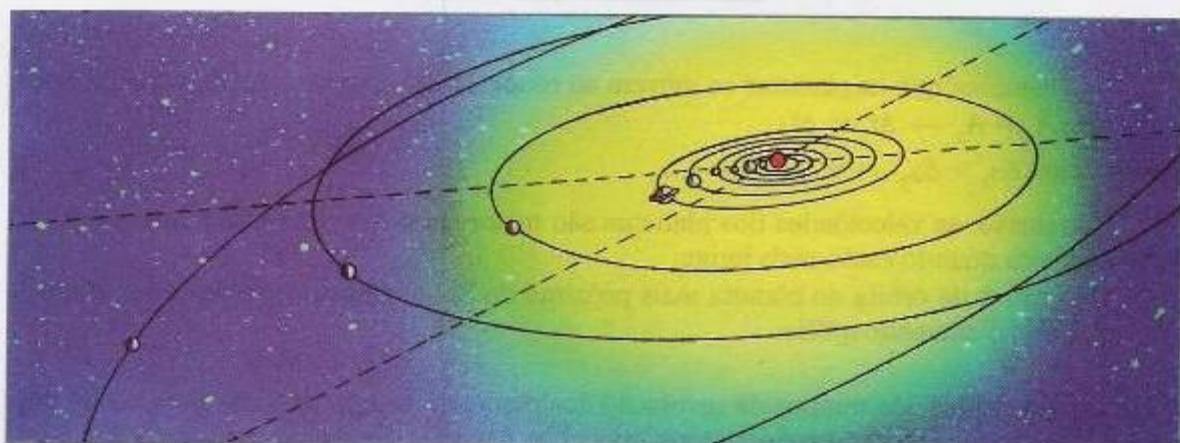
Os gregos, por exemplo, deduziram que a Terra ocupava o centro do Universo e em torno dela giravam outros corpos celestes, em perfeitos círculos concêntricos. Esse sistema, conhecido como geocêntrico (geo = centro), foi sistematizado pelo astrônomo grego Hiparco (século II a.C.).

Mas o astrônomo grego Aristarco de Samos (310-230 a.C.) pensava de modo diferente. Foi o primeiro a afirmar que todos os planetas, inclusive a Terra, giravam em torno do Sol. Assim, ao contrário do sistema geocêntrico concebido pelos seus compatriotas, Samos imaginou um sistema heliocêntrico (helio = sol). Entretanto, na época, ele não teve crédito, porque, favorecida pelo geocentrismo, os gregos aceitavam a idéia de que o homem era o centro do Universo.

No século II, o sistema geocêntrico foi desenvolvido e consagrado por Cláudio Ptolomeu, grande astrônomo de Alexandria, no Egito.

Somente no século XVI a teoria heliocêntrica viria a se firmar novamente, graças aos estudos do cônego polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) que, discordando do sistema ptolomaico, aceito e defendido até então, renovou a teoria de Aristarco, afirmando que o Sol era realmente o centro das órbitas planetárias. Essa reafirmação suscitou muito debate e discussão.

A observação dos fenômenos celestes levou outro astrônomo, o dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601), a elaborar uma teoria intermediária: ele concluiu que os planetas giravam em torno do Sol e a Lua girava em torno da Terra. Suas observações levaram o alemão Johannes Kepler (1571-1630) a elaborar algumas leis que convenciam os pesquisadores sobre a realidade do heliocentrismo, estabelecendo ainda que as órbitas eram elípticas, e não circulares.



Mas muitos ainda negavam a teoria copernicana. Por exemplo, o italiano Galileu Galilei (1564-1642), um dos maiores pesquisadores que a ciência conheceu, foi acusado de herege pela Igreja Católica porque afirmava que a Terra não era fixa e fazia parte do sistema solar.

As conclusões de Kepler e Galileu foram coroadas pelos estudos de Isaac Newton (1643-1727), físico e matemático inglês, autor da lei da gravitação universal, que explica a mecânica celeste.

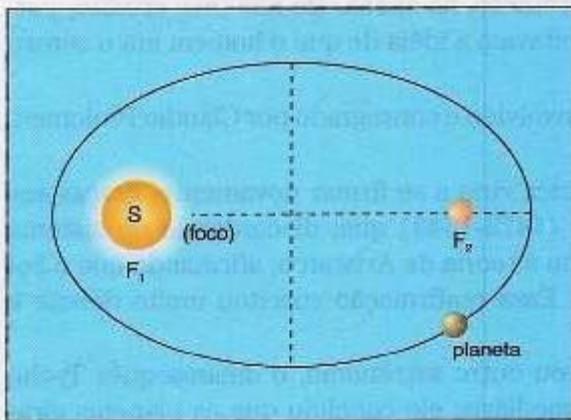
GÁLIO ESTUDE

LEIS DE KEPLER

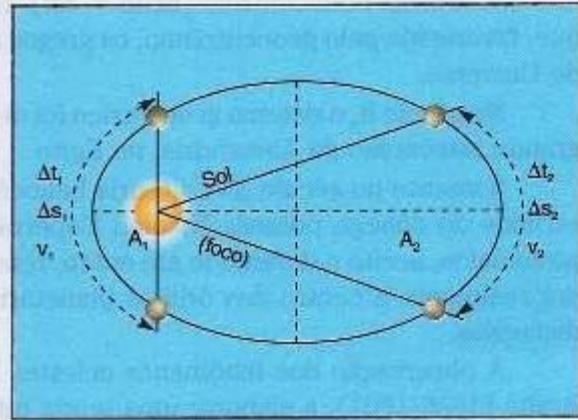
No século XVII, Johannes Kepler enunciou as leis que regem o movimento planetário, utilizando em seus estudos as anotações do astrônomo dinamarquês Tycho Brahe.

As três leis de Kepler, que tratam dos movimentos dos planetas, são:

1^a lei: Os planetas descrevem órbitas elípticas em torno do Sol, ocupando este um dos focos da elipse.



2^a lei: O segmento imaginário que une o Sol ao planeta descreve áreas proporcionais aos tempos gastos em percorrê-las.



$$\frac{A_1}{\Delta t_1} = \frac{A_2}{\Delta t_2} = \text{constante}$$

Isto significa que os planetas se movem ao redor do Sol com velocidade variada, pois:

- ✓ quando $A_1 = A_2 \rightarrow \Delta t_1 = \Delta t_2$
- ✓ mas como $\Delta s_1 > \Delta s_2 \rightarrow v_1 > v_2$

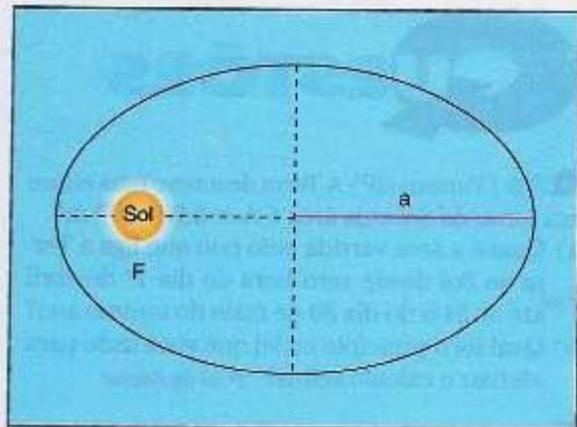
Conclusão: as velocidades dos planetas são maiores quando eles estão mais perto do Sol e menores quando estão mais longe.

O ponto *A* da órbita do planeta mais próximo do Sol é chamado *periélio* e o ponto *B* mais afastado é chamado *afélio*.

3^a lei: Os quadrados dos tempos de revolução dos planetas (tempo para dar uma volta completa em torno do Sol) são proporcionais aos cubos das suas distâncias médias do Sol.

$$\frac{T^2}{a^3} = k$$

ou $T^2 = ka^3$



Observações:

- 1º) Através dessa lei podemos concluir que o período de translação de um planeta aumenta com o aumento do semi-eixo maior de sua trajetória em torno do Sol, isto é, aumenta o seu ano.
- Exemplos: Mercúrio → ano de 88 dias terrestres
Plutão → ano de 248 anos terrestres
- 2º) As três leis de Kepler são válidas para qualquer corpo girando em torno de uma grande massa central, isto é, os satélites naturais e os artificiais.
- 3º) A constante k só depende da massa do Sol e não do planeta que gira em torno dele.

APLICAÇÃO

A 19

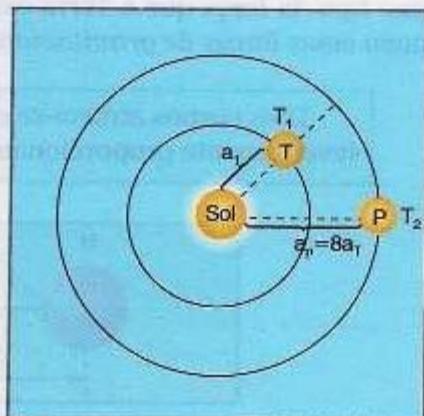
De quantos anos seria, aproximadamente, o período de um planeta girando em torno do Sol, se sua distância ao centro de gravitação fosse 8 vezes a distância Terra — Sol?

Resolução:

Podemos supor que a órbita elíptica do planeta seja muito próxima de uma circunferência.

Dados: $\begin{cases} T_1 = 1 \text{ ano} \\ a_p = 8a_T \end{cases}$

$$\begin{aligned} \left. \begin{cases} T_1^2 = ka_T^3 \\ T_2^2 = ka_p^3 \end{cases} \right\} &\rightarrow \frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{ka_T^3}{k(8a_T)^3} \\ \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^2 &= \frac{a_T^3}{512a_T^3} \\ \frac{T_1}{T_2} &= \sqrt{\frac{1}{512}} \\ \frac{1}{T_2} &= \frac{1}{16\sqrt{2}} \\ T_2 &\approx 22,6 \text{ anos} \end{aligned}$$



Resposta: $\approx 22,6$ anos

QUESTÕES

Q 86 (Vunesp-SP) A Terra descreve uma elipse em torno do Sol cuja área é $A = 6,98 \cdot 10^{22} \text{ m}^2$.

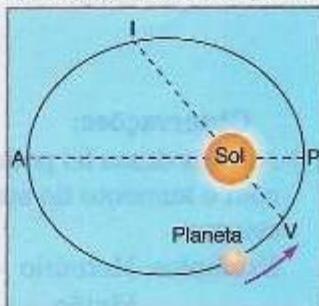
- Qual é a área varrida pelo raio que liga a Terra ao Sol desde zero hora do dia 1º de abril até as 24 h do dia 30 de maio do mesmo ano?
- Qual foi o princípio ou lei que você usou para efetuar o cálculo acima? **2ª lei de Kepler**

Q 87 O raio da órbita da Terra é $1,49 \cdot 10^{11} \text{ m}$ e o da órbita de Urano é $2,87 \cdot 10^{12} \text{ m}$. Determine o período de Urano. Dado: período da Terra = 1 ano terrestre. **84,5 anos terrestres**

Q 88 Um satélite artificial *A*, em órbita circular, dista *x* do centro da Terra, e o seu período é *T*. Um outro satélite, *B*, também em órbita circular, tem período $4T$. Calcule o raio da órbita de *B*. **$2x\sqrt[3]{2}$**

Q 89 Marte tem dois satélites: Fobos, que se move em órbita circular de raio 9 700 km e período $2,75 \cdot 10^4 \text{ s}$, e Deimos, que tem órbita circular de raio 24 300 km. Determine o período de Deimos. **$1,1 \cdot 10^5 \text{ s}$**

Q 90 (Unicamp-SP) A figura representa exageradamente a trajetória de um planeta em torno do Sol. O sentido do percurso é indicado pela seta. O ponto *V* marca o início do verão no hemisfério sul e o ponto *I* marca o início do inverno. O ponto *P* indica a maior aproximação do planeta ao Sol, o ponto *A* marca o maior afastamento. Os pontos *V*, *I* e o Sol são colineares, bem como os pontos *P*, *A* e o Sol.



Máxima em
P e mínima
em *A*

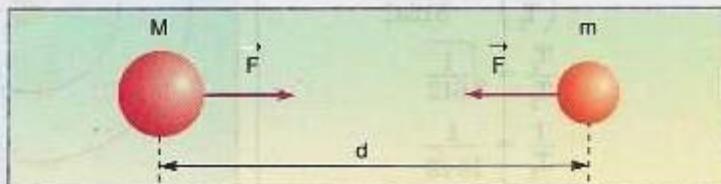
- Em que ponto da trajetória a velocidade do planeta é máxima? Em que ponto essa velocidade é mínima? Justifique sua resposta.
- Segundo Kepler, a linha que liga o planeta ao Sol percorre áreas iguais em tempos iguais. Coloque em ordem crescente os tempos necessários para realizar os seguintes percursos: VPI, PIA, IAV, AVP. $\Delta t_{VPI} < \Delta t_{PIA} = \Delta t_{IAV} < \Delta t_{AVP}$

LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

Newton explicou as leis dos movimentos dos planetas por uma hipótese aplicável à universalidade dos casos desde a atração dos planetas até as atrações moleculares dos corpos.

Estudando o movimento da Lua, ele concluiu que a força que a mantém em órbita é do mesmo tipo da força que a Terra exerce sobre um corpo colocado nas suas proximidades. Chamou essas forças de *gravitacionais* e enunciou a lei da gravitação universal.

Dois corpos atraem-se com forças proporcionais às suas massas e inversamente proporcionais ao quadrado da distância entre seus centros.



$$F = G \frac{Mm}{d^2}$$

Essas forças têm mesma intensidade, mesma direção — que passa pelo centro dos dois corpos — e sentidos contrários.

Sendo:

- ✓ M e m as massas dos corpos
- ✓ G a constante de gravitação universal
- ✓ d a distância entre os centros dos dois corpos
- ✓ F a intensidade da força gravitacional

A constante G não depende dos corpos, nem do meio que os envolve, nem da distância entre eles. Depende somente do sistema de unidades utilizado.

No SI, temos: $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$.

APLICAÇÃO

A 20

Dois pontos materiais de massas $m_A = 2 \text{ kg}$ e $m_B = 8 \text{ kg}$ estão localizados a uma distância de 4 m um do outro. Determine a intensidade da força gravitacional entre eles, sabendo que $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$.

Resolução:

$$F = G \frac{m_A m_B}{d^2} \rightarrow F = 6,7 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{2 \cdot 8}{4^2} \rightarrow F = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ N}$$

Resposta: $6,7 \cdot 10^{-11} \text{ N}$

QUESTÕES

Q91 Calcule a intensidade da força gravitacional da Terra sobre a Lua sabendo que: massa da Terra $= 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, massa da Lua $= \frac{3}{4} \cdot 10^{22} \text{ kg}$, distância do centro da Terra ao centro da Lua $= 3,84 \cdot 10^8 \text{ m}$ e $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$. $2,04 \cdot 10^{20} \text{ N}$

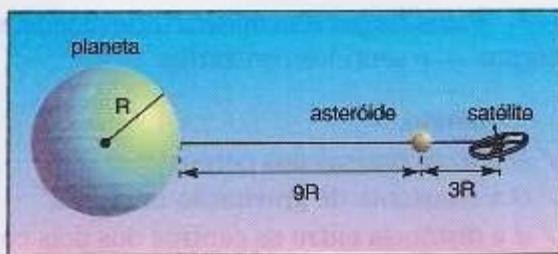
Q92 Dois corpos idênticos, de mesma massa, situados a 20 m de distância um do outro, atraem-se gravitacionalmente com força de intensidade $1,675 \cdot 10^{-3} \text{ N}$. Determine a massa desses corpos. Considere $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$.

Q93 Um corpo de massa m é atraído, quando colocado na superfície da Terra, por uma força

gravitacional de intensidade F . Determine a intensidade da força gravitacional sobre esse corpo quando levado para a superfície de um planeta de forma esférica cuja massa é oito vezes maior que a da Terra e cujo raio é quatro vezes maior que o terrestre. $\frac{F}{2}$

Q94 A massa da Lua pode ser admitida como $\frac{1}{81}$ da massa da Terra. Sendo d a distância entre a Terra e a Lua, a que distância da Terra deve ser colocado um corpo entre os dois astros de modo que a resultante das forças gravitacionais agentes no corpo seja nula? $\frac{9d}{10}$

Q95 (UFF-RJ) Em certo sistema planetário alinharam-se, num dado momento, um planeta, um asteróide e um satélite, como representa a figura. Sabendo que a massa do satélite é mil vezes menor que a massa do planeta e o raio do satélite é muito menor que o raio R do planeta, determine a razão entre as forças gravitacionais exercidas pelo planeta e pelo satélite sobre o asteróide. 90

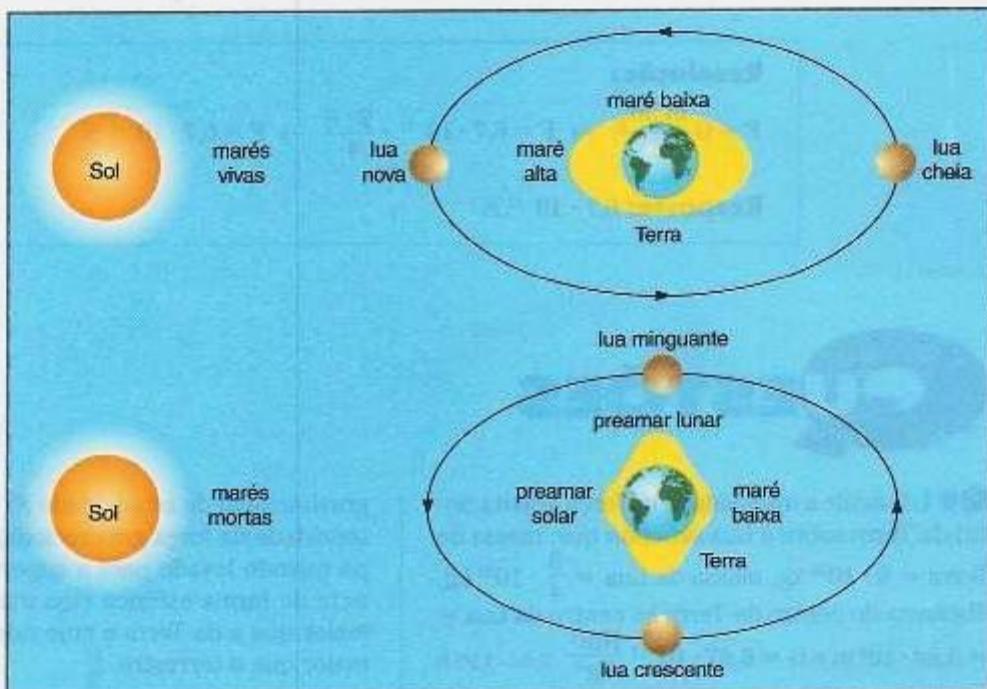


VOCÊ SABIA?

A INFLUÊNCIA LUNAR

A Lua exerce uma força de atração sobre a Terra e os oceanos precisam variar de forma para compensar essa força. É o chamado *fenômeno das marés*.

Na face da Terra voltada para a Lua, a água se eleva alguns metros acima do nível médio (fenômeno conhecido como maré alta ou preamar). Na face oposta à Lua, ocorre a maré baixa ou baixa-mar. Isto se repete uma ou duas vezes por dia.



O Sol também contribui para as marés, mas devido a sua grande distância da Terra, sua ação é menor. Somente quando Sol, Lua e Terra formam uma linha reta, o efeito das marés é reforçado. Assim, nos períodos de lua cheia e nova, as marés são mais altas que o normal (são as marés vivas). Durante os quartos crescente e minguante, o Sol forma um ângulo reto com a Lua e as marés são menos pronunciadas que o normal (são as marés mortas ou de quadratura).

ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE

Em torno da Terra há uma região denominada *campo gravitacional*, onde todos os corpos lá colocados sofrem sua influência, que se apresenta em forma de uma força.

Dentro desse campo os corpos são atraídos para a Terra, sofrendo variações de velocidade em virtude de terem adquirido aceleração. A essa aceleração chamamos *aceleração da gravidade*, indicada pela letra g .

Temos dois casos, que veremos a seguir.

1º caso: Aceleração da gravidade na superfície da Terra

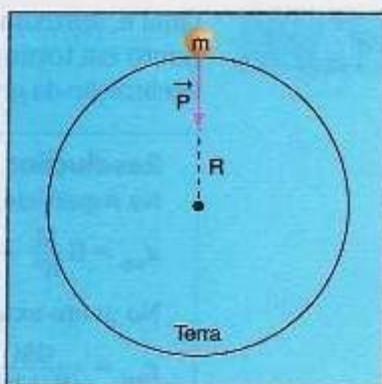
Todo ponto material de massa m colocado na superfície da Terra é atraído para o seu centro.

Essa força atrativa é o peso do corpo, que é dado por:

$$P = mg \quad \textcircled{1}$$

Mas, devido à lei de Newton, a intensidade da força de atração gravitacional entre a Terra e o corpo é dada por:

$$F = G \frac{mM}{R^2} \quad \textcircled{2}$$



Em que:

✓ M = massa da Terra

✓ R = raio da Terra

Não levando em consideração a rotação da Terra, a força peso é a própria força de atração gravitacional; logo:

$$P = F \rightarrow mg = G \frac{mM}{R^2}$$

$$g_{\text{superfície}} = G \frac{M}{R^2}$$

Essa fórmula fornece a aceleração da gravidade na superfície de qualquer planeta.

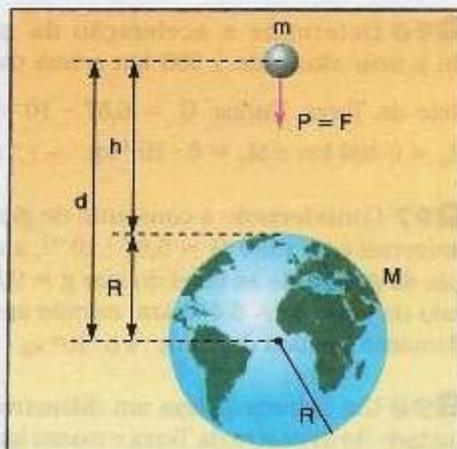
Note que a aceleração da gravidade na superfície independe da massa m do ponto material que foi atraído.

2º caso: Aceleração da gravidade para pontos externos à Terra

Se o ponto material estiver a uma altura h da superfície da Terra, temos:

$$g = G \frac{M}{d^2} \rightarrow g_{\text{externo}} = G \frac{M}{(R+h)^2}$$

Note que a aceleração da gravidade diminui com a altitude dos corpos em relação à superfície da Terra.



Observação:

Os corpos flutuam dentro de uma nave espacial porque a força gravitacional (força peso) que age sobre o corpo faz o papel da força centrípeta que age sobre ele para mantê-lo numa trajetória circular. A sensação de ausência de peso dos corpos é chamada *imponderabilidade*.

APLICAÇÃO

A21

Qual é, aproximadamente, o valor do módulo da aceleração da gravidade num ponto em torno da Terra, a uma altitude igual a cinco vezes o raio terrestre? A aceleração da gravidade ao nível do mar na superfície terrestre é igual a $9,8 \text{ m/s}^2$.

Resolução:

Na superfície da Terra, temos:

$$g_{\text{sup}} = G \frac{M}{R^2} \rightarrow 9,8 = \frac{G \cdot M}{R^2} \quad ①$$

No ponto externo, temos:

$$g_{\text{ext}} = \frac{GM}{(R+h)^2}$$

$$g_{\text{ext}} = \frac{GM}{(R+5R)^2} = \frac{GM}{36R^2} \quad ②$$

Fazendo-se $\frac{②}{①}$, vem:

$$\frac{g_{\text{ext}}}{9,8} = \frac{\frac{GM}{36R^2}}{\frac{GM}{R^2}} \rightarrow \frac{g_{\text{ext}}}{9,8} = \frac{1}{36} \rightarrow g_{\text{ext}} \approx 0,27 \text{ m/s}^2$$

Resposta: $\approx 0,27 \text{ m/s}^2$

QUESTÕES

Q96 Determine a aceleração da gravidade a uma altura de 1 000 km acima da superfície da Terra. Dados: $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$, $R_T = 6\,400 \text{ km}$ e $M_T = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$.

Q97 Considerando a constante de gravitação universal com valor $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$, a aceleração da gravidade ao nível do mar $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ e raio da Terra $R = 6\,400 \text{ km}$, calcule aproximadamente a massa da Terra. $6,0 \cdot 10^{24} \text{ kg}$

Q98 Um planeta X tem um diâmetro igual à metade do diâmetro da Terra e massa igual a um

oitavo da massa da Terra. Determine o valor da aceleração da gravidade na superfície desse planeta, sabendo que a aceleração da gravidade na superfície da Terra é de $9,8 \text{ m/s}^2$. $4,9 \text{ m/s}^2$

Q99 (Mack-SP) A constante de gravitação universal vale $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$. Supondo que a Terra seja uma esfera homogênea de raio 6 370 km e massa $5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, calcule:

a) a aceleração da gravidade na superfície da Terra $9,83 \text{ m/s}^2$

b) o peso de uma nave de 120 toneladas que esteja a 250 km de altitude. $1,09 \cdot 10^6 \text{ N}$

Q 100 (UFPE) À medida que se aproxima da superfície de um planeta, uma sonda espacial envia dados para a Terra. A tabela abaixo indica os valores medidos para a aceleração da gravidade desse planeta como função da distância h da sonda à sua superfície.

$g \text{ (m/s}^2\text{)}$	$h \text{ (km)}$
0,6	$4,8 \cdot 10^3$
2,4	$0,7 \cdot 10^3$

Com base nesses dados, determine o valor do raio desse planeta medido em unidades de 10^6 m .

$$34 \cdot 10^6 \text{ m}$$

Q 101 (EFEI-MG) Consultando os trabalhos de Galileu, um estudioso da História anotou os seguintes dados a respeito de uma das luas de Júpiter, a Io:

Período: $T = 1,77 \text{ dias} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ s}$

Raio da órbita: $R = 4,2 \cdot 10^5 \text{ km}$

A partir desses dados e conhecendo a constante

gravitacional $G = 7 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$ e o raio de Júpiter $R_J = 7 \cdot 10^4 \text{ km}$, determine:

a) a massa de Júpiter $M_J = 1,8 \cdot 10^{27} \text{ kg}$

b) a intensidade do campo gravitacional próximo à superfície de Júpiter $= 26 \text{ N/kg}$



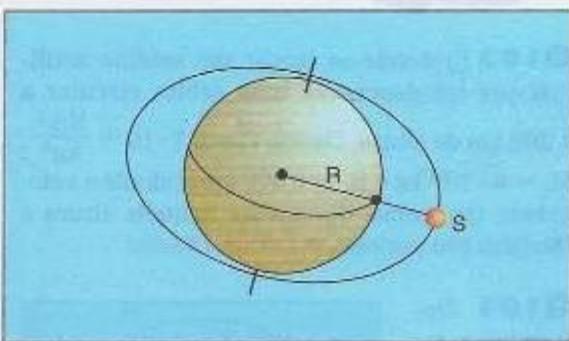
Credit: Stock Photo

Compare com o campo da Terra $g = 10 \text{ N/kg}$.

Q 102 Admita que o raio da Terra é $R = 6400 \text{ km}$. Determine a que altitude da superfície da Terra um astronauta terá seu peso reduzido a $\frac{4}{9}$ do peso que tem na superfície da Terra. 3200 km

SATÉLITE ESTACIONÁRIO

Particularmente interessantes para a telecomunicação são os satélites, que descrevem uma órbita circular sobre o plano equatorial em 86 400 s, isto é, 24 h.



Quando o satélite tem órbita circular contida no plano equatorial e o período de rotação do satélite é igual ao período de rotação da Terra, o satélite permanece em repouso em relação a um referencial fixo na superfície da Terra e é chamado satélite estacionário.

Eles devem ficar a uma altura aproximada de $h = 35\,480 \text{ km}$ da superfície da Terra.

A força de interação gravitacional F entre a Terra de massa M e o satélite de massa m representa a própria força centrípeta para manter o satélite em órbita ($F = F_{cp}$). A partir dessa igualdade podemos determinar a velocidade orbital e o período de rotação do satélite em torno da Terra.

APLICAÇÃO

A 22

- Pretende-se lançar um satélite artificial que irá descrever uma órbita circular a 1 040 km de altura. Sabe-se que $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ e o raio e a massa da Terra são $R_T = 6\,400 \text{ km}$ e $M_T = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$. Determine:
- a velocidade tangencial que deve ser imprimida ao satélite, naquela altura, para obter-se a órbita desejada
 - a freqüência do movimento do satélite e o número de voltas que ele dará, por dia, em torno da Terra

Resolução:

a) Sabemos que $d = 6\,400 + 1\,040 = 7\,440 \text{ km} = 7,44 \cdot 10^6 \text{ m}$.

$$v = \sqrt{\frac{GM}{d}} \rightarrow v = \sqrt{\frac{6,7 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}}{7,44 \cdot 10^6}} \rightarrow v = 7,3 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

b) $v = \omega d \rightarrow v = 2\pi f d$

$$f = \frac{v}{2\pi d} \rightarrow f = \frac{7,3 \cdot 10^3}{2 \cdot 3,14 \cdot 7,44 \cdot 10^6} \rightarrow f = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ Hz}$$

Se um dia tem 86 400 s, vem:

$$f = 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 86\,400 \rightarrow f = 13,8 \text{ voltas/dia}$$

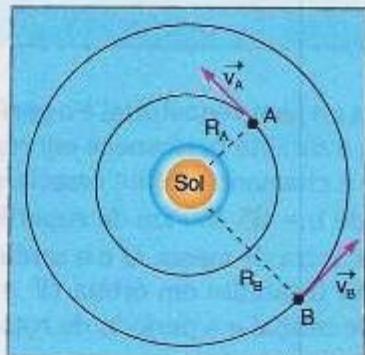
Respostas: a) $v = 7,3 \cdot 10^3 \text{ m/s}$; b) $f = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ Hz}$, 13,8 voltas/dia

QUESTÕES

Q103 Pretende-se lançar um satélite artificial que irá descrever uma órbita circular a 1 200 km de altura. Dados: $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$, $M_T = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ e $R_T = 6\,400 \text{ km}$, calcule a velocidade tangencial do satélite naquela altura e também seu período. $7\,273 \text{ m/s}$ e $6\,562 \text{ s}$

Q104 Determine a relação entre os módulos das velocidades \vec{v}_A e \vec{v}_B dos planetas A e B indicados na figura.

$$\frac{v_A}{v_B} = \sqrt{\frac{R_B}{R_A}}$$



Q105 (Inatel-MG) Um satélite permanece em órbita circular terrestre de raio R com velocidade tangencial v . Qual deverá ser a velocidade tangencial desse satélite para permanecer em órbita circular lunar de mesmo raio R ? Considere a massa da Lua 81 vezes menor que a da Terra. $\frac{v}{9}$

Q106 (EFOA-MG) Os satélites artificiais tripulados descrevem, habitualmente, órbitas aproximadamente circulares em torno da Terra, a uma altitude de 400 km em relação à superfície. Sabe-se que, nessa altitude, a aceleração da gravidade é de $8,7 \text{ m/s}^2$.

- Qual a velocidade desses satélites, admitindo-se que o raio da Terra é de 6 400 km? $= 7\,700 \text{ m/s}$
- Sabendo que existe aceleração da gravidade nessa altitude, por que os astronautas podem flutuar dentro desses satélites? *resposta no final do livro*

CAPÍTULO 9

ENERGIA

O QUE É ENERGIA

A palavra energia nos é muito familiar, embora seja algo que não podemos tocar com as mãos. Podemos, entretanto, sentir suas manifestações.

- ✓ *Energia solar:* é a energia radiante emitida pelo Sol. Fornece calor e luz.
- ✓ *Energia química:* é a energia produzida por transformações químicas. Liberada pelos alimentos, nutre todos os seres vivos para que seus corpos possam funcionar. Os carros, os aviões e os barcos dependem da energia de combustão da gasolina ou do diesel.
- ✓ *Energia elétrica:* é a energia que, nas residências, proporciona iluminação e calefação. Geralmente é convertida em outras formas de energia para realizar trabalho. Como exemplos, temos a energia mecânica produzida por um liquidificador ou uma máquina perfuratriz.
- ✓ *Energia eólica:* é a energia produzida pelo vento. Ela é que faz, por exemplo, girar moinhos e aciona barcos à vela.
- ✓ *Energia nuclear:* é a energia liberada quando certos átomos são divididos. É usada para produzir eletricidade e acionar submarinos.



Energia eólica



Energia solar



Energia nuclear



Energia química



Energia elétrica

Para avaliar quantitativamente a energia, devemos medir a transferência de energia de um corpo para outro, isto é, a transformação de uma forma de energia em outra.

Seja qual for a forma assumida, a energia representa a capacidade de fazer algo acontecer ou funcionar. Podemos dizer que *energia é a capacidade de realizar trabalho*.

Se alguma coisa pode realizar um trabalho, direta ou indiretamente, por meio de alguma transformação, é porque essa coisa tem uma forma de energia.

TRABALHO DE UMA FORÇA

O significado da palavra trabalho, em Física, é diferente do seu significado habitual, empregado na linguagem comum. Por exemplo: um homem que levanta um corpo até uma determinada altura realiza um trabalho. Já em Física, o trabalho que uma pessoa realiza ao sustentar um objeto numa certa altura sem se mover é nulo, pois não houve deslocamento.

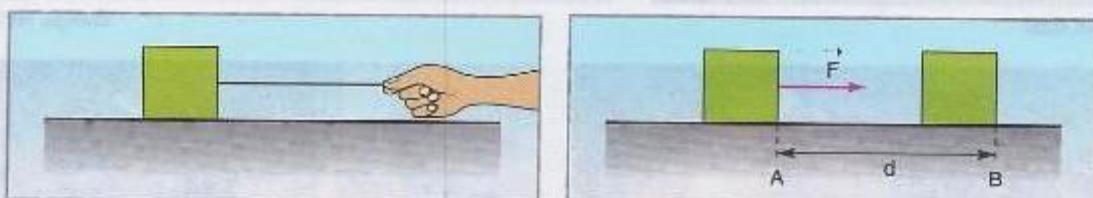


Concluímos, então, que uma força aplicada num corpo realiza um trabalho quando produz um deslocamento desse corpo. Por isso, dizemos *trabalho de uma força* e não trabalho de um corpo.

O trabalho é uma grandeza física criada para medir energia. Vamos considerar dois casos:

1º caso: A força tem a mesma direção do deslocamento

Consideremos um ponto material que, por causa da força \vec{F} , horizontal e constante, se movimenta da posição *A* para a posição *B*, sofrendo um deslocamento *d*.



O trabalho de \vec{F} no deslocamento AB é dado por:

$$\mathcal{W}_{A,B} = \vec{F}d$$

O valor desse trabalho é igual à energia transferida pela pessoa ao corpo — supondo que o sistema seja ideal, isto é, sem perdas.

Se a força \vec{F} tem o mesmo sentido do deslocamento, o trabalho é dito *motor*. Se tem sentido contrário, o trabalho é denominado *resistente*.

Por convenção:

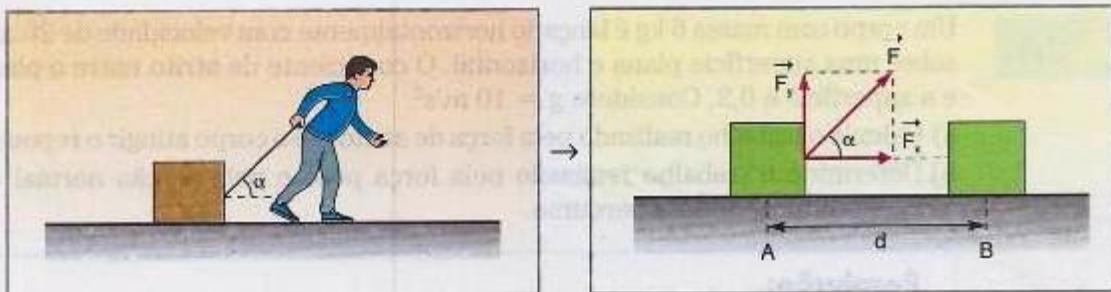
$$\zeta_{\text{motor}} > 0 \text{ e } \zeta_{\text{resistente}} < 0$$

A unidade de trabalho, no SI, é o $\text{N} \cdot \text{m}$ — chamada joule e indicada por J , em homenagem ao físico inglês James Prescott Joule (1818-1889).

$$1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ J}$$

2º caso: A força não tem a mesma direção do deslocamento

Consideremos um ponto material que, sob a ação da força \vec{F} , passa da posição A para a posição B , sofrendo um deslocamento d .



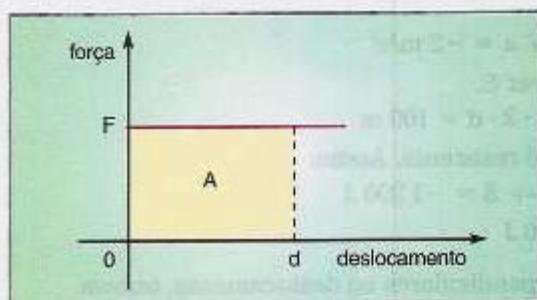
Nesse caso, o trabalho da componente F_y no deslocamento d é nulo, pois não há deslocamento na direção y . Logo, somente F_x realiza trabalho e esse trabalho é dado por:

$$\begin{aligned}\zeta_{A,B} &= \zeta_F \rightarrow \zeta_{A,B} = \zeta_{F_x} \rightarrow \zeta_{A,B} = F_x d \\ \zeta_{A,B} &= F \cdot \cos \alpha \cdot d\end{aligned}$$

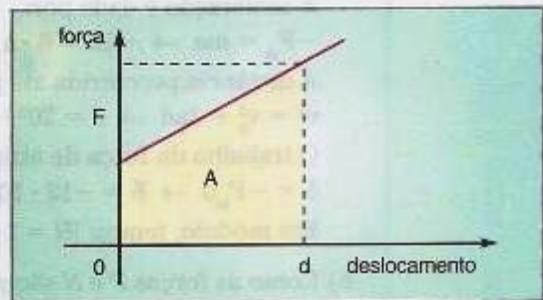
$$\zeta_{A,B} = Fd \cos \alpha$$

O trabalho é uma grandeza escalar. Se a força \vec{F} for perpendicular à direção do deslocamento, o trabalho de \vec{F} é nulo, pois $\cos 90^\circ = 0$.

O trabalho de uma força \vec{F} , constante ou não, pode ser obtido através de um gráfico, como indicam as figuras:



$$A = \zeta$$



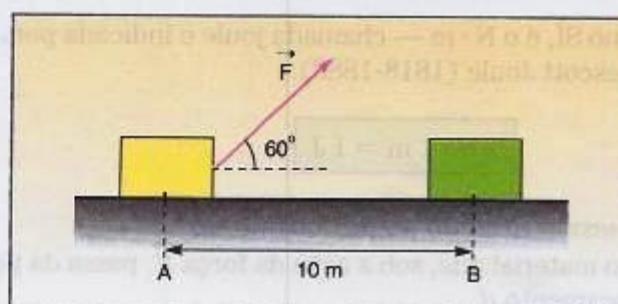
$$A = \zeta$$

O trabalho é dado numericamente pela área A das figuras.

Aplicação

A 23

Um ponto material é deslocado 10 m pela força $F = 50 \text{ N}$ indicada na figura. Determine o trabalho realizado pela força \vec{F} no deslocamento AB.



Resolução:

$$\begin{aligned}\mathcal{E}_{A,B} &= F d \cos \alpha \\ \mathcal{E}_{A,B} &= 50 \cdot 10 \cdot \cos 60^\circ \\ \mathcal{E}_{A,B} &= 50 \cdot 10 \cdot \frac{1}{2} \\ \mathcal{E}_{A,B} &= 250 \text{ J}\end{aligned}$$

Resposta: 250 J

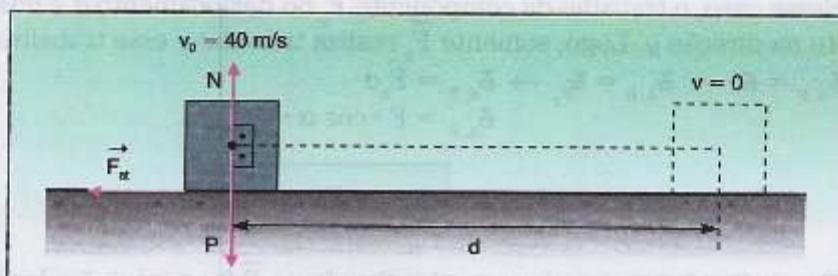
A 24

Um corpo com massa 6 kg é lançado horizontalmente com velocidade de 20 m/s sobre uma superfície plana e horizontal. O coeficiente de atrito entre o plano e a superfície é 0,2. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- Calcule o trabalho realizado pela força de atrito até o corpo atingir o repouso.
- Determine o trabalho realizado pela força peso e pela reação normal do apoio durante todo o percurso.

Resolução:

a) Do enunciado, temos:



A única força que age sobre o corpo na direção do movimento é a força de atrito, logo:

$$F_{at} = \mu N \rightarrow F_{at} = \mu P \rightarrow F_{at} = 0,2 \cdot 60 = 12 \text{ N}$$

A aceleração é dada por:

$$-F_{at} = ma \rightarrow -12 = 6 \cdot a \rightarrow a = -2 \text{ m/s}^2$$

A distância percorrida até parar é:

$$v^2 = v_0^2 + 2ad \rightarrow 0 = 20^2 - 2 \cdot 2 \cdot d \rightarrow d = 100 \text{ m}$$

O trabalho da força de atrito é resistente. Assim:

$$\mathcal{E} = -F_{at}d \rightarrow \mathcal{E} = -12 \cdot 100 \rightarrow \mathcal{E} = -1200 \text{ J}$$

Em módulo, temos: $|\mathcal{E}| = 1200 \text{ J}$

- Como as forças P e N são perpendiculares ao deslocamento, temos:

$$\mathcal{E}_P = \mathcal{E}_N = 0$$

Respostas: a) 1200 J (resistente); b) $\mathcal{E}_P = \mathcal{E}_N = 0$

QUESTÕES

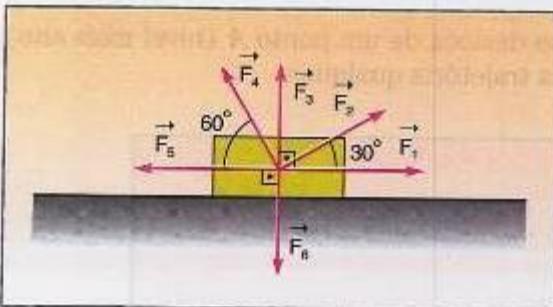
RESUMO

Q107 Quais são as duas grandezas de que depende o trabalho? **força e deslocamento**

Q108 Por que uma pessoa fica cansada ao sustentar uma mala com as mãos, embora não esteja realizando trabalho? Porque para manter a mala a uma certa altura do solo, a pessoa está aplicando uma força igual ao peso da mala.

Q109 Uma caixa desliza num plano sem atrito sob a ação de uma força \vec{F} de intensidade 60 N. Determine o trabalho dessa força em um deslocamento de 12 m, no mesmo sentido dessa força. **720 J**

Q110 A figura mostra várias forças iguais e com valor de 80 N cada. Supondo que o corpo sofra um deslocamento de 4 m para a direita, determine o trabalho de cada uma dessas forças.



320 J; 160 $\sqrt{3}$ J; 0; -160 J; -320 J; 0

Q111 Um ponto material de massa 6 kg tem velocidade de 8 m/s quando sobre ele passa a agir uma força de intensidade 30 N na direção do movimento, durante 4 s. Determine:

- o deslocamento durante esses 4 s **72 m**
- o trabalho realizado nesse deslocamento

2 160 J

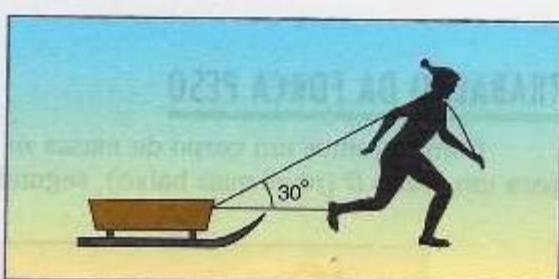
Q112 Uma força realiza trabalho de 20 J, atuando sobre um corpo na mesma direção e no mesmo sentido do seu deslocamento. Sabendo que o deslocamento é de 5 m, calcule a intensidade da força aplicada. **4 N**

Q113 Quais afirmações a seguir são verdadeiras? **apenas a II**

- Se uma força atua sobre um corpo, ela sempre realiza trabalho.
- O trabalho realizado pela força de atrito é negativo, pois a força de atrito tem mesma direção e sentido contrário ao do movimento.

Q114 (Unicamp-SP) Sob a ação de uma força constante, um corpo de massa $m = 4,0 \text{ kg}$ adquire, a partir do repouso, a velocidade de 10 m/s.
a) Qual é o trabalho realizado por essa força? **200 J**
b) Se o corpo se deslocou 25 m, qual o valor da força aplicada? **8 N**

Q115 Um garoto puxa um trenó de 40 N por 25 m ao longo de uma superfície horizontal, com velocidade constante. Calcule o trabalho que ele realiza sobre o trenó sabendo que o coeficiente de atrito cinético é igual a 0,1. (Dados: $\sin 30^\circ = 0,5$; $\cos 30^\circ = 0,8$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$). **94,2 J**



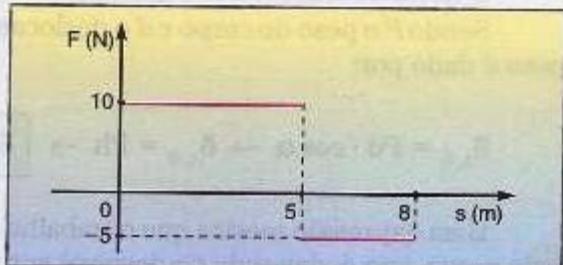
Q116 Um móvel de massa 40 kg tem velocidade constante de 90 km/h. Num determinado instante entra numa região rugosa, onde o coeficiente de atrito é igual a 0,2. Determine:

- o espaço percorrido pelo móvel na região rugosa, até parar **156,25 m**
- o trabalho realizado pela força de atrito

-12 500 J

Q117 O gráfico representa a intensidade da força aplicada a um ponto material, em função da posição sobre uma trajetória. Calcule o trabalho realizado pela força nos deslocamentos:

- de 0 m a 5 m **50 J**
- de 5 m a 8 m **-15 J**
- de 0 m a 8 m **35 J**



O ser humano, sempre em busca de facilitar as condições de vida, vem consumindo quantidades crescentes de energia.

Enquanto isso, tradicionais fontes de energia se esgotam progressivamente, como é o caso do carvão e do petróleo, elementos mais conhecidos.

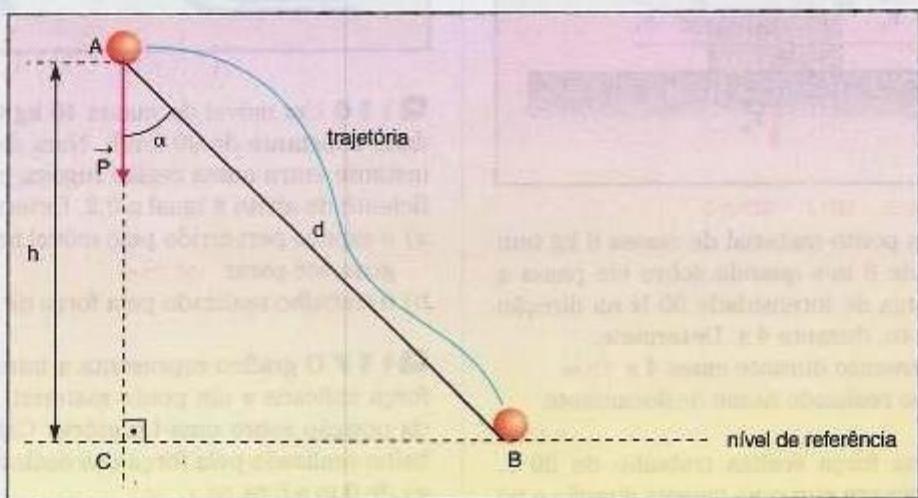
É preciso, além de economizar energia, recorrer a fontes alternativas.

Há diversas fontes alternativas de energia, como o sol, a água, o vento, o óleo e o álcool obtidos dos vegetais, o gás fermentado por matéria em decomposição, ou mesmo a força das ondas e o calor interno do planeta. No entanto, a novidade nesse campo é a evolução das energias solar e eólica.

- I) O que são fontes renováveis de energia? E fontes não-renováveis? O que é energia geotérmica?
- II) O que é energia eólica? Onde ela é usada no Brasil?
- III) Com o uso das energias solar e eólica o homem viverá melhor. Explique por que.

TRABALHO DA FORÇA PESO

Consideremos um corpo de massa m que se desloca de um ponto A (nível mais alto) para um ponto B (nível mais baixo), segundo uma trajetória qualquer.



O desnível entre A e B é igual a h .

Sendo P o peso do corpo e d o deslocamento entre A e B , o trabalho realizado pela força peso é dado por:

$$\mathcal{E}_{A,B} = Pd \cdot \cos \alpha \rightarrow \mathcal{E}_{A,B} = Ph \rightarrow \mathcal{E}_{A,B} = mgh$$

Essa expressão mostra que o trabalho da força peso não depende da trajetória descrita pelo corpo, isto é, depende do desnível entre as posições inicial e final do corpo.

Por esse motivo, o trabalho da força peso é o mesmo, sendo o deslocamento de A até B ou de A até C .

$$\mathcal{E}_{A,B} = \mathcal{E}_{A,C} = mgh$$

Se o deslocamento do corpo for de B até A , isto é, durante a subida, o trabalho realizado pela força peso é negativo.

$$\mathcal{E}_{B,A} = -Ph \rightarrow \mathcal{E}_{B,A} = -mgh$$

As forças cujos trabalhos não dependem da trajetória descrita são denominadas *forças conservativas*. Logo, a força peso é uma força conservativa.

APLICAÇÃO

A 25

Um homem levanta uma caixa de massa 8 kg a uma altura de 2 m em relação ao solo, com velocidade constante. Sabendo que $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine o módulo do trabalho realizado pela força peso.

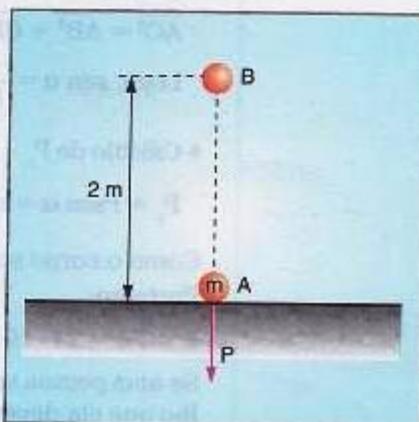
Resolução:

$$\mathcal{E}_{A,B} = -mgh$$

$$\mathcal{E}_{A,B} = -8 \cdot 10 \cdot 2$$

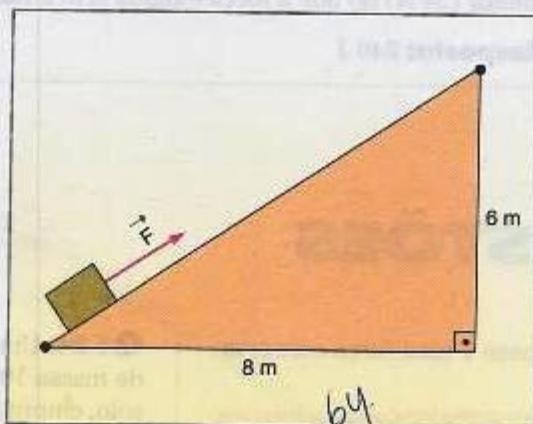
$$\mathcal{E}_{A,B} = -160 \text{ J} \therefore |\mathcal{E}| = 160 \text{ J}$$

Resposta: 160 J



A 26

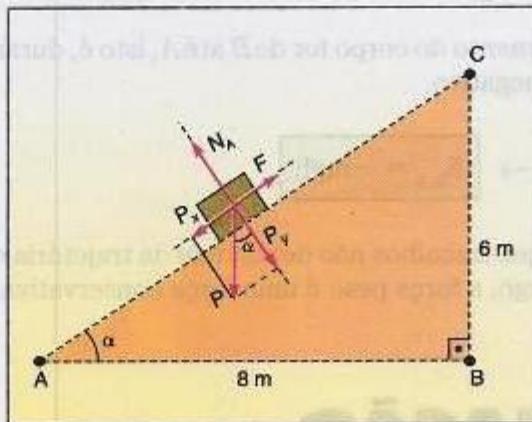
Um corpo de massa 4 kg deve ser elevado da base ao topo do plano inclinado da figura abaixo.



Supondo que o atrito seja desprezível, qual o trabalho realizado por \vec{F} , paralela ao plano, para que o bloco suba com velocidade constante? Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Resolução:

Isolando as forças, temos:

• Cálculo de \overline{AC}

$$\overline{AC}^2 = \overline{AB}^2 + \overline{CB}^2 \rightarrow d^2 = 8^2 + 6^2 \rightarrow d = 10 \text{ m}$$

$$\text{Logo, } \sin \alpha = \frac{6}{10} = \frac{3}{5} \text{ e } \cos \alpha = \frac{8}{10} = \frac{4}{5}.$$

• Cálculo de P_x

$$P_x = P \sin \alpha = mg \cdot \sin \alpha = 4 \cdot 10 \cdot \frac{3}{5} = 24 \text{ N}$$

Como o corpo sobe com velocidade constante, temos: $F = P_x = 24 \text{ N}$

Portanto:

$$\mathcal{W} = Fd = 24 \cdot 10 = 240 \text{ J}$$

Se uma pessoa suspendesse o corpo verticalmente sem usar a rampa, o trabalho que ela deveria realizar seria o da força peso multiplicado pela distância vertical BC.

$$\mathcal{W} = Ph = mgh = 4 \cdot 10 \cdot 6 = 240 \text{ J}$$

A vantagem do plano inclinado é que a força utilizada para elevar o corpo é menor (24 N) do que a força exigida sem a rampa (40 N).

Resposta: 240 J

QUESTÕES

Q118 Por que o peso é uma força conservativa?

Porque é uma força cujo trabalho independe da trajetória.

Q119 Um garoto abandona uma pedra de 0,4 kg do alto de uma torre de 25 m de altura. Dado $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule o trabalho realizado pela força peso até a pedra atingir o solo. 100 J

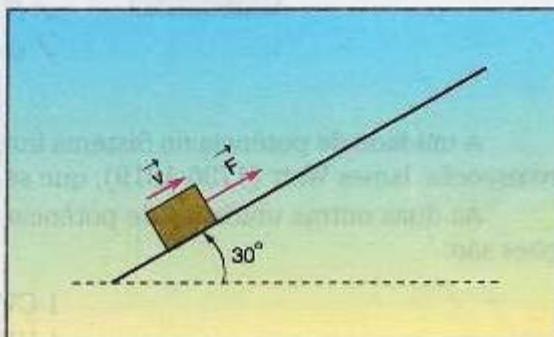
Q120 Uma pessoa arrasta um saco de areia de massa 10 kg a uma distância de 8 m sobre o solo, empregando para tanto uma força horizontal de 90 N. A seguir, ergue o saco a uma altura de 1,5 m para colocá-lo sobre um muro. Sabendo que $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule o trabalho total realizado pela pessoa. 870 J

- Q121** (Fuvest-SP) Uma formiga caminha com velocidade média de 0,20 cm/s. Determine:
 a) a distância que ela percorre em 10 min **1,2 m**
 b) o trabalho que ela realiza sobre uma folha de 0,2 g quando transporta essa folha de um ponto *A* para outro, *B*, situado 8,0 m acima de *A*. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$. **$1,6 \cdot 10^{-2} \text{ J}$**

- Q122** Calcule o trabalho desenvolvido por uma pessoa de 60 kg de massa quando sobe, com velocidade constante, uma escada de 50 degraus de 20 cm de altura cada um. **6 000 J**

- Q123** Um naufrago, de massa 60 kg, é retirado do oceano por meio de uma corda que pende de um helicóptero até uma altura de 18 m, numa direção vertical. A aceleração de subida do naufrago vale $1,2 \text{ m/s}^2$. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.
 a) Qual o trabalho realizado pelo helicóptero sobre o naufrago? **12 096 J**
 b) Qual o trabalho realizado pela força peso sobre o naufrago? **-10 800 J**

- Q124** (Unesp-SP) Na figura, sob a ação da força de intensidade $F = 2\text{N}$, constante, paralela ao plano, o bloco percorre 0,8 m ao longo do plano com velocidade constante. Admite-se $g = 10 \text{ m/s}^2$, despreza-se o atrito e são dados: $\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = 0,5$ e $\cos 120^\circ = -0,5$.



Determine:
 a) a massa do bloco **0,4 kg**
 b) o trabalho realizado pelo peso do bloco, nesse percurso **-1,6 J**

POTÊNCIA

Consideremos duas pessoas que realizam o mesmo trabalho.

Se uma delas leva um tempo menor que a outra para a realização desse trabalho, tem de fazer um esforço maior e, portanto, dizemos que desenvolveu uma *potência* maior.

Vejamos dois casos para exemplificar.

- ✓ Um carro é mais potente que outro quando “arranca” mais rapidamente, isto é, atinge uma grande velocidade num intervalo de tempo menor.
- ✓ Um aparelho de som é mais potente que outro quando transforma mais energia elétrica em sonora num menor intervalo de tempo.

Uma máquina é caracterizada não pelo trabalho que efetua, mas pelo trabalho que pode efetuar em determinado tempo; daí a noção de potência.

Define-se como potência média o quociente do trabalho desenvolvido por uma força c o tempo gasto em realizá-lo.

Sua expressão matemática é:

$$P_{\text{ot}} = \frac{\mathcal{E}}{\Delta t}$$

Efetuando algumas transformações, podemos escrever:

Em que:

- ✓ P_{ot} é a potência média
- ✓ \mathcal{E} é o trabalho realizado
- ✓ Δt é o intervalo de tempo
- ✓ F é a força
- ✓ v_m é a velocidade média

$$P_{\text{ot}} = \frac{Fd}{\Delta t} = Fv_m$$

Quando o tempo gasto na realização de um trabalho é muito pequeno ($\Delta t \rightarrow 0$), fica caracterizada a potência instantânea. Nesse caso, temos:

Em que:

$$P_{\text{int}} = Fv$$

- ✓ P_{int} é a potência instantânea
- ✓ F é a força
- ✓ v é a velocidade instantânea

A unidade de potência no Sistema Internacional é o watt, em homenagem ao engenheiro escocês James Watt (1736-1819), que se indica pela letra W.

As duas outras unidades de potência são o cavalo-vapor e o *horse-power*, cujas relações são:

$$1 \text{ CV} \approx 735 \text{ W}$$

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$$

Como o watt é uma unidade de potência muito pequena, mede-se a potência em unidades de 1 000 W, denominadas quilowatts.

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$$

Quando recebemos a informação de que um veículo é 1 300, 1 600, 2.0, que tem 125 cc e 400 cc, esses números representam a potência de um carro ou moto; indicam o deslocamento em volume, efetuado pelos pistões, dentro dos cilindros do motor. Indicam, portanto, o trabalho realizado por eles dentro dos cilindros.

APLICAÇÃO

A 27

Calcule a potência média desenvolvida por uma pessoa que eleva a 20 m de altura, com velocidade constante, um corpo de massa 5 kg em 10 s. Dado: $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Resolução:

$$P_m = \frac{\mathcal{E}}{\Delta t} \rightarrow P_m = \frac{mgh}{\Delta t} \rightarrow P_m = \frac{5 \cdot 10 \cdot 20}{10} \rightarrow P_m = 100 \text{ W}$$

Resposta: 100 W

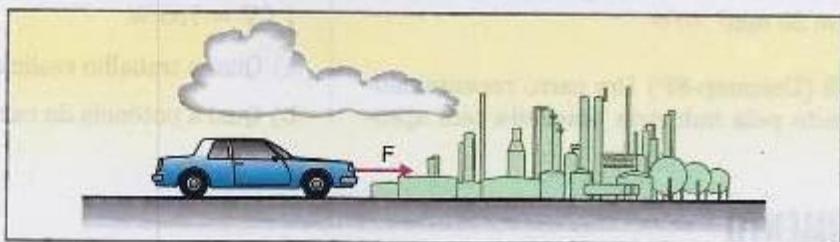
A 28

Um carro de 1 000 kg pode atingir 30 m/s em 10 s, a partir do repouso. Despreze os atritos.

- Qual a potência média do motor desse carro?
- Qual a potência do carro no instante 10 s?

Resolução:

a) Supondo que o carro desenvolva uma força F , temos:



Cálculo do trabalho:

$$v = v_0 + at \rightarrow 30 = 0 + a \cdot 10 \rightarrow a = 3 \text{ m/s}^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta s \rightarrow 30^2 = 0^2 + 2 \cdot 3 \cdot \Delta s \rightarrow \Delta s = 150 \text{ m}$$

$$F = ma \rightarrow F = 1000 \cdot 3 \rightarrow F = 3000 \text{ N}$$

$$\mathcal{E} = F \cdot \Delta s \rightarrow \mathcal{E} = 3000 \cdot 150 \rightarrow \mathcal{E} = 4,5 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Cálculo da potência média:

$$P_{\text{av}} = \frac{\mathcal{E}}{\Delta t} \rightarrow P_{\text{av}} = \frac{4,5 \cdot 10^6}{10} \rightarrow P_{\text{av}} = 4,5 \cdot 10^5 \text{ W}$$

b) $P_{\text{av}} = Fv \rightarrow P_{\text{av}} = 3000 \cdot 30 \rightarrow P_{\text{av}} = 9 \cdot 10^4 \text{ W}$

Respostas: a) $4,5 \cdot 10^6 \text{ J}$; b) $9 \cdot 10^4 \text{ W}$

QUESTÕES

Q125 A potência de uma máquina é de 300 J/s. O que significa esse número?

Significa que em 1 s a máquina realiza um trabalho de 300 J.

Q126 A potência necessária para um operário levar uma lata de cimento do 2º para o 5º andar de um prédio depende da velocidade com que a lata é transportada? Sim

Q127 Um homem de massa igual a 80 kg sobe um morro cuja elevação total é de 20 m, em 10 s. Qual é a potência média que ele desenvolve? Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$. **1600 W**

Q128 Uma máquina A eleva verticalmente um corpo com 1 kg de massa a 12 m de altura, em 4 s, com velocidade constante. Outra máquina, B, puxa, em uma superfície horizontal lisa, um corpo com massa igual a 2 kg, inicialmente em repouso, até a velocidade de 8 m/s, em 2 s. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

a) Qual o trabalho total realizado pelas máquinas A e B? **120 J e 64 J**

b) Qual a potência média desenvolvida pela máquina A? E pela máquina B? **30 W e 32 W**

c) Se as máquinas tivessem que realizar um mesmo trabalho, qual delas o faria num intervalo de tempo menor? **a máquina B**

Q129 (PUC-SP) Uma pessoa de massa igual a 80 kg sobe uma escada de 20 degraus, cada um com 20 cm de altura.

a) Calcule o trabalho que a pessoa realiza contra a gravidade. **3200 J**

b) Se a pessoa subir a escada em 20 s, ela se cansará mais do que se subir em 40 s. Como se explica isso, já que o trabalho realizado é o mesmo nos dois casos? **O trabalho é o mesmo mas a potência exigida é maior quanto mais rápido a pessoa subir.**

Q130 Um ponto material tem massa de 4 kg e velocidade inicial de 12 m/s. Sabendo que sobre ele passa a agir uma força de intensidade 20 N, durante 9 s, responda:

a) Qual o trabalho realizado por essa força? **6210 J**

b) Qual a potência desenvolvida? **690 W**

Q131 (UFPE) Qual a potência média, em watts, que deverá ter um conjunto motor/bomba para elevar 1 000 t de água até a altura de 6,0 m em 20 min? **50 W**

Q132 (Unicamp-SP) Um carro recentemente lançado pela indústria brasileira tem apro-

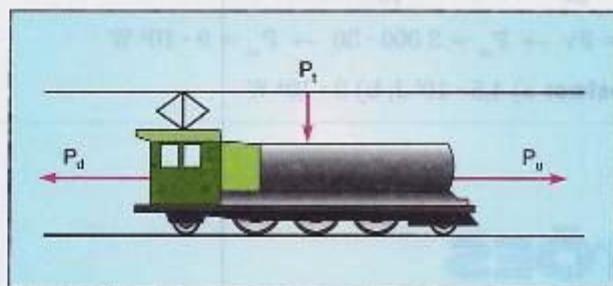
ximadamente 1 500 kg e pode acelerar, do repouso até uma velocidade de 108 km/h, em 10 s (fonte: *Quatro Rodas*, agosto/92). Adote 1 CV = 750 W.

- Qual o trabalho realizado nesta aceleração? $\bar{\epsilon}_k = 6,75 \cdot 10^5$ J
- Qual a potência do carro em CV? **90 CV**

RENDIMENTO

Imaginemos uma máquina qualquer, que deve realizar determinado trabalho. Para que um trem elétrico funcione, por exemplo, devemos fornecer a ele uma potência, denominada *potência elétrica* ou *potência total*. Por outro lado, o trem desenvolve uma *potência útil*, que provoca o seu deslocamento.

A potência útil é sempre menor que a total, pois uma parte da potência total é utilizada (perdida) para vencer as resistências passivas, representadas principalmente pelo atrito. A parcela da potência total perdida (dissipada) é denominada *potência dissipada* ou *potência perdida*.



A relação entre essas grandezas é:

$$P_t = P_u + P_d$$

Em que:

- ✓ P_t é a potência total
- ✓ P_u é a potência útil
- ✓ P_d é a potência dissipada

Para qualificar uma máquina quanto à sua eficiência, definimos a grandeza rendimento (η) como sendo o quociente entre a potência útil e a potência total recebida.

$$\eta = \frac{P_u}{P_t}$$

o que se aproveita
o total recebido

Observações:

- 1º) Como o rendimento é o quociente entre duas grandezas de mesma unidade, ele é adimensional, isto é, não tem unidade.
- 2º) O rendimento pode ser expresso em porcentagem.
- 3º) O rendimento é sempre menor do que 1 e maior ou igual a zero, isto é, $0 \leq \eta < 1$.

APLICAÇÃO

A 29

O rendimento de uma máquina é de 80%. Sabendo que ela realiza um trabalho de 1 000 J em 20 s, determine a potência total consumida pela máquina.

Resolução:

O trabalho realizado pelo motor é útil; logo:

$$P_u = \frac{E_u}{\Delta t} \rightarrow P_u = \frac{1000}{20} \rightarrow P_u = 50 \text{ W}$$

Para o cálculo da potência total, temos:

$$\eta = \frac{P_u}{P_t} \rightarrow 0,8 = \frac{50}{P_t} \rightarrow P_t = 62,5 \text{ W}$$

Resposta: 62,5 W

A 30

O motor de um carro tem potência útil 80 HP. Qual a força aplicada no carro quando ele se desloca com velocidade constante de 90 km/h?

Resolução:

Como 1 HP = 746 W, a potência útil do carro é dada por:

$$P_u = 80 \cdot 746 = 59\,680 \text{ W}$$

Sendo $v = 90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}$ a velocidade constante do carro, temos:

$$P_u = Fv \rightarrow 59\,680 = F \cdot 25 \rightarrow F = 2\,387,2 \text{ N}$$

A força de intensidade 2 387,2 N é a força de atrito exercida pelo chão sobre as rodas. Essa força tem o mesmo sentido do movimento do carro, realizando um trabalho positivo sobre ele.

Como o carro se movimenta com velocidade constante, a força resultante que age sobre ele é nula. Logo, existe uma força de módulo 2 387,2 N que age em sentido contrário ao movimento do carro. Essa força é devida à resistência do ar sobre o carro.



Resposta: $F_{at} = 2\,387,2 \text{ N}$ e $F_{ar} = 2\,387,2 \text{ N}$

QUESTÕES

Q133 Um motor de potência total 800 W desenvolve uma potência útil de 600 W. Determine o rendimento em porcentagem. **75%**

Q134 Que potência absorve um motor de 40 CV, trabalhando em plena carga, se o seu rendimento é 0,7? **12 CV**

Q135 Um dispositivo consome 1 000 W realizando um trabalho de 3 200 J em 4 s. Determine o rendimento desse dispositivo. 80%

Q136 Em quanto tempo um motor de potência útil igual a 125 W, funcionando como elevador, eleva a 10 m de altura com velocidade constante um corpo de peso igual a 50 N? 4 s

Q137 Numa casa, a água é retirada de um poço de 12 m de profundidade com auxílio de um motor de 6 kW. Determine o rendimento do motor, se para encher uma caixa de 9 000 ℥ decorre um tempo de 1 h. Dados: $g = 10 \text{ m/s}^2$ e $\mu_{\text{água}} = 1 \text{ kg/ℓ}$. 5%

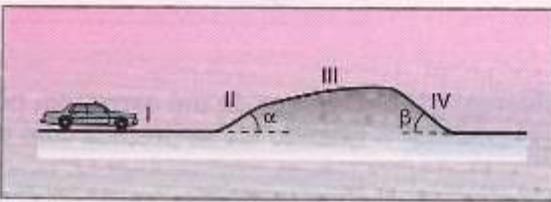
Q138 (UFGO) Cada turbina de uma hidrelétrica recebe cerca de 10^3 m^3 de água por segundo, numa queda de 100 m. Se cada turbina assegura uma potência de 700 000 kW, qual é a perda percentual de energia nesse processo? 30%

Q139 (Fuvest-SP) Um automóvel com massa de 1 000 kg percorre, com velocidade cons-

tante $v = 20 \text{ m/s}$ (ou 72 km/h), uma estrada (ver figura) com dois trechos horizontais (I e III), um em subida (II) e um em descida (IV). Nos trechos horizontais o motor do automóvel desenvolve uma potência de 30 kW para vencer a resistência do ar, que pode ser considerada constante ao longo de todo o trajeto percorrido. Suponha que não há outras perdas por atrito. Use $g = 10 \text{ m/s}^2$. São dados: $\sin \alpha = 0,10$ e $\sin \beta = 0,15$.

Determine:

- o valor, em newtons, da componente paralela a cada trecho da estrada das forças F_v , F_u e F_{ar} aplicadas pela estrada ao automóvel nos trechos I, II e IV, respectivamente $F_v = 1\ 500 \text{ N}; F_u = 2\ 500 \text{ N}; F_{\text{ar}} = 0$
- o valor, em kW, da potência P_u que o motor desenvolve no trecho II 50 kW



ENERGIA CINÉTICA

A água que corre, o vento que sopra, um corpo que cai, a bala que sai da boca de um canhão etc. têm energia, pois podem produzir trabalho quando encontram algum obstáculo.

A água corrente pode acionar uma turbina; o vento impulsiona barcos à vela, faz girar moinhos; a bala de um canhão derruba prédios.

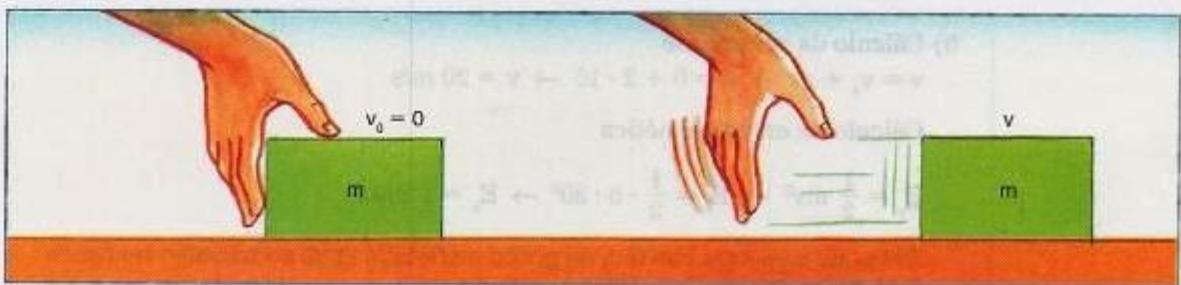
Esse tipo de energia que os corpos têm devido ao movimento é denominado *energia cinética*.

A energia cinética de um corpo resulta de uma transferência de energia do sistema que põe o corpo em movimento para o corpo. Ela mede o trabalho que o corpo é capaz de realizar sobre o exterior, devido ao seu estado de movimento.

Considere, por exemplo, um corpo de massa m , em repouso sobre um plano horizontal liso, que, sob a ação da força exercida pela pessoa, adquire velocidade v após um certo deslocamento.



PhotoDisc



O trabalho realizado pela pessoa nesse deslocamento é transferido para o corpo sob a forma de energia de movimento (energia armazenada no corpo).

Essa energia devida ao movimento é chamada *energia cinética* e é dada por:

$$\zeta = Fd \rightarrow \zeta = mad \quad \textcircled{1}$$

Utilizando a equação de Torricelli, temos:

$$v^2 = 0 + 2ad \rightarrow v^2 = 2ad \rightarrow d = \frac{v^2}{2a} \quad \textcircled{2}$$

Substituindo \textcircled{2} em \textcircled{1}, temos:

$$\zeta = ma \cdot \frac{v^2}{2a} \rightarrow \zeta = \frac{mv^2}{2} \rightarrow E_c = \frac{1}{2} mv^2$$

Em que:
 E_c = energia cinética

A unidade de energia cinética é a mesma do trabalho, isto é, o joule (J).

APLICAÇÃO

A31

Consideremos um ponto material de massa 6 kg, inicialmente em repouso sobre um plano horizontal liso. No instante $t = 0$, passa a agir sobre o ponto material uma força $F = 12 \text{ N}$, durante 10 s.

- Qual o trabalho realizado por F ?
- Qual a energia cinética do ponto material no instante 10 s?

Resolução:

a) Cálculo da aceleração

$$F = ma \rightarrow 12 = 6a \rightarrow a = 2 \text{ m/s}^2$$

Cálculo do deslocamento

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

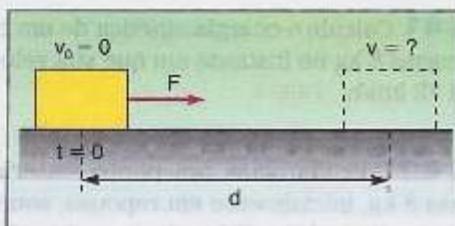
$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$d = 0 + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 10^2$$

$$d = 100 \text{ m}$$

Cálculo do trabalho

$$\zeta = F \cdot d \rightarrow \zeta = 12 \cdot 100 \rightarrow \zeta = 1200 \text{ J}$$



b) Cálculo da velocidade

$$v = v_0 + at \rightarrow v = 0 + 2 \cdot 10 \rightarrow v = 20 \text{ m/s}$$

Cálculo da energia cinética

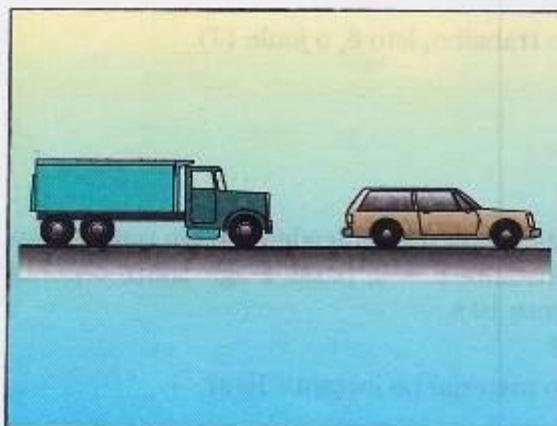
$$E_c = \frac{1}{2} mv^2 \rightarrow E_c = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot 20^2 \rightarrow E_c = 1200 \text{ J}$$

Note que a energia cinética do ponto material é igual ao trabalho realizado pela força \vec{F} para aumentar a velocidade do ponto material de zero até 20 m/s.

Respostas: a) 1 200 J; b) 1 200 J

QUESTÕES

Q140 Os veículos da figura têm mesma velocidade. Qual deles possui energia cinética maior? Por quê? O caminhão, pois possui maior massa.



Q141 Calcule a energia cinética de um corpo de massa 8 kg no instante em que sua velocidade é 72 km/h. 1 600 J

Q142 Consideremos um ponto material de massa 8 kg, inicialmente em repouso, sobre um plano horizontal liso. Sabendo que sobre ele passa a agir uma força horizontal de intensidade 32 N, calcule:

- o trabalho realizado pela força horizontal durante 10 s 6 400 J
- a energia cinética do ponto material no instante 16 s 16 384 J

Q143 Lança-se um corpo de massa 10 kg verticalmente para cima, com velocidade 30 m/s. Adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule a energia cinética do corpo no instante 5 s. 2 000 J

Q144 Um corpo de massa 6 kg efetua um movimento circular uniforme com freqüência 4 Hz segundo uma circunferência de raio 100 cm. Despreze o atrito e adote $\pi^2 = 10$.

- Qual a intensidade da força centrípeta que age sobre o corpo? 3 840 N
- Qual a energia cinética do corpo? 1 920 J
- Qual o trabalho realizado pela força centrípeta em 5 voltas? zero

Q145 (Cefet-MG) Um corpo percorre uma trajetória circular de raio 0,50 m, com energia cinética constante igual a 20 J. Determine:

- a força resultante sobre o corpo 80 N
- a direção e o sentido dessa força

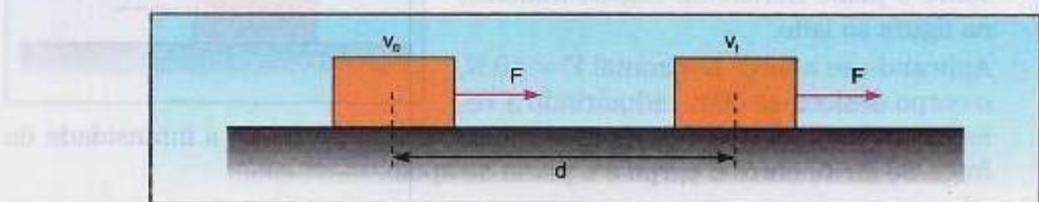
resposta no final do livro

Q146 (Unesp-SP) Um corpo de massa 1,0 kg é lançado obliquamente, a partir do solo, sem girar. O valor da componente vertical da velocidade, no instante do lançamento, é 2,0 m/s e o valor da componente horizontal é 3,0 m/s. Supondo que o corpo esteja sujeito exclusivamente à ação da gravidade, determine sua energia cinética:

- no instante do lançamento 6,5 J
- no ponto mais alto da trajetória 2 J

TEOREMA DA ENERGIA CINÉTICA

Consideremos um corpo de massa m que passa da velocidade v_0 para a velocidade v sob a ação da força resultante F num deslocamento d .



Essa força produzirá no corpo uma aceleração a , tal que:

$$\zeta = F \cdot d = mad \quad ①$$

Da equação de Torricelli, temos:

$$v^2 = v_0^2 + 2ad \rightarrow ad = \frac{v^2 - v_0^2}{2} \quad ②$$

Substituindo ② em ①, vem:

$$\zeta = m \left(\frac{v^2 - v_0^2}{2} \right) \rightarrow \zeta = \frac{1}{2} mv^2 - \frac{1}{2} mv_0^2$$

$$\zeta = E_{cr} - E_{ci}$$

Em que:

$$\frac{1}{2} mv^2 = E_{cr} = \text{energia cinética final}$$

$$\frac{1}{2} mv_0^2 = E_{ci} = \text{energia cinética inicial}$$

Daí podemos enunciar:

O trabalho realizado pela força resultante que atua sobre um corpo é igual à variação da energia cinética desse corpo.

Esse teorema é de grande utilidade em Mecânica. Em primeiro lugar, permite calcular a velocidade de uma partícula a partir de uma velocidade conhecida e do cálculo do trabalho das forças aplicadas. A determinação da velocidade é um dos objetivos da Cinemática, aqui realizado por meio da grandeza trabalho.

Em segundo lugar, permite também calcular o trabalho de certos tipos de força a partir de uma variação de velocidade da partícula. Consequentemente, permite medir os diferentes tipos de energia transferidos para a partícula.

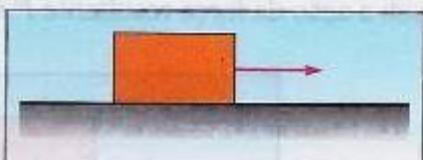
Aplicação

LEZERMA DA ENERGIA CINÉTICA

A32

Um corpo de massa 2 kg está em repouso sobre o plano horizontal rugoso indicado na figura ao lado.

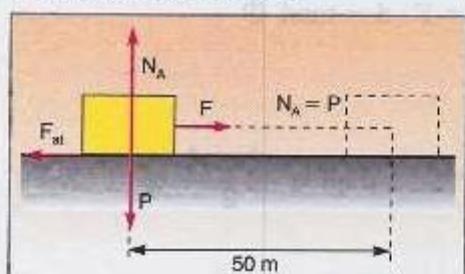
Aplicando-se a força horizontal $F = 40 \text{ N}$, o corpo desloca-se 50 m, adquirindo a velocidade de 30 m/s ao fim desse deslocamento. Determine a intensidade da força de atrito entre o corpo e o plano de apoio.



Resolução:

Dados: $m = 2 \text{ kg}$; $v_0 = 0$; $F = 40 \text{ N}$; $d = 50 \text{ m}$; $v = 30 \text{ m/s}$

Isolando o corpo, temos:



O trabalho da força resultante é dado por:

$$\xi_R = E_{cr} - E_{ci}$$

$$\xi_R = \frac{1}{2} m \cdot v^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_0^2$$

$$\xi_R = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 30^2 - \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 0^2$$

$$\xi_R = 900 \text{ J}$$

Portanto:

$$\xi_R = F_s \cdot d \rightarrow \xi_R = (F - F_{at}) \cdot d \rightarrow 900 = (40 - F_{at}) \cdot 50 \rightarrow F_{at} = 22 \text{ N}$$

Resposta: 22 N

QUESTÕES

Q147 Um corpo de massa 10 kg realiza um movimento retílineo sobre um plano perfeitamente liso. Qual o trabalho realizado por uma força que faz variar a velocidade do corpo de 36 km/h a 90 km/h? 2 625 J

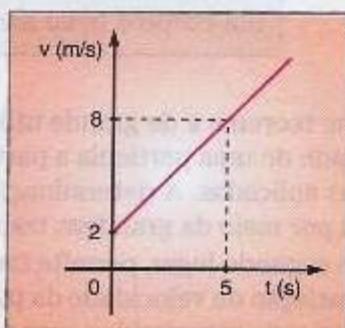
Q148 Determine o trabalho realizado pelo motor de um carro de massa 1 400 kg para alcançar a velocidade de 64 km/h partindo do repouso. 157 500 J

Q149 (FMU-SP) Um corpo de massa 5 kg está parado sobre um plano horizontal, sem atrito. Aplica-se ao corpo uma força de 40 N paralela ao plano. Calcule:

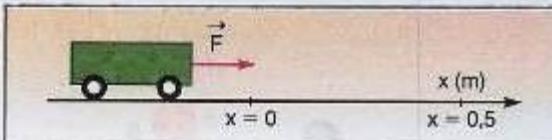
- a) a aceleração do corpo 8 m/s^2
- b) a velocidade do corpo depois de 4 s 32 m/s
- c) a distância percorrida pelo corpo em 4 s 64 m
- d) o trabalho da força depois de 4 s $2 560 \text{ J}$

Q150 Um corpo de 4 kg se desloca ao longo de uma reta. Sua velocidade varia conforme mostra o gráfico.

Qual o trabalho realizado pela força resultante para aumentar sua energia cinética no intervalo de 0 a 5 s? 120 J



Q151 (EFOA-MG) Um carrinho, apoiado sobre uma superfície plana e horizontal, está sendo puxado pela força \vec{F} , de módulo 4,0 N, que atua na mesma direção de deslocamento do carrinho, como indicado na figura.



- Qual é o trabalho realizado pela força \vec{F} , quando o carrinho se desloca de $x = 0$ para $x = 0,5\text{ m}$? **2 J**
- Qual será a energia cinética do carrinho ao passar pela posição $x = 0,5\text{ m}$, se passou por $x = 0$ com energia cinética de 3,0 J? (Despreze possíveis atritos.) **5 J**

Q152 (ITA-SP) Uma partícula, sujeita a uma força constante de módulo 2,0 N, move-se sobre uma reta. A variação da energia cinética da partícula entre dois pontos, A e B , é igual a 3,0 J. Calcule a distância entre A e B . **1,5 m**

Q153 Um veículo de massa 840 kg percorre uma estrada reta e horizontal a 72 km/h. Subitamente, são aplicados os freios reduzindo a velocidade para 36 km/h. Calcule o trabalho da força exercida pelos freios nessa variação de velocidade. **126 000 J**

Q154 Um carro de massa 1 000 kg tem velocidade de 72 km/h quando entra numa estrada rugosa onde o coeficiente de atrito é igual a 0,2. Ache a velocidade do carro quando o trabalho realizado pela força de atrito tem módulo 192 000 J. **4 m/s**

Q155 (Fuvest-SP) Um bloco de 1,0 kg é posto a deslizar sobre uma mesa horizontal com uma energia cinética de 2,0 J. Devido ao atrito entre o bloco e a mesa, ele pára após percorrer a distância de 1,0 m. Pergunta-se:

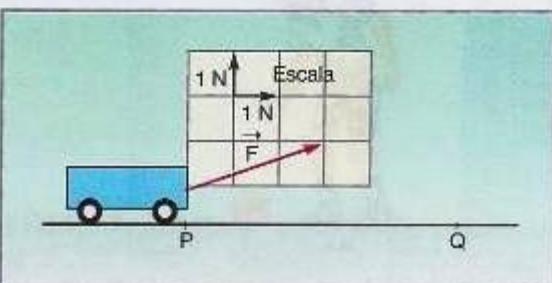
- Qual o coeficiente de atrito, suposto constante, entre a mesa e o bloco? **0,2**
- Qual o trabalho efetuado pela força de atrito?

-2 J

Q156 Um projétil de massa 10 g, com velocidade de 400 m/s dirigida horizontalmente, atinge uma placa de madeira e penetra 20 cm nela. Calcule o módulo da força média de resistência oposta pela madeira ao movimento da bala.

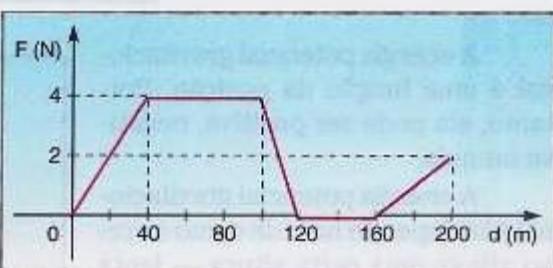
4 000 N

Q157 (Vunesp) Um carrinho desloca-se em linha reta sobre uma superfície plana e horizontal, à custa da força \vec{F} constante, indicada em escala na figura.



- Qual é o trabalho realizado pela força \vec{F} , quando o carrinho se desloca do ponto P ao ponto Q , distante 2,0 m de P ? **6 J**
- Se tinha energia cinética de 4,0 J quando passou por P , dirigindo-se para Q , que energia cinética terá ao passar por Q ? (Despreze possíveis atritos.) **10 J**

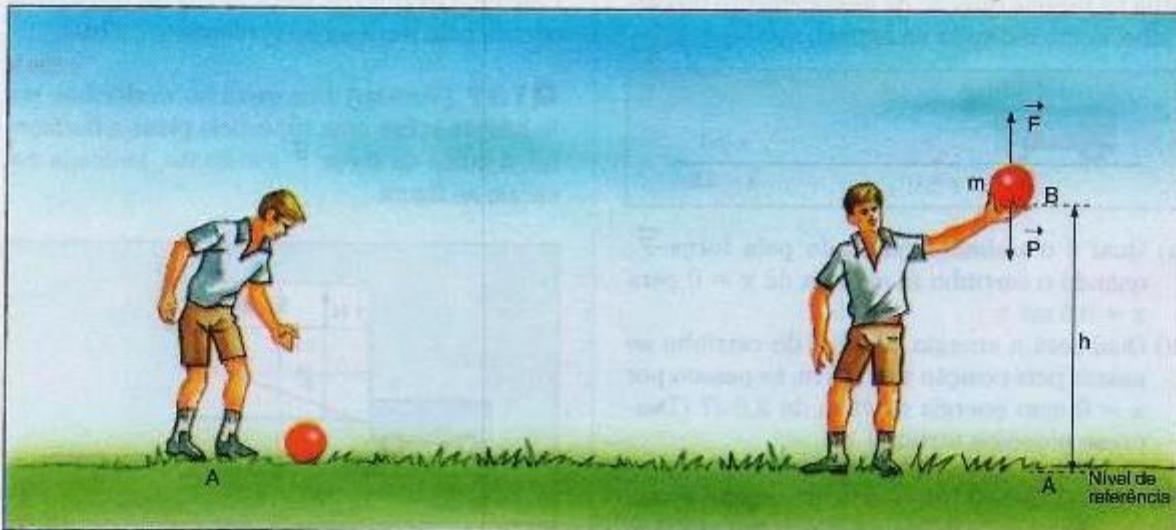
Q158 (UFPel-RS) Uma força de direção e sentido constantes tem seu módulo dado, em função da distância percorrida, pelo gráfico a seguir. Sabendo-se que a força atuou em uma partícula de massa 2,0 kg e que esta partiu do repouso, qual a velocidade da partícula após percorridos 200 m? **20 m/s**



ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL

A energia potencial gravitacional é uma espécie de energia capaz de existir em estado de reserva. Ela é associada a um corpo devido à posição que ele ocupa em relação a um nível de referência, como, por exemplo, a superfície da Terra.

Consideremos um corpo de massa m sendo erguido, com velocidade constante, do ponto A até o ponto B num local onde a aceleração da gravidade é igual a g .



Se, em seguida, o corpo for abandonado no ponto B , ele cairá com velocidade cada vez maior, isto é, sua energia cinética vai aumentando.

Isso significa que, na posição B , o corpo possui outra forma de energia que, durante a queda, vai se transformando em energia cinética.

A energia armazenada pelo corpo devido à sua posição em relação ao nível de referência (por exemplo, a superfície da Terra) é denominada *energia potencial gravitacional*.

A energia do corpo vem da pessoa que, ao erguer o corpo para colocá-lo na posição B , exerce uma força motriz e realiza um trabalho, transferido para o corpo sob a forma de energia potencial gravitacional.

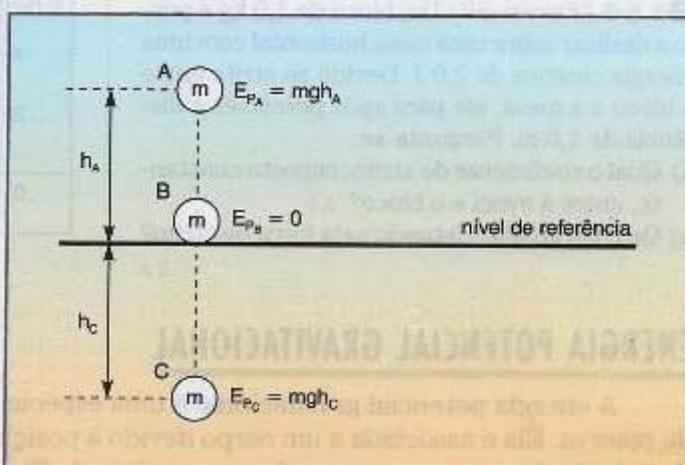
Essa energia é numericamente igual ao trabalho no deslocamento \overline{AB} . Logo:

$$\zeta = Fh \rightarrow E_p = Ph \rightarrow E_{p_{\text{grav}}} = mgh$$

A energia potencial gravitacional é uma função da posição. Portanto, ela pode ser positiva, negativa ou nula.

A energia potencial gravitacional não depende nem de como o corpo atinge uma certa altura — lenta ou rapidamente — nem do tipo de trajetória. Depende, sim, das posições inicial e final do corpo em relação a um nível de referência.

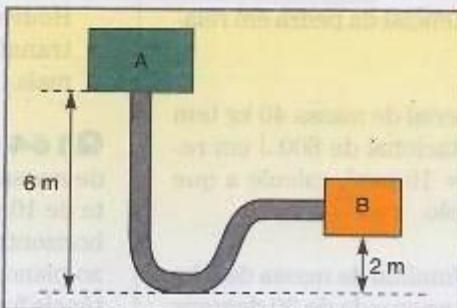
Costuma-se atribuir à superfície da Terra uma energia potencial nula. Essa escolha é arbitrária.



APLICAÇÃO

A 33

Um reservatório de água *A*, contendo $7 \cdot 10^3$ kg de água, alimenta uma turbina *B* por meio de um tubo, conforme indica a figura abaixo. Determine a energia que pode ser transferida à turbina esvaziando-se o reservatório. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.



Resolução:

A energia que pode ser transferida à turbina é a diferença entre as energias potenciais da água em *A* e *B*.

$$E_{p_A} = mgh_A \rightarrow E_{p_A} = 7 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 6 \rightarrow E_{p_A} = 4,2 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$E_{p_B} = mgh_B \rightarrow E_{p_B} = 7 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 2 \rightarrow E_{p_B} = 1,4 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Portanto:

$$\Delta E = E_{p_A} - E_{p_B} \rightarrow \Delta E = 4,2 \cdot 10^5 - 1,4 \cdot 10^5 \rightarrow \Delta E = 2,8 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Resposta: $2,8 \cdot 10^5 \text{ J}$

QUESTÕES

Q159 Em relação à Terra, que tipos de energia possui:

a) um avião em voo?

b) a água de uma barragem?



Carol Stock Photo

energia cinética e energia potencial gravitacional



energia potencial gravitacional

Q160 Uma garota ergue verticalmente uma pedra de 200 N, a uma velocidade constante de 2 m/s, até uma altura de 8 m em relação ao solo. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- Qual o valor da força desenvolvida pela garota? **200 N**
- Qual o trabalho realizado pela garota? O que ocorre com esse trabalho? **1 600 J. Transforma-se em energia potencial gravitacional**
- Calcule a energia potencial da pedra em relação ao solo. **1 600 J**

Q161 Um ponto material de massa 40 kg tem energia potencial gravitacional de 800 J em relação ao solo. Dado $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule a que altura se encontra do solo. **2 m**

Q162 Um bloco de alumínio de massa de 5 kg é colocado no alto de uma escada de 30 degraus de 25 cm de altura cada um. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$. Determine a energia potencial do bloco em relação:

- ao solo **375 J**
- ao 20º degrau **125 J**

Q163 (UnB-DF) Um turista foi viajar, levando uma mala de 15 kg e, para chegar ao aeroporto, precisou tomar um ônibus. Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, julgue os itens seguintes.

- Era muito cedo e, no ponto do ônibus, fazia frio. O turista esfregou vigorosamente as palmas das mãos. Nesse caso, houve a realização de trabalho. **certo**
- Em seguida, preocupado com a mala, o turista, parado no ponto de ônibus, segurou-a suspensa (sem contato com o solo) durante 5 min. Nesse período em que o turista segurou a mala em seus braços, não houve a realização de trabalho externo. **certo**

ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA

Energia potencial elástica é a forma de energia que se encontra armazenada em um corpo elástico deformado, como, por exemplo, numa mola comprimida ou distendida, ou numa tira de borracha esticada.

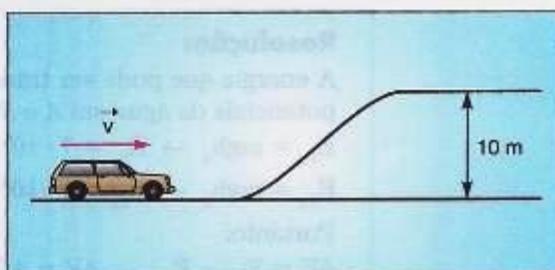
Considere uma pessoa esticando a mola de constante elástica k , indicada na figura.

O trabalho do agente externo no alongamento da mola corresponde à energia que ele transfere para a mola, e essa energia fica armazenada na mola sob a forma de energia potencial elástica.

c) O ônibus chegou e parou em frente ao ponto, a 5 m de distância. O turista, levando a mala, correu uma distância horizontal de 5 m, em 2 s, com velocidade constante, para alcançar o ônibus. Então, foram transferidos 30 J de energia para a mala. **errado**

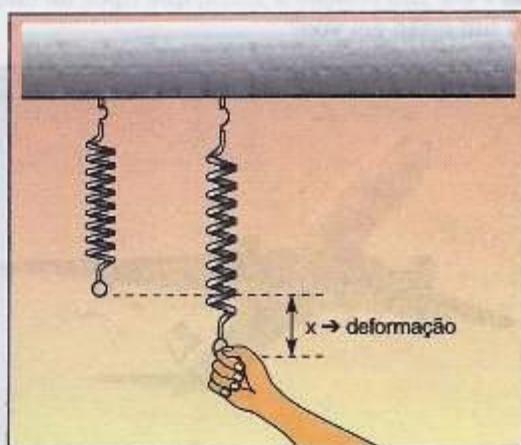
d) Para subir os degraus do ônibus, o turista levantou a mala a uma altura de 0,80 m do solo. Houve, então, a realização de trabalho e a transferência de 120 J de energia para a mala. **certo**

Q164 (UFPel-RS) Um automóvel com 1 000 kg de massa sobe, com velocidade escalar constante de 10 m/s, uma rampa inclinada de 30° com a horizontal e atinge a altura de 10 m em relação ao plano inferior, valendo-se, para tanto, da potência fornecida pelo motor. Com base nessas informações e supondo $g = 10 \text{ m/s}^2$, responda:

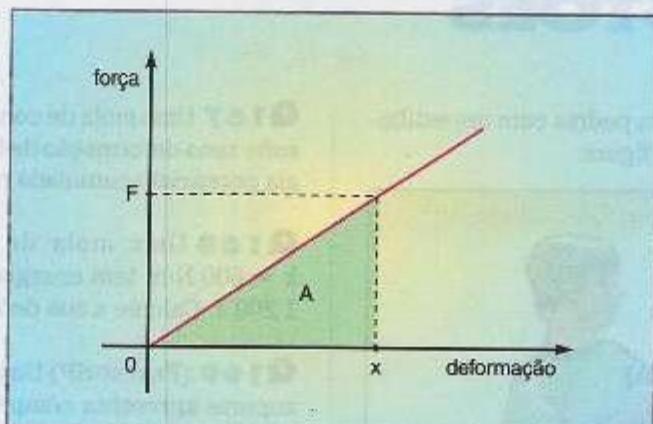


- Qual a variação da energia potencial gravitacional do automóvel? **10⁴ J**
- Qual o trabalho mecânico realizado pela resultante das forças envolvidas na situação enquanto o automóvel sobe a rampa? **nulo**
- Há necessidade de atrito entre as rodas do automóvel e o plano inclinado para que o mesmo atinja o plano superior? **sim**

Justifique suas respostas.



A força externa obedece, até certo limite, à lei de Hooke, cuja representação gráfica é:



A área A é numericamente igual ao trabalho realizado pelo agente externo da deformação x . Logo:

$$A \stackrel{N}{=} \zeta_p = \frac{F \cdot x}{2} = \frac{k \cdot x \cdot x}{2} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Assim:

$$\zeta_{\text{agente externo}} = E_{p_{\text{elástica}}} \rightarrow E_{p_{\text{elástica}}} = \frac{kx^2}{2}$$

A energia potencial elástica, ou de deformação, é uma forma de energia latente que está prestes a se transformar em energia de movimento, se a força externa deixar de existir.

Num revólver de brinquedo, uma força é aplicada sobre uma bolinha para comprimir a mola, que adquire energia potencial elástica.

Ao se apertar o gatilho, a mola se solta e aplica uma força na bolinha, transformando a energia potencial elástica em energia cinética.



APLICAÇÃO

A34

Uma mola de constante elástica $k = 400 \text{ N/m}$ é comprimida 5 cm. Determine sua energia potencial elástica.

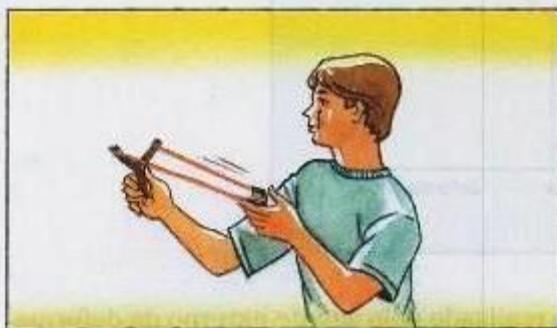
Resolução:

$$E_{p_{\text{elástica}}} = \frac{kx^2}{2} \rightarrow E_{p_{\text{elástica}}} = \frac{400 \cdot (0,05)^2}{2} \rightarrow E_{p_{\text{elástica}}} = 0,5 \text{ J}$$

Resposta: 0,5 J

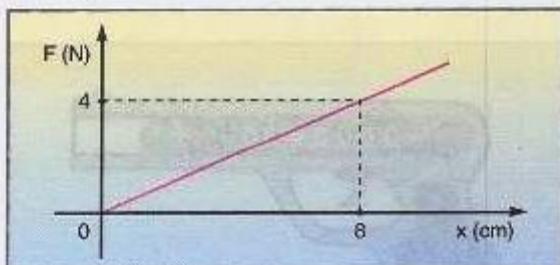
QUESTÕES

Q165 Um garoto atira pedras com um estilingue, conforme indica a figura.



- energia potencial elástica; o garoto que estica a borracha
- Qual a forma de energia armazenada pela borracha? Quem lhe transfere essa energia?
 - Que forma de energia adquire a pedra? Quem lhe transfere essa energia?
- energia cinética; a borracha esticada

Q166 O gráfico representa a intensidade de uma força aplicada numa mola em função da deformação.



Determine:

- a constante elástica da mola 50 N/m
 - a energia ganha pela mola quando $x = 2 \text{ cm}$
- $0,01 \text{ J}$

ENERGIA MECÂNICA

Denomina-se *energia mecânica total* de um corpo a soma das energias cinética e potencial, isto é:

$$E_m = E_c + E_p$$

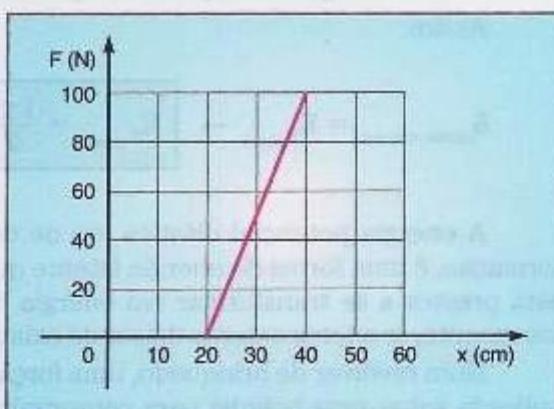
, em que:
 E_m é a energia mecânica
 E_c é a energia cinética
 E_p é a energia potencial

Nessa fórmula, a parcela E_p inclui a energia potencial gravitacional e a energia potencial elástica.

Q167 Uma mola de constante elástica 40 N/m sofre uma deformação de $0,04 \text{ m}$. Calcule a energia potencial acumulada pela mola. $0,032 \text{ J}$

Q168 Uma mola de constante elástica $k = 600 \text{ N/m}$ tem energia potencial elástica de $1\,200 \text{ J}$. Calcule a sua deformação. 2 m

Q169 (Fuvest-SP) Uma mola pendurada num suporte apresenta comprimento igual a 20 cm . Na sua extremidade livre dependura-se um balde vazio, cuja massa é $0,50 \text{ kg}$. Em seguida coloca-se água no balde até que o comprimento da mola atinja 40 cm . O gráfico abaixo ilustra a força que a mola exerce sobre o balde em função do seu comprimento. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.



Determine:

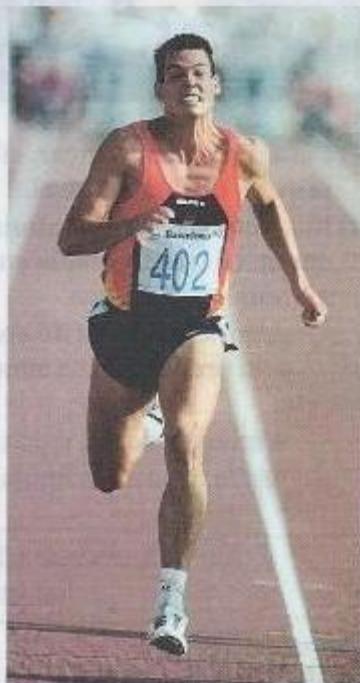
- a massa de água colocada no balde $9,5 \text{ kg}$
- a energia potencial elástica acumulada na mola ao final do processo 10 J

PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

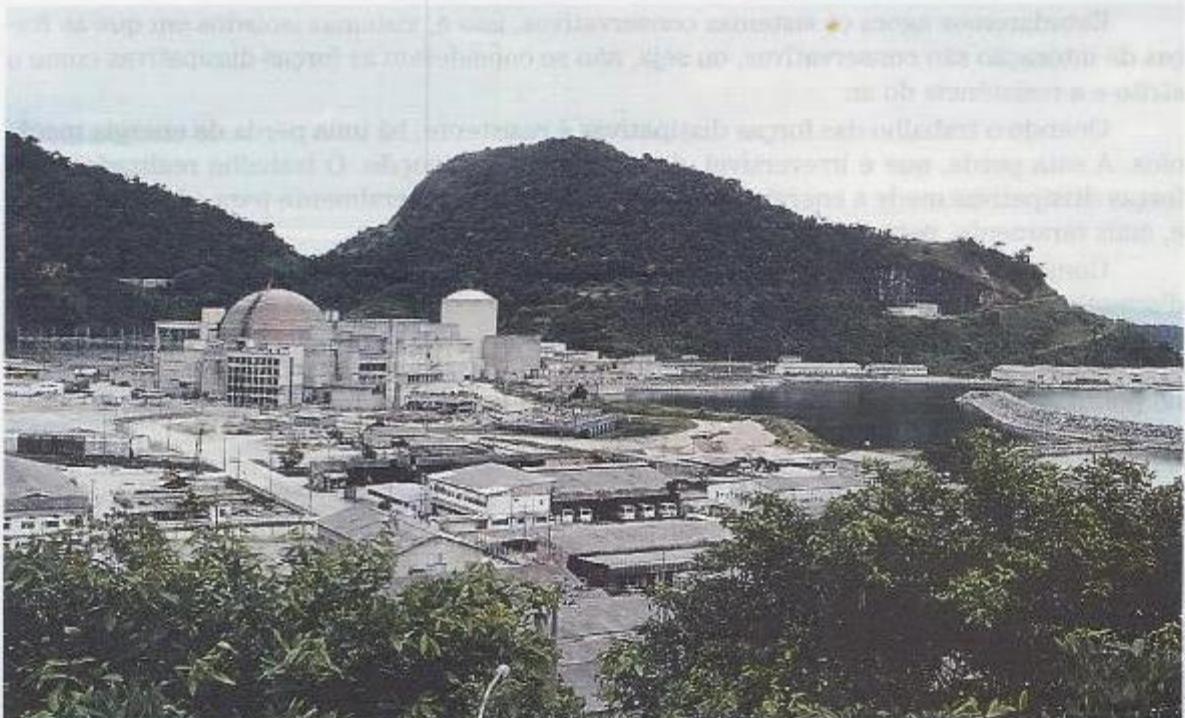
Qualquer movimento ou atividade é realizado através da transformação de um tipo de energia em outro ou em outros, isto é, através da transformação energética (não há criação nem destruição de energia).

Vejamos alguns exemplos:

- 1) Para uma pessoa correr, nadar, levantar peso etc., sua energia é transformada em calor e movimento. Essa energia provém dos alimentos ingeridos e do ar que ela respira. Quando uma pessoa ou um animal se alimenta de vegetais verdes, por exemplo — cuja energia é obtida através do processo conhecido como fotossíntese —, essa energia fica armazenada nas células da pessoa ou do animal, permitindo a realização de atividades musculares.
- 2) Nas usinas hidrelétricas, a energia potencial da água transforma-se em energia cinética e movimenta turbinas acopladas a geradores elétricos. Nas usinas termelétricas, a energia necessária para aquecer a água provém de combustíveis derivados do petróleo ou do carvão. Nas nucleares, utiliza-se como combustível o urâno. A finalidade dessas usinas é transformar essas energias (potencial gravitacional, potencial química ou potencial nuclear, respectivamente) em energia elétrica, que terá outras formas nas residências, nos hospitais e nas indústrias. Um liquidificador a transformará em energia cinética; uma lâmpada, em energia térmica e luminosa; um rádio, em energia sonora etc.



Credit Stock Photo



Deffim Martins/Fotop



- 3) Para um carro avançar, ele tem de transformar em energia cinética parte da energia que provém do combustível.
- 4) Nos automóveis, as baterias produzem energia elétrica através de reações químicas. Essa energia é transformada em movimento no motor de arranque, em luz nos faróis e em energia sonora na buzina.

A principal fonte de energia que utilizamos é a energia solar. A radiação solar é responsável pela produção dos alimentos vegetais, do carvão, do petróleo, da evaporação, dos ventos etc.

A energia do Sol e de outras estrelas é devida a reações exotérmicas de fusão nuclear. Assim, podemos enunciar o princípio da conservação da energia:

A energia não se cria nem se destrói, apenas se transforma de um tipo em outro, em quantidades iguais.

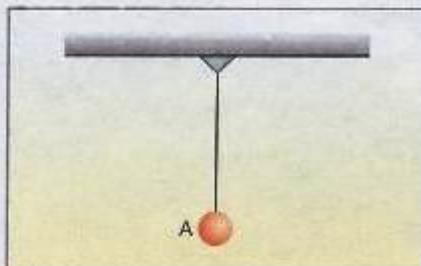
PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA

Estudaremos agora os sistemas conservativos, isto é, sistemas isolados em que as forças de interação são conservativas, ou seja, não se consideram as forças dissipativas como o atrito e a resistência do ar.

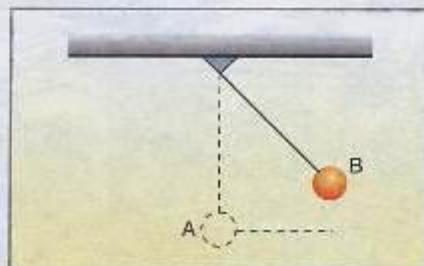
Quando o trabalho das forças dissipativas é resistente, há uma perda de energia mecânica. A esta perda, que é irreversível, denomina-se *dissipação*. O trabalho realizado pelas forças dissipativas mede a energia mecânica, que se dissipa geralmente para a forma térmica e, mais raramente, para outras formas.

Como exemplo, vamos estudar o pêndulo gravítico simples e desprezar as forças dissipativas de atrito e de resistência do ar.

Consideremos um corpo em equilíbrio no ponto *A*, pendurado na extremidade de um fio.



Deslocando-se o corpo para a posição *B*, ele ganhará energia potencial.



Soltando-se o corpo, ele entra em movimento — adquirindo energia cinética cada vez maior — e perde energia potencial porque diminui a altura, de tal forma que o que o corpo perde em energia potencial, ganha em energia cinética.

Chegando novamente ao ponto *A*, a energia potencial é nula e a cinética é máxima.

A partir daí, o corpo continua em movimento perdendo energia cinética e adquirindo energia potencial porque aumenta a altura até chegar ao ponto *C*, onde pára.

Como não se considera a resistência do ar, pode-se mostrar que a altura do ponto *B* é a mesma de *C*, o que mostra que o corpo tem a mesma energia que tinha no início.

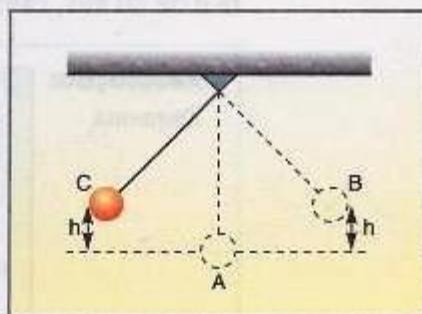
Nesse exemplo, em qualquer ponto da trajetória do corpo, a partir da posição *B*, a sua energia mecânica permanece constante, isto é:

$$E_{M_B} = E_{M_A} = E_{M_C} = \text{cte.}$$

Portanto, podemos enunciar:

Em um sistema conservativo, a energia mecânica total permanece constante.

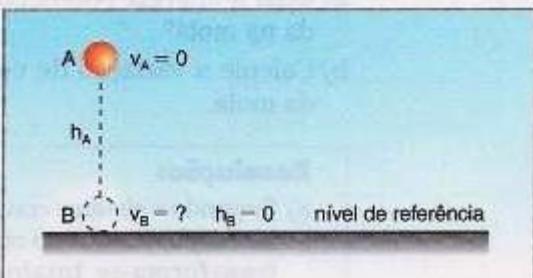
$$E_M = E_C + E_P = \text{cte.}$$



APLICAÇÃO

A35

Um ponto material de massa 5 kg é abandonado de uma altura de 45 m num local onde $g = 10 \text{ m/s}^2$. Calcule a velocidade do corpo ao atingir ao solo.



Resolução:

Desprezando a resistência do ar, o sistema é conservativo; logo, a energia potencial do ponto material em *A* vai diminuindo até se transformar totalmente em energia cinética no ponto *B*.

$$\begin{aligned} E_{M_A} &= E_{M_B} \rightarrow E_{C_A} + E_{P_A} = E_{C_B} + E_{P_B} \rightarrow \frac{1}{2} mv_A^2 + mgh_A = \frac{1}{2} mv_B^2 + mgh_B \\ 5 \cdot 10 \cdot 45 &= \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot v_B^2 \\ v_B &= 30 \text{ m/s} \end{aligned}$$

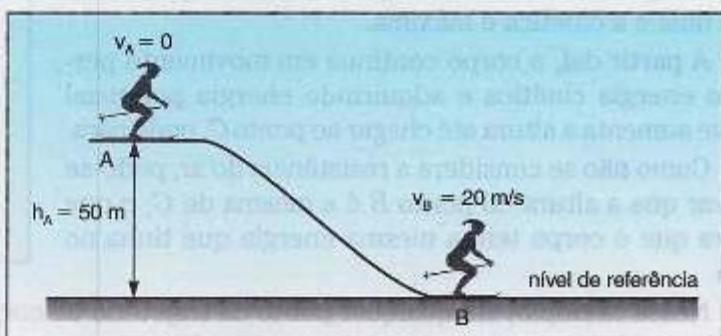
Resposta: 30 m/s

A 36

Uma esquiadora de massa 60 kg desliza de uma encosta, partindo do repouso, de uma altura de 50 m. Sabendo que sua velocidade ao chegar ao fim da encosta é de 20 m/s, calcule a perda de energia devida ao atrito. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Resolução:

Esquema



$$E_{M_A} = E_{M_B} + E_{\text{dissipada}} \rightarrow E_{C_A} + E_{P_A} = E_{C_B} + E_{P_B} + E_{\text{dissipada}}$$

$$0 + mg h_A = \frac{1}{2} m v_B^2 + 0 + E_{\text{dissipada}}$$

$$60 \cdot 10 \cdot 50 = \frac{1}{2} \cdot 60 \cdot 20^2 + E_{\text{dissipada}}$$

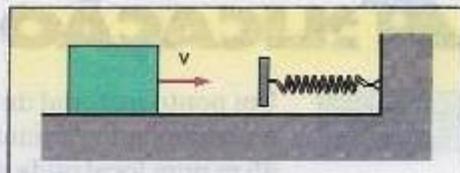
$$E_{\text{dissipada}} = 18\,000 \text{ J}$$

Resposta: 18 000 J**A 37**

Um corpo de massa $m = 2 \text{ kg}$ e velocidade $v = 5 \text{ m/s}$ se choça com uma mola de constante elástica $k = 20\,000 \text{ N/m}$, conforme indicado na figura.

O corpo comprime a mola até parar. Despreze os atritos.

- Qual a energia potencial armazenada na mola?
- Calcule a variação de comprimento da mola.

**Resolução:**

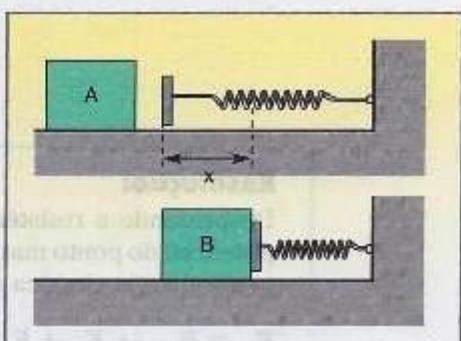
- Supondo o sistema conservativo, a energia cinética do corpo em A transforma-se totalmente em energia potencial elástica no ponto B. Logo:

$$E_{M_A} = E_{M_B}$$

$$\frac{1}{2} m v^2 = E_{\text{elástica}}$$

$$\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 5^2 = E_{\text{elástica}}$$

$$E_{\text{elástica}} = 25 \text{ J}$$



- Sendo x a deformação sofrida pela mola, temos:

$$E_{\text{elástica}} = \frac{kx^2}{2} \rightarrow 25 = \frac{20\,000x^2}{2} \rightarrow x = 0,05 \text{ m}$$

Respostas: a) 25 J; b) 0,05 m

QUESTÕES

Q170 As fotografias a seguir mostram situações em que há transformações de energia. Descreva para cada uma delas essas transformações.

- respostas
no final a) pessoa saltando obstáculo com cavalo
do livro



b) pessoa com arco e flecha



c) pessoa empurrando alguém na balança

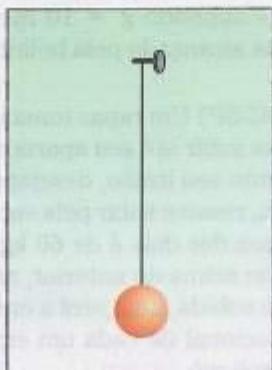


- d) bate-estaca



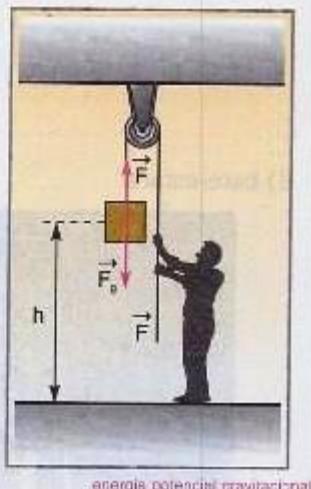
Q171 Usando um barbante ou um pedaço de fio e um objeto qualquer, construa um pequeno pêndulo.

- a) Faça o pêndulo oscilar e descreva as transformações de energia que ocorrem enquanto o pêndulo oscila. resposta no final do livro
- b) Observa-se que a amplitude das oscilações diminui cada vez mais, até que o pêndulo pára totalmente. Esse fato contradiz a lei da conservação da energia? não



Q172 Mário levanta o corpo A com uma força \vec{F} cuja intensidade é igual ao peso do corpo A. Quando o corpo A atinge a altura h , Mário deixa de exercer a força e larga o fio. Despreze os atritos e a massa do fio.

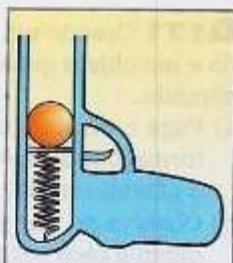
- Durante a subida, há variação de energia cinética do corpo A? **não**
- Que forma assume a energia transferida por Mário para o corpo durante a subida?
- Que transformações de energia ocorrem durante a queda do corpo? **energia potencial gravitacional em energia cinética**
- Se o corpo for elevado a uma altura $h' > h$, o trabalho realizado pelo peso do corpo será o mesmo? Justifique. **não**



energia potencial gravitacional

Q173 Um ponto material de massa 0,5 kg é lançado do solo verticalmente para cima com velocidade de 12 m/s. Desprezando a resistência do ar e adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule a altura máxima, em relação ao solo, que o ponto material alcança. **7,2 m**

Q174 A figura representa uma bolinha, de 10 g de massa, apoiada sobre a mola de um revólver de brinquedo. A mola, de constante elástica 30 N/m, é comprimida de 8 cm e está inicialmente travada. Acionando-se o gatilho, a mola é destravada e a bolinha é lançada verticalmente para cima. Desprezando-se o atrito com o ar e supondo $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule a altura máxima alcançada pela bolinha. **0,96 m**



Q175 (PUC-SP) Um rapaz toma um elevador no térreo para subir até seu apartamento, no 5º andar, enquanto seu irmão, desejando manter a forma atlética, resolve subir pela escada. Sabendo que a massa dos dois é de 60 kg e que cada andar está 4 m acima do anterior, responda:

- Ao final da subida, qual será a energia potencial gravitacional de cada um em relação ao térreo? Explique. **12 000 J**

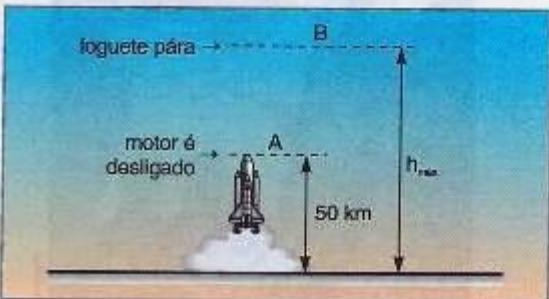
b) Se o rapaz deixar cair uma moeda de 100 g da janela do apartamento e o atleta deixar cair um haltere de 10 kg, com que velocidade tais objetos chegarão ao solo, no térreo? Despreze a resistência do ar. Explique. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$. **20 m/s**

Q176 (UFPA) Uma pequena esfera, de massa igual a 100 g, é abandonada de uma altura de 5 m sobre o solo e volta a subir com 60% da velocidade de chegada. Adotando a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 e supondo desprezível a resistência do ar, calcule a altura máxima atingida pela esfera nesse retorno e a energia que foi consumida durante seu choque com o solo. **3 m; 20 J; energia mecânica**

Q177 (UFPE) Um atleta salta por cima do obstáculo indicado na figura e seu centro de gravidade atinge a altura de 2,2 m. Atrás do obstáculo existe um colchão de ar, com 40 cm de altura, para atenuar a queda do atleta, que cai deitado. Qual a velocidade, em m/s, com que o atleta atingirá a superfície do colchão? (Despreze a resistência do ar.) **6 m/s**



Q178 (PUC-SP) Um foguete, destinado a colocar em órbita um satélite meteorológico, move-se verticalmente para cima. Seu motor funciona até que ele atinja uma velocidade de 1 600 m/s, a uma altura de 50 km. Depois disso, continua subindo, e a ação da gravidade o freia até ele parar. Suponha desprezível a resistência do ar. Utilize o conceito de conservação da energia mecânica para determinar a altura máxima (h_{\max}) que o foguete vai alcançar. (Dado: $g_{\text{Terra}} = 10 \text{ m/s}^2$). **178 km**



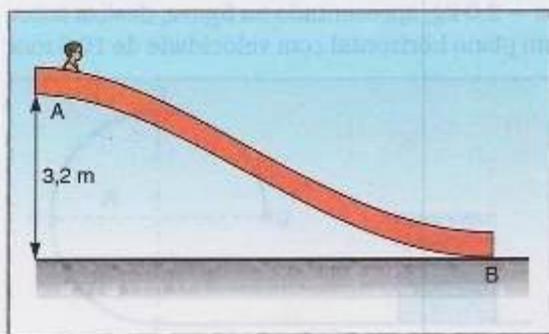
32 000 J

- Q179** (Vunesp-SP) No esporte conhecido como "ioiô humano", o praticante, preso à extremidade de uma corda elástica, cai da beira de uma plataforma para as águas de um rio. Sua queda é interrompida, a poucos metros da superfície da água, pela ação da corda elástica, que tem a outra extremidade firmemente presa à beira da plataforma. Suponha que, nas condições citadas acima, a distensão máxima sofrida pela corda, quando usada por um atleta de peso 750 N, é de 10 m, e que seu comprimento, quando não-distendida, é de 30 m. Nessas condições, responda:
- A que distância da plataforma está o atleta, quando chega ao ponto mais próximo da água?
 - Qual o valor da constante elástica da corda? (Despreze o atrito com o ar e a massa da corda, e considere igual a zero o valor da velocidade do atleta no início da queda.) **a) 40 m; b) 600 N/m**

Q180 (Unitau-SP) Dois corpos de massas distintas são lançados verticalmente para cima, do mesmo ponto, a partir do solo, com a mesma energia cinética. Considere as seguintes afirmações:

- Ambos atingem a mesma altura.
 - No ponto mais alto de suas trajetórias, ambos possuem a mesma energia potencial.
 - Ambos estão sujeitos à mesma aceleração.
- Quais afirmações são corretas? **II e III**

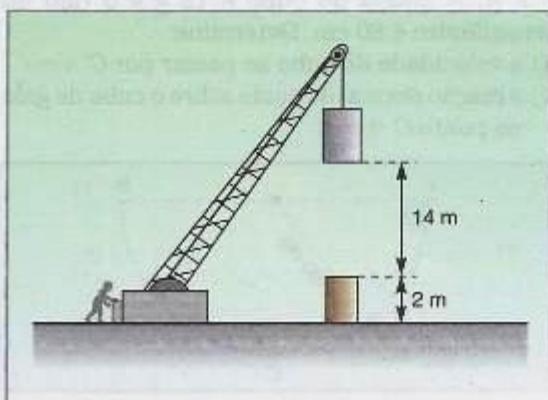
Q181 No escorregador mostrado na figura, uma criança com 30 kg de massa, partindo do repouso em A, desliza até B. Desprezando as perdas de energia e admitindo $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule a velocidade da criança ao chegar a B. **8 m/s**



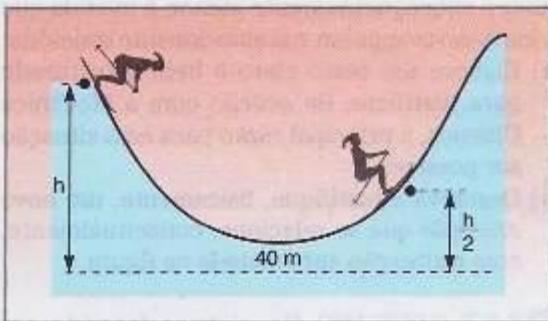
Q182 (UFV-MG) Um bate-estaca sustenta um bloco de 200 kg, a uma altura de 16 m do solo, sobre uma estaca situada 14 m abaixo. Desprezando as forças dissipativas e considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine:

- a intensidade da força que o cabo exerce sobre o bloco **2 000 N**

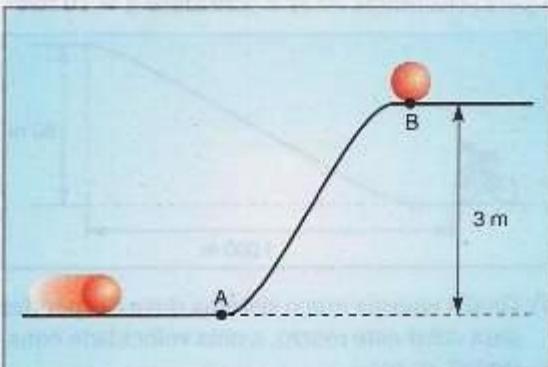
- b) a energia potencial do bloco em relação ao solo
c) após sua liberação, a energia cinética do bloco, ao atingir a estaca **28 000 J**



Q183 (UFPE) Um praticante de esqui sobre gelo, inicialmente em repouso, parte da altura h em uma pista sem atrito, conforme indica a figura. Sabendo que sua velocidade é de 20 m/s no ponto A, calcule a altura h , em metros. Use $g = 10 \text{ m/s}^2$. **40 m**

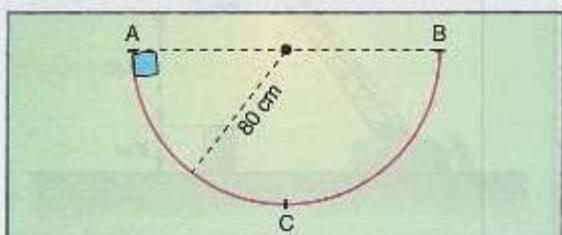


Q184 Com que velocidade a esfera deve passar pelo ponto A para chegar a B com velocidade de $2\sqrt{5} \text{ m/s}$? Sabendo que no percurso AB houve uma perda de energia mecânica de 20% e $g = 10 \text{ m/s}^2$. **10 m/s**



Q185 Abandonado do topo de uma superfície semicilíndrica e sem atrito, um cubo de gelo desliza para a frente e para trás entre os pontos A e B. A massa do cubo é 12 g e o raio do semicilindro é 80 cm. Determine:

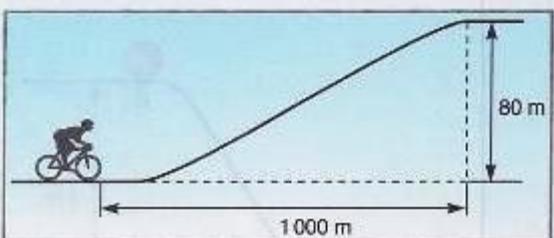
- a velocidade do cubo ao passar por C **4 m/s**
- a reação normal do apoio sobre o cubo de gelo no ponto C **0,36 N**



Q186 (PUC-SP) Numa montanha-russa, o carrinho é levado até o ponto mais alto de sua trajetória com a ajuda de um motor. Nesse ponto é abandonado com velocidade quase nula, passando a executar um movimento de “sobe e desce” nos trilhos que delineiam contornos em forma de montanhas. A altura máxima dessas montanhas é subsequentemente menor, à medida que o carrinho avança em sua emocionante trajetória.

- Elabore um texto claro e bem estruturado para justificar, de acordo com a Mecânica Clássica, a principal razão para essa situação ser possível.
- Descreva e justifique, fisicamente, um novo exemplo que se relacione, conceitualmente, com a situação apresentada na figura.

Q187 (UFJF-MG) Um sistema formado por uma bicicleta e uma ciclista, de massa total 70 kg, movimenta-se por uma estrada plana, tendo à frente um morro. A distância entre o pé do morro e seu cume é 1 000 m e a altura do morro é 80 m (veja a figura abaixo). Considere apenas as forças externas e despreze as perdas por atrito e pela resistência do ar e considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

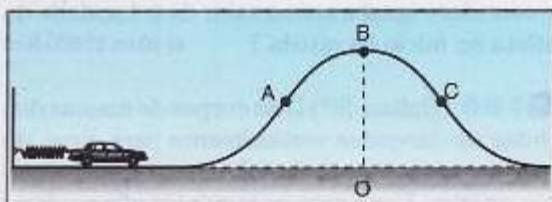


- Qual a energia que o sistema deve despender para subir este morro, a uma velocidade constante? **56 000 J**

- Se a altura da descida for a mesma (80 m), qual a velocidade que o sistema ganha ao chegar ao pé do morro, caso a ciclista parte do repouso, não pedale, e a bicicleta não seja freada? **40 m/s**
- Interprete a aplicação da lei da conservação da energia a esse sistema.

resposta no final do livro

Q188 (UERJ) A figura abaixo mostra uma mola ideal, comprimida por um carrinho de massa 3,0 kg e um trilho inicialmente retilíneo e horizontal, que apresenta um segmento curvilíneo contido em um plano vertical. O trecho assinalado ABC é um arco de círculo de raio 1,0 m e centro no ponto O. A constante elástica da mola vale $8,0 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$.



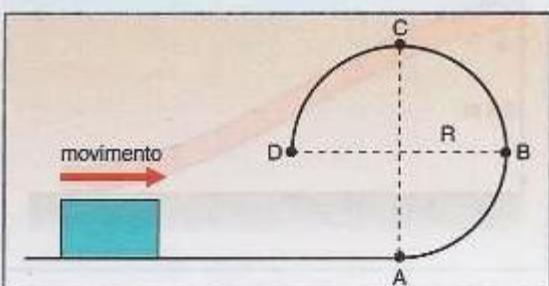
A mola então é liberada e o carrinho sobe o declive passando pelo ponto mais alto, B, com uma velocidade de módulo igual a $2,0 \text{ m/s}^{-1}$.

Considerando desprezíveis todos os atritos, calcule:

- a compressão inicial da mola **0,30 m**
- a intensidade da força exercida pelo carrinho sobre o trilho no ponto B **18 N**

Dado: aceleração da gravidade: $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Q189 (Unirio-Cefet-Ence) Um bloco de massa = 2,0 kg, apresentado na figura, desliza sobre um plano horizontal com velocidade de $10,0 \text{ m/s}$.



No ponto A, a superfície passa a ser curva, com raio de curvatura = 2,0 m. Suponha que o atrito seja desprezível ao longo de toda a trajetória e que $g = 10 \text{ m/s}^2$. Determine, então:

- a aceleração centrípeta no ponto B **30 m/s^2**
- a reação da superfície curva sobre o bloco no ponto C **0**

CAPÍTULO 10

IMPULSO E QUANTIDADE DE MOVIMENTO

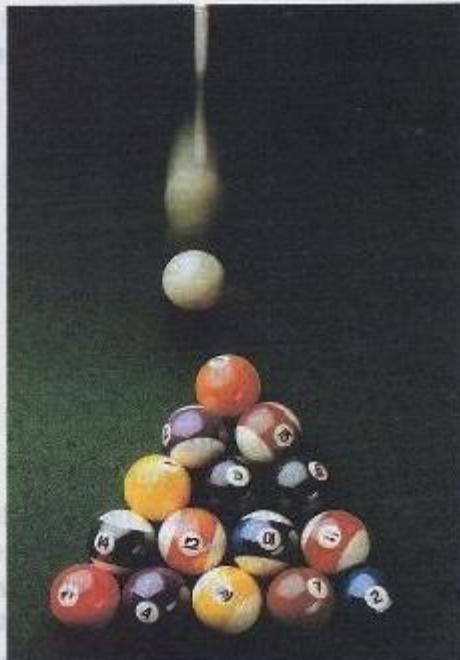
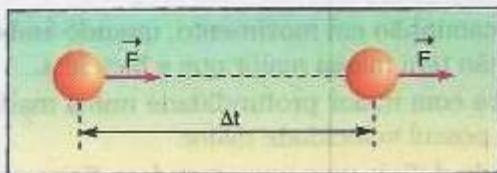
IMPULSO DE UMA FORÇA

Considere uma pessoa dando uma tacada numa bola de bilhar.

Nesse caso, temos a ação de uma força entre taco e bola, num pequeno intervalo de tempo, que faz com que a bola seja impulsionada.

Sempre que uma força agir em um corpo durante certo intervalo de tempo, dizemos que o corpo recebeu um *impulso*.

Para definirmos o impulso, consideremos uma força \vec{F} atuando num corpo durante um intervalo de tempo Δt .



Eric Sander

O impulso \vec{I} é igual ao produto da força \vec{F} pelo intervalo de tempo Δt .

$$\vec{I} = \vec{F}\Delta t$$

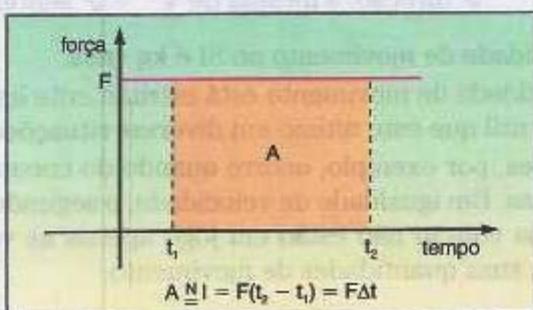
O impulso, sendo uma grandeza vetorial, tem três características:

- ✓ intensidade: $I = F\Delta t$
- ✓ direção: mesma da força \vec{F}
- ✓ sentido: o mesmo de \vec{F} , pois Δt é sempre positivo

A unidade de impulso no SI é: newton · segundo ($N \cdot s$).

PROPRIEDADE

No gráfico $F \times t$, a área A é numericamente igual à intensidade do impulso da força \vec{F} , no intervalo de tempo de t_1 a t_2 .



QUANTIDADE DE MOVIMENTO

Na natureza, um corpo em movimento pode transmitir, total ou parcialmente, seu movimento a outros corpos. Por exemplo: o vento empurra um barco à vela, um jogador de bilhar empurra o taco que bate na bola branca e, por sua vez, a bola branca bate na vermelha, transmitindo velocidade a esta última.

A pergunta é a seguinte: existem regras que permitem calcular a velocidade, a direção e o sentido do movimento de um corpo ao receber um impulso de outro corpo?

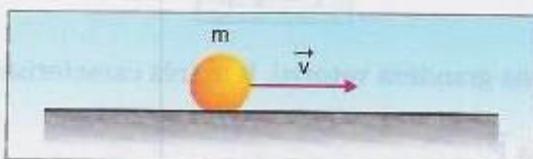
Certamente essas regras existem, pois um jogador de futebol, ao bater uma falta, sabe que a velocidade, a direção e o sentido do movimento que a bola irá adquirir dependem do chute, isto é, do modo com que se transmite movimento a ela.

Vamos, portanto, estudar a grandeza física que mede o movimento ou a quantidade de movimento de um corpo. Para tanto, considere os exemplos a seguir.

- 1) É mais fácil parar uma bicicleta do que um caminhão em movimento, quando ambos possuem a mesma velocidade, porque o caminhão tem massa maior que a bicicleta.
- 2) Um projétil disparado por uma arma penetra com maior profundidade numa madeira do que se fosse lançado manualmente, porque possui velocidade maior.

Esses exemplos mostram a necessidade de definir uma nova grandeza física que relacione a massa de um corpo com a sua velocidade, para caracterizar o estado de movimento desse corpo. Essa grandeza física é denominada *quantidade de movimento*.

Consideremos um ponto material de massa m e velocidade \vec{v} .



Define-se como quantidade de movimento desse ponto material a grandeza vetorial:

$$\vec{Q} = m\vec{v}$$

A quantidade de movimento, sendo uma grandeza vetorial, possui:

- ✓ intensidade: $Q = mv$ ✓ direção: a mesma de \vec{v} ✓ sentido: o mesmo de \vec{v}

A unidade de quantidade de movimento no SI é $\text{kg} \cdot \text{m/s}$.

O conceito de quantidade de movimento está estreitamente ligado ao conceito de velocidade; entretanto é mais útil que este último em diversas situações.

Uma dessas situações, por exemplo, ocorre quando do encontro frontal de dois automóveis ou de duas jangadas. Em igualdade de velocidade, o segundo acidente é mais terrível que o primeiro, pois nessa colisão não estão em jogo apenas as velocidades das jangadas envolvidas, como também suas quantidades de movimento.

Outra situação em que a quantidade de movimento se revela mais importante que a velocidade pode ser observada quando, num rinque de patinação, um patinador empurra outro. Nesse empurrão, os dois patinadores interagem um com o outro e as velocidades de ambos são alteradas depois do contato.

Entretanto, a mudança de velocidade não é a mesma para os dois: a velocidade do patinador de menor massa sofre uma variação maior que a velocidade do patinador de maior massa.

A quantidade de movimento é também chamada *momento linear*.

APLICAÇÃO

A 38

Um corpo de massa 3 kg está em repouso sobre um plano horizontal liso. Aplica-se sobre o corpo uma força constante, horizontal, durante 5 s. Nesse intervalo de tempo o corpo sofre um deslocamento de 10 m.

- Calcule a intensidade do impulso aplicado ao corpo nesse intervalo de tempo.
- Ache a quantidade de movimento do corpo no instante 4 s.

Resolução:

- a) Dados: $m = 3 \text{ kg}$; $v_0 = 0$; $\Delta s = 10 \text{ m}$; $\Delta t = 5 \text{ s}$

A aceleração é dada por:

$$\Delta s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \rightarrow 10 = 0 + \frac{1}{2} \cdot a \cdot 5^2 \rightarrow a = 0,8 \text{ m/s}^2$$

A força é dada por:

$$F = ma \rightarrow F = 3 \cdot 0,8 \rightarrow F = 2,4 \text{ N}$$

O impulso é dado por:

$$I = F \Delta t \rightarrow I = 2,4 \cdot 5 = 12 \text{ Ns}$$

- b) A velocidade do corpo no instante 4 s é dada por:

$$v = v_0 + at \rightarrow v = 0 + 0,8 \cdot 4 \rightarrow v = 3,2 \text{ m/s}$$

Logo:

$$Q = mv \rightarrow Q = 3 \cdot 3,2 \rightarrow Q = 9,6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

Respostas: a) 12 Ns; b) 9,6 kg · m/s

QUESTÕES

Q190 Um corpo fica sujeito à ação de uma força \vec{F} de módulo 20 N, durante 4 s. Qual o módulo do impulso comunicado ao corpo? **80 N · s**

Q191 Uma força constante aplicada a um corpo de 5 kg em repouso desloca-o 2 m em 4 s.

a) Determine a aceleração adquirida pelo corpo.

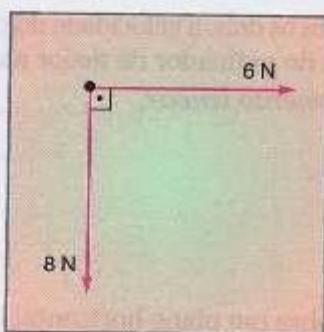
$$0,25 \text{ m/s}^2$$

b) Calcule o módulo do impulso aplicado ao corpo.

$$5 \text{ N} \cdot \text{s}$$

Q192 Um corpo de massa igual a 4 kg é abandonado do topo de um prédio muito alto. Sabendo que a aceleração da gravidade no local vale $9,8 \text{ m/s}^2$, calcule o módulo do impulso da força peso nos primeiros 3 s de queda. **117,6 N · s**

Q193 Sobre um ponto material agem as forças indicadas na figura. Sabendo que essas forças agem durante 0,2 s, determine o módulo do impulso resultante por elas produzido. **2 N · s**

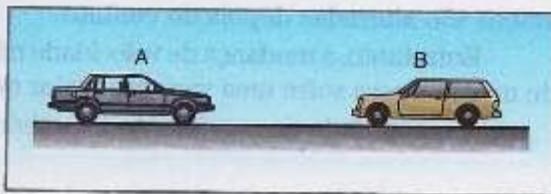


Q194 Determine a quantidade de movimento de cada um dos corpos indicados nas figuras a seguir.

a) A bala de massa 0,001 kg, disparada por uma arma, tem velocidade de 500 m/s. **0,5 kg · m/s**



b) O carro A tem massa 1 000 kg e velocidade 72 km/h e o carro B tem massa 800 kg e velocidade 108 km/h. **$2 \cdot 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$; $2,4 \cdot 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$**



Q195 Um corpo de massa igual a 2 kg é lançado do solo, verticalmente para cima, com velocidade inicial de 60 m/s. Dado $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine a intensidade, a direção e o sentido da quantidade de movimento do corpo nos instantes:

a) 4 s b) 9 s

40 kg · m/s, vertical e ascendente **60 kg · m/s, vertical e descendente**

Q196 Uma força constante em módulo, direção e sentido atua sobre um corpo de massa 10 kg durante 2,0 s. O corpo, inicialmente em repouso, desliza sobre um plano horizontal sem atrito e atinge velocidade de módulo 10 m/s, ao fim dos 2,0 s.

a) Qual a intensidade da força que atuou sobre o corpo? **50 N**

b) Qual o módulo da quantidade de movimento do corpo ao fim dos 2,0 s? **100 kg · m/s**

TEOREMA DO IMPULSO

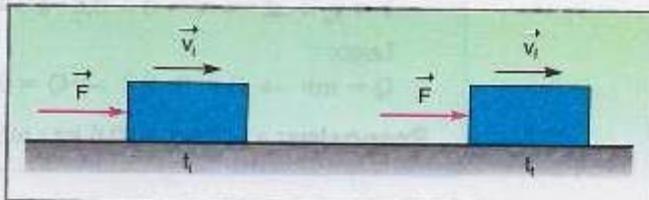
A 2^a lei de Newton pode ser expressa de um modo diferente. Considere, por exemplo, um corpo de massa m sob a ação de uma força resultante \vec{F} , constante, na mesma direção da velocidade.

Sejam:

\vec{v}_i = velocidade inicial do corpo

\vec{v}_f = velocidade final do corpo

$\Delta t = t_f - t_i$ = intervalo de tempo de ação da força



Utilizando a 2^a lei de Newton no intervalo de tempo Δt , temos:

$$\vec{F} = ma \rightarrow \vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \rightarrow \vec{F}\Delta t = m\Delta \vec{v} \rightarrow \vec{F}\Delta t = m(\vec{v}_f - \vec{v}_i) \rightarrow \vec{F}\Delta t = m\vec{v}_f - m\vec{v}_i$$

$\vec{F}\Delta t = \vec{I}$ = impulso da força \vec{F}

$m\vec{v}_f = \vec{Q}_f$ = quantidade de movimento final

$m\vec{v}_i = \vec{Q}_i$ = quantidade de movimento inicial

$$\vec{I} = \vec{Q}_f - \vec{Q}_i \quad \text{ou} \quad \vec{I} = \Delta \vec{Q}$$

Para o mesmo intervalo de tempo, o impulso da força resultante é igual à variação da quantidade de movimento.

Considerando a expressão $\vec{F}\Delta t = m\Delta\vec{v}$, observa-se que \vec{F} e Δt são inversamente proporcionais.

Isso explica por que os pára-quedistas, no término da queda, procuram aumentar o tempo de contato com o solo, rolando ou correndo sobre ele, e não caindo com as pernas imóveis, "duras".

Se o pára-quedista caísse em pé e mantivesse as pernas "duras", o tempo (Δt) de desaceleração seria menor e, consequentemente, aumentaria a força (\vec{F}) de reação do solo sobre o pára-quedista, o que poderia provocar um acidente.

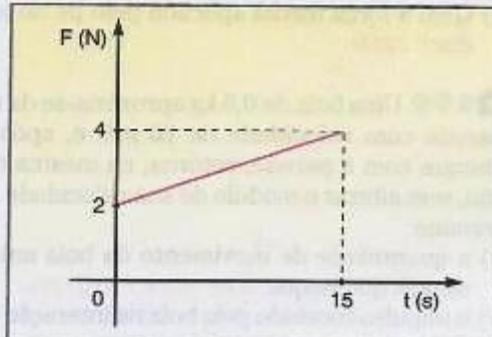
Analogamente, quando uma bala disparada por uma arma atravessa uma placa de isopor, ela leva mais tempo para perder velocidade, porque a força de reação sobre a bala é muito menor do que se fosse usado um obstáculo duro, como, por exemplo, uma placa de madeira.

APLICAÇÃO

A 39

A intensidade de uma força de direção constante, que age num corpo inicialmente em repouso, varia com o tempo conforme o gráfico abaixo. Sendo a massa do corpo 4,5 kg, determine:

- a intensidade do impulso dessa força de 0 a 15 s
- a velocidade do corpo no instante 15 s



Resolução:

- a) A intensidade do impulso é numericamente igual à área do trapézio:

$$A = \frac{(B + b) \cdot h}{2} \rightarrow I = \frac{(4 + 2) \cdot 15}{2} \rightarrow I = 45 \text{ Ns}$$

- b) Pelo teorema do impulso:

$$\vec{I} = \vec{Q}_f - \vec{Q}_i \rightarrow \vec{I} = m\vec{v}_f - m\vec{v}_i \rightarrow 45 = 4,5v_f - 4,5 \cdot 0 \rightarrow v_f = 10 \text{ m/s}$$

Respostas: a) 45 Ns; b) 10 m/s

A 40

Em um jogo de vôlei, ao bloquear uma cortada, um jogador devolve a bola ao campo adversário com a mesma velocidade com que ela atingiu seus pulsos. A massa da bola é de 250 g, sua velocidade é de 20 m/s e a duração do impacto é de 0,1 s. Qual a força que o jogador imprime à bola no bloqueio?

Resolução:

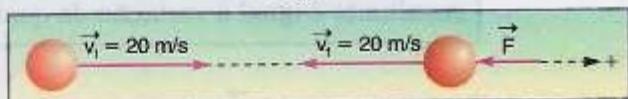
$$\vec{I} = \vec{Q}_f - \vec{Q}_i$$

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m\vec{v}_f - m\vec{v}_i$$

$$F \cdot 0,1 = 0,25 \cdot (-20) - 0,25 \cdot 20 \rightarrow F = -100 \text{ N} \therefore |\vec{F}| = 100 \text{ N}$$

Note que \vec{F} tem sentido contrário ao positivo adotado.

Resposta: 100 N

Esquema

QUESTÕES

Q197 Após o chute para a cobrança de uma penalidade, uma bola de futebol de massa igual a 0,40 kg sai com velocidade igual a 24 m/s. O tempo de contato entre o pé do jogador e a bola é de 0,03 s.

- Qual a quantidade de movimento adquirida pela bola com o chute? **9,6 kg · m/s**
- Qual a força média aplicada pelo pé do jogador? **320 N**

Q198 Uma bola de 0,5 kg aproxima-se de uma parede com velocidade de 10 m/s e, após um choque com a parede, retorna, na mesma direção, sem alterar o módulo de sua velocidade. Determine:

- a quantidade de movimento da bola antes e depois do choque **5 kg · m/s e -5 kg · m/s**
- o impulso recebido pela bola na interação com a parede **10 N · s**

Q199 Uma força constante de intensidade 5,0 N é a única força que atua sobre um corpo de massa m que parte do repouso e atinge uma velocidade de intensidade 5,0 m/s ao cabo de 4,0 s.

Determine:

- a intensidade da variação da quantidade de movimento do corpo **20 kg · m/s**
- a massa do corpo **4 kg**

Q200 (Fuvest-SP) Uma pessoa dá um piparote (impulso) em uma moeda de 6 g que se encontra sobre uma mesa horizontal. A moeda desliza 0,40 m em 0,5 s e pára. Calcule:

- o valor da quantidade de movimento inicial da moeda **$9,6 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$**
- o coeficiente de atrito dinâmico entre a moeda e a mesa **0,32**

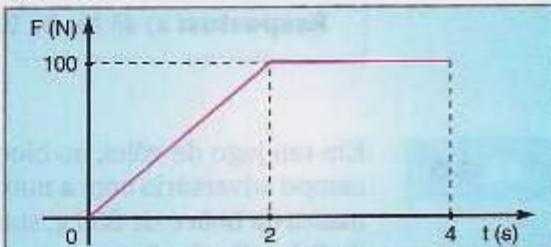
Q201 (Unesp-SP) Um corpo de massa $m = 20 \text{ kg}$, deslocando-se sobre uma superfície horizontal perfeitamente lisa, sofre o impulso de uma força, $I = 60 \text{ N} \cdot \text{s}$, no sentido do seu movimento, no instante em que a velocidade do corpo era $v_0 = 5,0 \text{ m/s}$. Sabendo ainda que a aceleração média sofrida pelo corpo durante a atuação da força foi de 300 m/s^2 , calcule:

- a velocidade final do corpo **8 m/s**
- o tempo de atuação da força **0,01 s**
- o valor médio da força **6 000 N**

Q202 Uma pessoa cai, a partir do repouso, da janela de um prédio localizada 20 m acima do solo. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$ e despreze a resistência do ar.

- Determine o módulo da velocidade com que a pessoa atinge o solo **20 m/s**
- Sabendo que a massa da pessoa é de 70 kg e que a duração do impacto é de 0,01 s, determine a intensidade da força média trocada entre a pessoa e o solo por ocasião do impacto **$= 1,4 \cdot 10^5 \text{ N}$**

Q203 (FESP-PE) Um corpo de massa $m = 10 \text{ kg}$ move-se com velocidade $v = 10 \text{ m/s}$. Em $t = 0 \text{ s}$, passa a atuar sobre ele uma força F , cuja intensidade varia conforme a figura, na mesma direção e sentido do movimento. Qual será sua velocidade no instante $t = 3 \text{ s}$? **30 m/s**



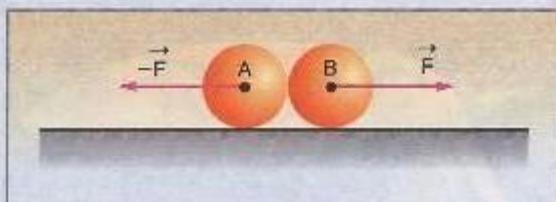
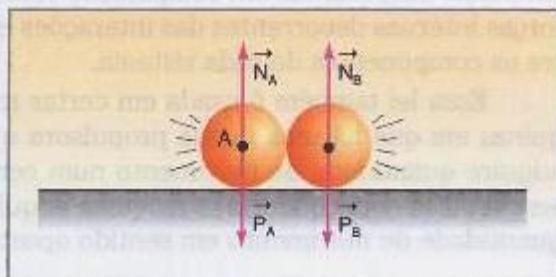
SISTEMA ISOLADO DE FORÇAS EXTERNAS

Considere um sistema formado por dois corpos, A e B , que colidem.

No sistema, as forças decorrentes de agentes externos ao sistema são chamadas de forças externas, como, por exemplo, o peso \vec{P} e a normal \vec{N} . No sistema isolado, a resultante dessas forças externas é nula.

Durante a interação, o corpo A exerce uma força \vec{F} no corpo B e este exerce no corpo A uma força $-\vec{F}$ igual e de sentido oposto.

As forças \vec{F} e $-\vec{F}$ correspondem ao par de forças de ação e reação exercidas mutuamente entre os corpos que compõem o sistema. São chamadas de forças internas.



Denomina-se sistema isolado de forças externas o sistema cuja resultante dessas forças é nula, atuando nele somente as forças internas.

PRINCÍPIO DA CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO

Considere um sistema isolado de forças externas, isto é, as forças externas são desprezíveis ou sua resultante é nula ($F_R = 0$).

Nessas condições, pelo teorema do impulso, temos:

$$\vec{I} = \vec{Q}_f - \vec{Q}_i \rightarrow \vec{F}_R \cdot \Delta t = \vec{Q}_f - \vec{Q}_i \rightarrow 0 = \vec{Q}_f - \vec{Q}_i$$

$$\vec{Q}_f = \vec{Q}_i$$

A quantidade de movimento de um sistema de corpos isolado de forças externas é constante.

O princípio da conservação da quantidade de movimento é aplicado em explosões, disparos e choques, nos quais as forças internas são mais intensas que as externas.



Nesses casos as forças externas são consideradas desprezíveis em comparação com as forças internas decorrentes das interações entre os componentes de cada sistema.

Essa lei também é usada em certas máquinas em que há uma massa propulsora que adquire quantidade de movimento num certo sentido. Em consequência, a máquina adquire quantidade de movimento em sentido oposto.

Credit Stock Photo



As lulas ejetam a água do seu interior para se deslocarem.



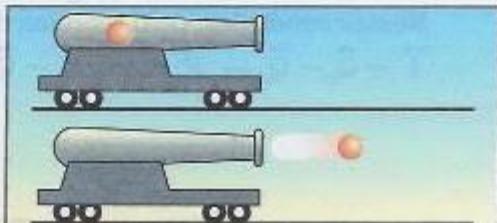
Os foguetes ejetam gases produzidos por combustão e se deslocam.

Credit Stock Photo

APLICAÇÃO

A 41

Um canhão de 800 kg, montado sobre rodas e não freado, dispara um projétil de 6 kg com velocidade inicial de 500 m/s. Determine a velocidade de recuo do canhão.



Resolução:

Dados: $V_p = 500 \text{ m/s}$; $m_c = 800 \text{ kg}$; $m_p = 6 \text{ kg}$

O sistema de corpos (canhão + projétil) é isolado de forças externas ($P = N$). Como antes do disparo o sistema está em repouso, a quantidade de movimento do sistema antes do disparo é nula. Pelo princípio da conservação da quantidade de movimento, o canhão deve recuar no sentido oposto ao movimento do projétil; logo:

$$\vec{Q}_i - \vec{Q}_f \rightarrow \vec{Q}_{\text{projétil}} + \vec{Q}_{\text{canhão}} = \vec{Q}_f \rightarrow m_p \vec{v}_p + m_c \vec{v}_c = 0$$

$$6 \cdot 500 + 800 v_c = 0$$

$$v_c = -3,75 \text{ m/s}$$

Portanto, o módulo da velocidade de recuo do canhão é de 3,75 m/s.

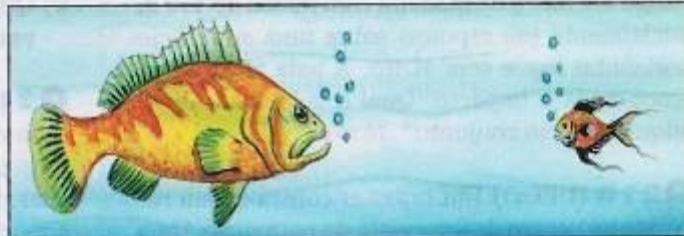
Observe que a quantidade de movimento do projétil, em módulo, é igual à quantidade de movimento do canhão.

Resposta: A velocidade de recuo do canhão tem módulo 3,75 m/s, direção horizontal e sentido da direita para a esquerda.

A 42

Um peixe de 8,6 kg, nadando para a direita a 1 m/s, engole um peixe de 0,4 kg, que nada na sua direção a 3,5 m/s, como indicado na figura:

Determine o módulo da velocidade do peixe maior imediatamente após engolir o menor.

**Resolução:**

Dados: $m_1 = 8,6 \text{ kg}$, $v_1 = 1 \text{ m/s}$, $m_2 = 0,4 \text{ kg}$ e $v_2 = -3,5 \text{ m/s}$

Utilizando o princípio da conservação da quantidade de movimento, temos:

$$\vec{Q}_{\text{antes}} = \vec{Q}_{\text{depois}} \rightarrow \vec{Q}_1 + \vec{Q}_2 = \vec{Q}_{\text{depois}} \rightarrow m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}$$

$$8,6 \cdot 1 + 0,4(-3,5) = (8,6 + 0,4)v$$

$$v = 0,8 \text{ m/s}$$

Resposta: 0,8 m/s

QUESTÕES

Q204 Quando um garoto, usando patins, lança uma pedra para frente, ele adquire um movimento para trás. Por que isso acontece?

resposta no final do livro

Q205 Num trecho horizontal e reto de uma estrada, um canhão montado sobre uma carreta está em posição horizontal e com seu eixo longitudinal paralelo à direção da estrada. A massa do conjunto carreta-canhão é de 10 t. Em dado instante, o canhão dispara um projétil de 10 kg com velocidade de 720 km/h. Qual a velocidade de recuo da carreta? 0,72 km/h

Q206 (PUC-PR) Uma espingarda de massa igual a 2,00 kg, inicialmente em repouso, dispara na horizontal uma bala de 0,05 kg com velocidade de 400 m/s. A arma, apoiada no ombro do atirador, empurra-o, deslocando-se durante 0,50 s até parar.

- Calcule a velocidade inicial de recuo da arma, desprezando a reação inicial do ombro. -10 m/s
- Calcule o módulo F da força horizontal exercida pelo ombro sobre a arma, supondo-a constante. 40 N

Q207 Um remador e seu barco têm, juntos, massa de 150 kg. O barco está parado e o rema-

dor salta dele com uma velocidade de 8 m/s. O barco se afasta com uma velocidade contrária de 7 m/s. Calcule as massas do remador e do barco.

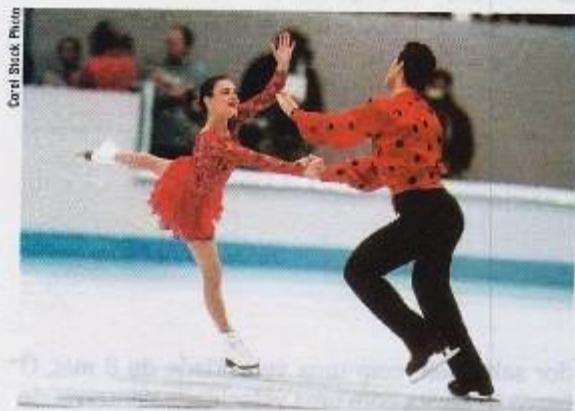
70 kg e 80 kg



Q208 (Unicamp-SP) Um pescador atraca seu barco leve à margem de uma lagoa calma, em frente a uma árvore carregada de deliciosos frutos. Esse barco pode mover-se livremente sobre a água, uma vez que o atrito entre ambos pode ser considerado muito pequeno. Após algum tempo de inútil pescaria, o pescador sente vontade de comer alguns frutos. Coloca cuidadosamente sua vara de pescar no chão do barco e dirige-se, andando sobre ele, em direção à árvore. Conseguirá o pescador alcançar a árvore? Explique os princípios físicos que o levaram à sua conclusão.

Q209 (Fuvest-SP) Um projétil com massa de 50 g, animado de uma velocidade de 700 m/s, atinge um bloco de madeira com massa de 450 g, inicialmente em repouso sobre uma superfície horizontal lisa e sem atrito. A bala aloja-se no bloco após o impacto. Qual a velocidade final adquirida pelo conjunto? **70 m/s**

Q210 (UFGO) Um rapaz encontra-se em repouso no centro de uma pista de patinação. Uma moça vem patinando ao seu encontro e, após a interação, deslizam juntos. Sabendo que o atrito com a pista é desprezível, que a velocidade da moça era de 0,5 m/s e que as massas do rapaz e da moça são, respectivamente, 75 kg e 50 kg, calcule a velocidade com que saí o par. **0,2 m/s**



Q211 Um homem de 70 kg e um garoto de 35 kg estão juntos sobre uma superfície gelada, cujo atrito é desprezível. Um empurra o outro e o homem se desloca, para trás, com velocidade de 30 cm/s em relação ao gelo. Determine a distância entre eles após 5 s. **4,5 m**

Q212 (UFSC) Um patinador, cuja massa é 70 kg, desliza em linha reta sobre uma camada horizontal de gelo, a uma velocidade de 30 m/s. Durante sua trajetória ele apanha um pacote em repouso, e seguem juntos em linha reta. Sendo desprezível a força de atrito e sabendo que a velocidade final dos dois é igual a 20 m/s, calcule a massa do pacote em quilogramas. **35 kg**

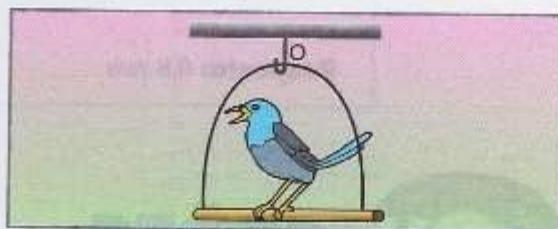
Q213 (Fuvest-SP) Dois carrinhos iguais, com 1 kg de massa cada um, estão unidos por um barbante e se movem com velocidade de 3 m/s. Entre os carrinhos há uma mola comprimida cuja massa pode ser desprezada. Num determinado instante, o barbante se rompe, a mola se desprende e um dos carrinhos pára imediatamente.

- Qual a quantidade de movimento inicial do conjunto? **6 kg·m/s, da esquerda para a direita**
- Qual a velocidade do carrinho que continua em movimento? **6 m/s**

Q214 (FMTM-MG) Na figura está representado um passarinho de massa 50 g em repouso, num poleiro de massa 100 g. O poleiro pode oscilar em torno do ponto *O*, sustentado por um suporte de massa desprezível.

Quando o passarinho salta iniciando seu vôo horizontalmente, o poleiro é empurrado para trás, subindo 5 cm em relação à sua posição inicial.

- Como você justifica esse movimento do poleiro? **resposta no final do livro**
- Qual a velocidade inicial do passarinho? **2 m/s** (Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$)



Q215 (UFGO) Uma nave espacial sem propulsão, move-se por inércia (força resultante nula) em uma região do espaço. Dois astronautas, *A* e *B*, que saíram da nave, executaram manobras incorretas e ficaram na infeliz situação indicada na figura:



- As velocidades dos astronautas *A* e *B*, indicadas na figura, são relativas à nave e a massa de cada um é de 80 kg. O astronauta *A* está levando uma ferramenta de 2,0 kg e a lança em direção a *B* com velocidade de 7,0 m/s. Desprezando as forças gravitacionais entre as partes do sistema, responda: o astronauta *A* se salvará? Justifique numericamente. **sim**
- O astronauta *B*, num ato de última esperança, pega a ferramenta lançada por *A* e tenta o mesmo artifício para tentar se salvar. Porém, num ato de desespero, lança a ferramenta a 16 m/s no sentido de seu movimento. Responda: ele se salvará? Justifique numericamente.

sim

UNIDADE V



100

stática

CAPÍTULO 11

EQUILÍBRIO DE UM CORPO

TEORIA, SEUS CRIADORES, SUA PRÁTICA

Nesta unidade consideraremos as condições segundo as quais os corpos, na natureza, podem ser mantidos continuamente em repouso ou em movimento uniforme. A tal estado chamamos equilíbrio, e o estudo das forças e momentos (torques) necessários para mantê-lo pertence à Estática.

Algumas das leis da Estática foram estabelecidas por Arquimedes (287 a.C.-212 a.C.), matemático e também físico notável. Era o único de seu tempo a conhecer profundamente os princípios da alavanca e das roldanas e é o autor da célebre frase: “Dêem-me um ponto de apoio e levantarei o mundo”.

A Estática é assunto relevante no cálculo de grandes estruturas tais como pontes e edifícios, em que a ausência de rotação e translação são condições necessárias e suficientes para mantê-los em equilíbrio.

Esta ciência mostra e justifica a diferença entre tentar fechar uma porta aplicando a força perto da dobradiça ou distante dela, ou ainda entre aplicar a força no ponto mais distante ou mais próximo do eixo de rotação de uma chave de boca, quando queremos retirar a porca de um parafuso.



Mauricio Sotomayor/Pulsar



Sergio Datta Jr/The New



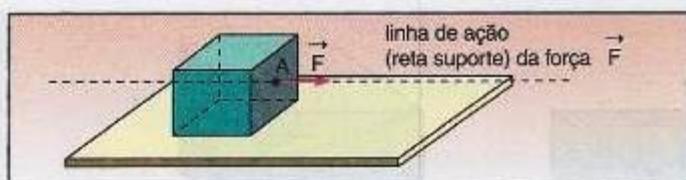
Ariane Elas/Agência

Os conhecimentos de Estática possibilitaram ao homem criar as chamadas máquinas simples — como a alavanca, o plano inclinado e as polias —, conseguindo levantar e locomover pesos bem acima de sua capacidade muscular. E mais: certas ferramentas — o martelo, por exemplo —, são feitas de forma que o homem consiga obter resultados melhores com menores esforços. Instrumentos como a balança de pratos têm seu princípio de funcionamento nos fundamentos da Estática.

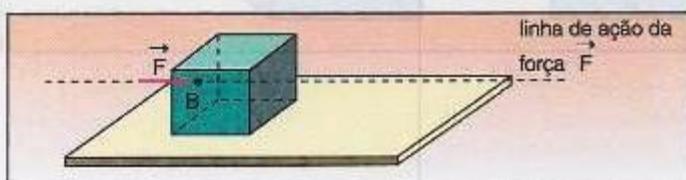
Pense na gangorra, na tesoura, nas roldanas, como funcionam e o porquê disso tudo. A Estática ajuda a entender essas questões.

PRINCÍPIO DE TRANSMISSIBILIDADE DAS FORÇAS

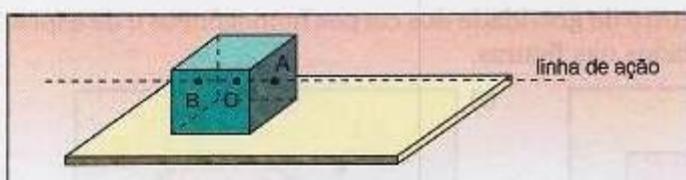
Vamos considerar dois casos.



1º caso: Puxamos um corpo de forma cúbica, aplicando uma força \vec{F} no ponto A , centro da face lateral direita do corpo.



2º caso: Empurramos esse corpo passando o ponto de aplicação da força \vec{F} para o ponto B , centro da face lateral esquerda.



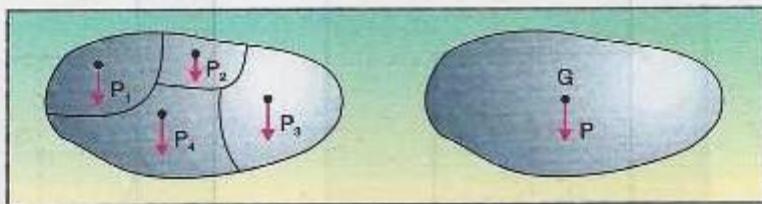
Nos dois casos, o efeito da força \vec{F} sobre o corpo é o mesmo. Isso sempre ocorrerá se o ponto de aplicação da força sobre o corpo estiver na linha de ação dessa força.

O efeito da força \vec{F} sobre o corpo é o mesmo se ela for aplicada nos pontos A , B ou C de sua linha de ação.

O efeito de uma força sobre um corpo não se altera quando deslocamos seu ponto de aplicação ao longo de sua linha de ação.

CENTRO DE GRAVIDADE

Os corpos materiais podem ser considerados como um sistema de partículas, cada uma das quais atraída pela Terra com uma força igual ao peso da partícula.

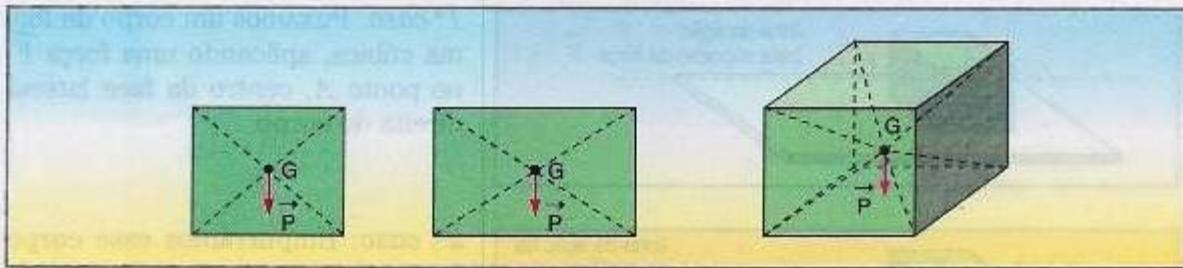


A resultante total de todas essas forças parciais é o peso total do corpo. Seja G o ponto no qual podemos considerar aplicado o peso total desse corpo. O ponto G é denominado centro de gravidade do corpo.

Centro de gravidade de um corpo é o ponto de aplicação da força peso.

A Terra atrai o corpo como se toda sua massa estivesse localizada no centro de gravidade.

Para os corpos homogêneos, isto é, de massa uniformemente distribuída, que admitem um eixo de simetria, seus centros de gravidade estão sobre esse eixo.

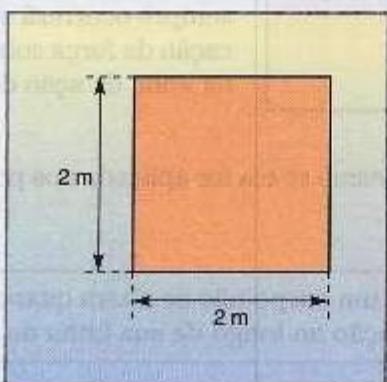


APLICAÇÃO

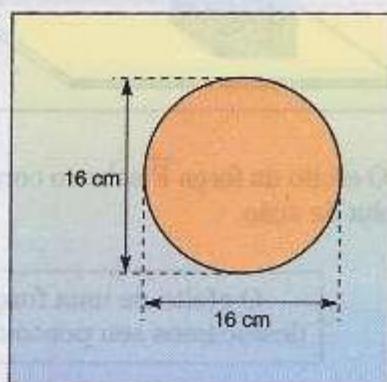
A1

Dê as coordenadas do centro de gravidade dos corpos homogêneos e de espessuras desprezíveis indicados nas figuras.

a)



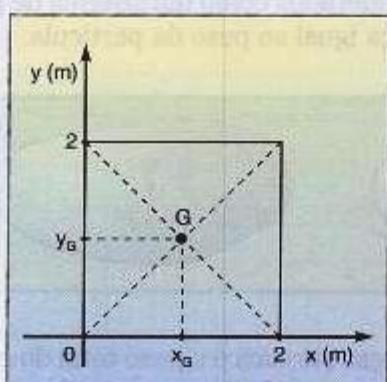
b)



Resolução:

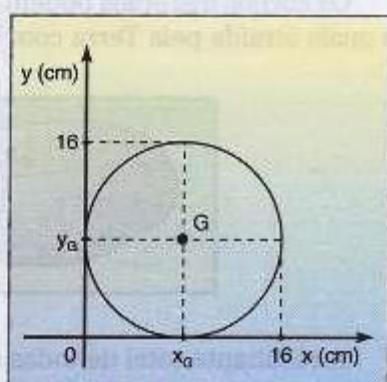
Estabelecendo os eixos x e y , temos:

a)



$$\begin{aligned}x_G &= 1 \text{ m} \\y_G &= 1 \text{ m}\end{aligned} \rightarrow G(1 \text{ m}, 1 \text{ m})$$

b)



$$\begin{aligned}x_G &= 8 \text{ cm} \\y_G &= 8 \text{ cm}\end{aligned} \rightarrow G(8 \text{ cm}, 8 \text{ cm})$$

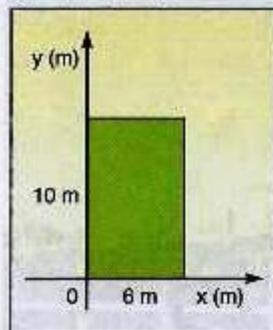
Respostas: a) G (1 m, 1 m); b) G (8 cm, 8 cm)

QUESTÕES

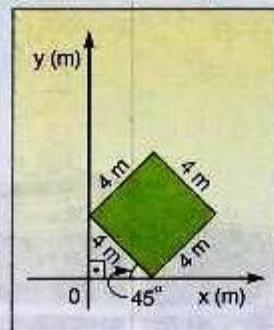
Q1 O que é o centro de gravidade de um corpo?

Q2 Ache as coordenadas do centro de gravidade dos corpos homogêneos e de espessuras desprezíveis indicados nas figuras.

a) G (3 m, 5 m)

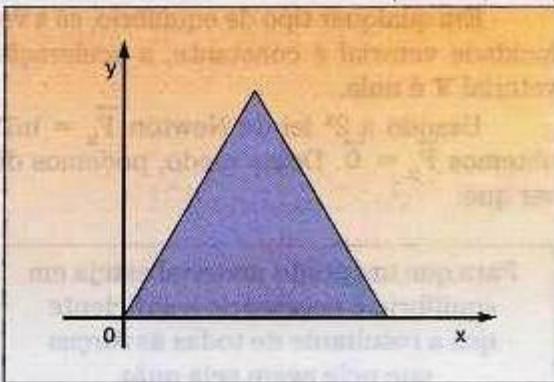


b) G (2\sqrt{2} m, 2\sqrt{2} m)



Q3 Calcule as coordenadas do centro de gravidade da chapa triangular equilátera, homogênea e de espessura desprezível indicada na figura. O lado do triângulo mede $40\sqrt{3}$ cm.

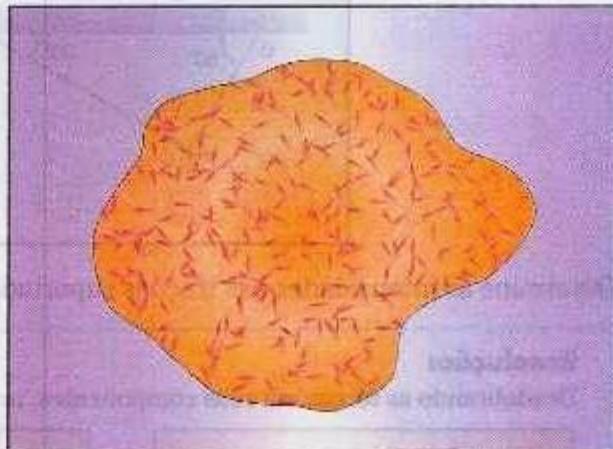
G (20\sqrt{3} cm; 20 cm)



PESQUISE

CÁDIADA

Como podemos determinar o centro de gravidade de um corpo de forma irregular e não-homogêneo?



CONDICÃO DE EQUILÍBRIO DE UM PONTO MATERIAL

Já vimos que um ponto material está em equilíbrio quando ocorre uma das seguintes situações:

- ✓ *equilíbrio estático*: o ponto material está em repouso ($\vec{v} = \vec{0}$)
- ✓ *equilíbrio dinâmico*: o ponto material está em MRU ($\vec{v} = \text{constante} \neq \vec{0}$)

As figuras a seguir mostram duas situações de equilíbrio.

Precollite

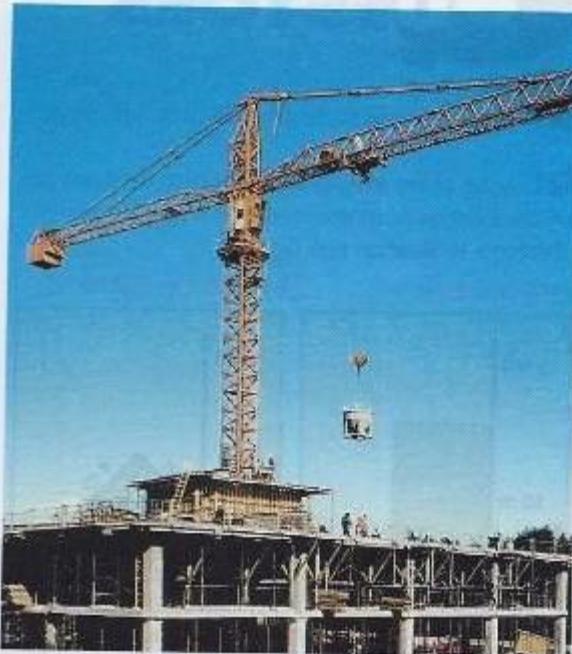


Civil Stock Photo

Em qualquer tipo de equilíbrio, se a velocidade vetorial é constante, a aceleração vetorial \vec{a} é nula.

Usando a 2^a lei de Newton $\vec{F}_R = m\vec{a}$, obtemos $\vec{F}_R = 0$. Desse modo, podemos dizer que:

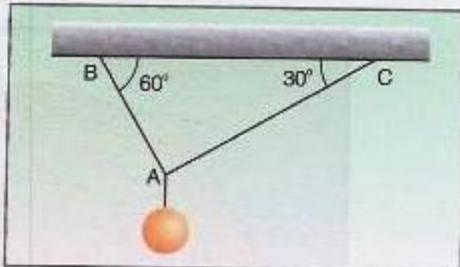
Para que um ponto material esteja em equilíbrio é necessário e suficiente que a resultante de todas as forças que nele agem seja *nula*.



APLICAÇÃO

A2

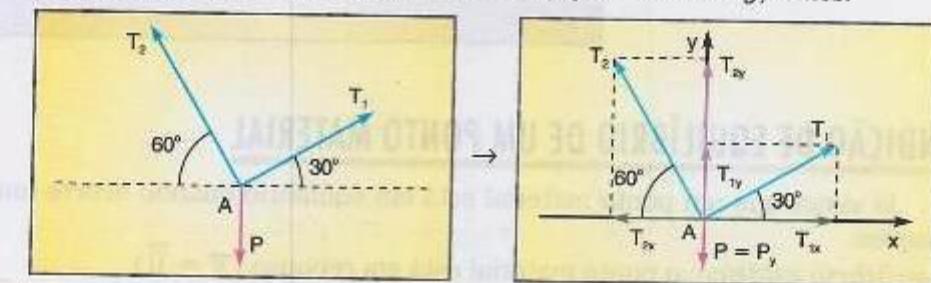
Um corpo de peso 80 N é mantido em equilíbrio por fios ideais, conforme indica a figura.



Determine as intensidades das trações suportadas pelos fios AB e AC.

Resolução:

Desdobrando as forças em suas componentes, nos eixos x e y , temos:



• Componentes em x

$$T_{1x} = T_1 \cdot \cos 30^\circ = T_1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{3} T_1}{2} \text{ N}$$

$$T_{2x} = T_2 \cdot \cos 60^\circ = T_2 \cdot \frac{1}{2} = \frac{T_2}{2} \text{ N}$$

$$P_x = P \cdot \cos 90^\circ = P \cdot 0 = 0$$

• Componentes em y

$$T_{1y} = T_1 \cdot \sin 30^\circ = T_1 \cdot \frac{1}{2} = \frac{T_1}{2} \text{ N}$$

$$T_{2y} = T_2 \cdot \sin 60^\circ = T_2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{3} T_2}{2} \text{ N}$$

$$P_y = P \cdot \sin 90^\circ = P \cdot 1 = 80 \text{ N}$$

• Cálculo de R_x

$$R_x = T_{1x} - T_{2x}$$

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{2} T_1 - \frac{T_2}{2}$$

• Cálculo de R_y

$$R_y = T_{1y} + T_{2y} - P_y$$

$$R_y = \frac{T_1}{2} + \frac{\sqrt{3} T_2}{2} - 80$$

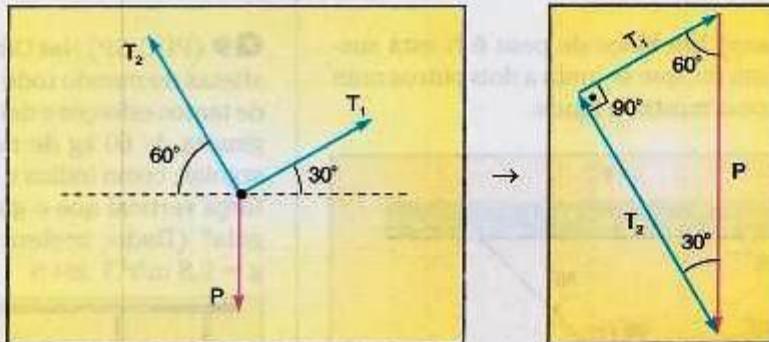
Como o ponto A_2 está em equilíbrio, devemos ter:

$$R_x = 0 \rightarrow \frac{\sqrt{3}}{2} T_1 - \frac{T_2}{2} = 0 \quad \textcircled{1}$$

$$R_y = 0 \rightarrow \frac{T_1}{2} + \frac{\sqrt{3} T_2}{2} - 80 = 0 \quad \textcircled{2}$$

Resolvendo o sistema, obtemos: $T_1 = 40 \text{ N}$ e $T_2 = 40\sqrt{3} \text{ N}$.

Podemos resolver este exemplo de uma maneira mais simples usando a lei dos senos. Para tanto, vamos deslocar algumas dessas forças mantendo suas direções para construir um polígono fechado.



$$\frac{\sin 90^\circ}{P} = \frac{\sin 60^\circ}{T_2} = \frac{\sin 30^\circ}{T_1} \rightarrow \frac{1}{80} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{T_2} = \frac{\frac{1}{2}}{T_1} \rightarrow \frac{1}{80} = \frac{\frac{1}{2}}{T_1} = T_1 = 40 \text{ N}$$

$$\frac{1}{80} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{T_2} \rightarrow T_2 = 40\sqrt{3} \text{ N}$$

Esse método só pode ser aplicado quando tivermos três forças.

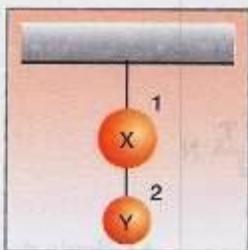
Respostas: $T_1 = 40 \text{ N}$ e $T_2 = 40\sqrt{3} \text{ N}$

QUESTÕES

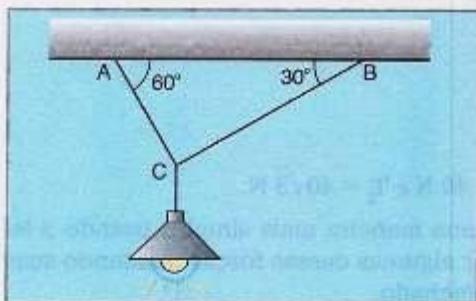
Q4 Quando uma partícula está em equilíbrio estático? E em equilíbrio dinâmico?

Q5 O esquema representa dois corpos, X e Y , de pesos respectivamente iguais a 30 N e 20 N, suspensos por fios, 1 e 2, ideais.

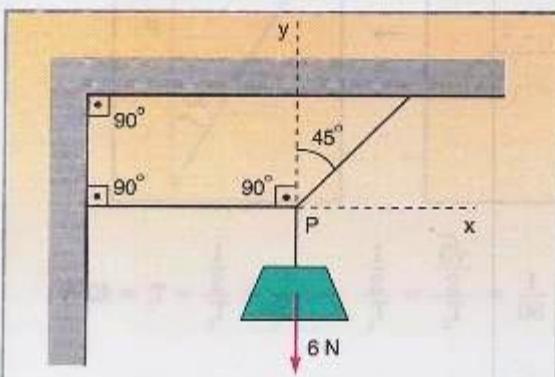
Calcule a intensidade da tração nos fios 1 e 2.
 $T_1 = 50\text{ N}$ e $T_2 = 20\text{ N}$.



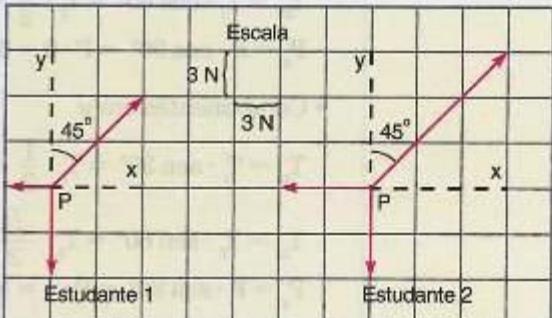
Q6 Uma luminária cujo peso é 100 N está suspensa por duas cordas, AC e BC, conforme indica a figura. Determine a força de tração em cada corda. $50\sqrt{3}\text{ N}$ e 50 N



Q7 (Vunesp) Um bloco de peso 6 N está suspenso por um fio, que se junta a dois outros num ponto P , como mostra a figura.



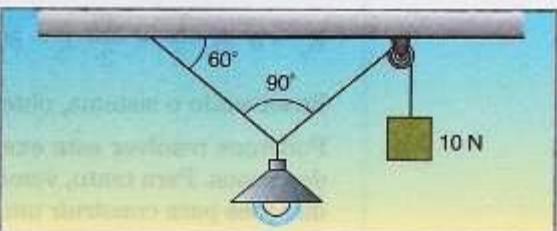
Dois estudantes, tentando representar as forças que atuam em P e que o mantêm em equilíbrio, fizeram os seguintes diagramas vetoriais, usando a escala indicada na figura.



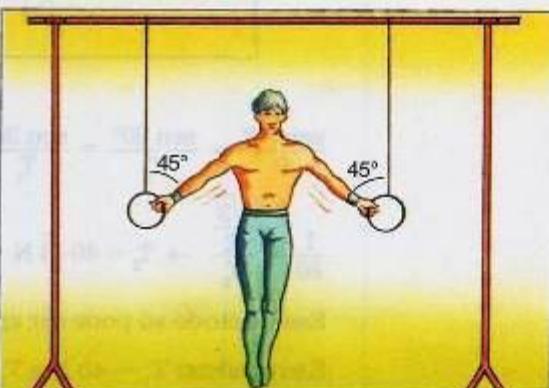
- a) Algum dos diagramas está correto? **não**
 b) Justifique sua resposta. **resposta no final do livro**

Q8 (Fatec-SP) A posição de uma luminária pode ser acertada com o auxílio de um contrapeso, conforme o esquema.

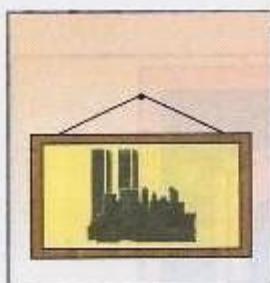
Para a situação representada, o contrapeso é de 10 N. Qual o peso da luminária? **20 N**



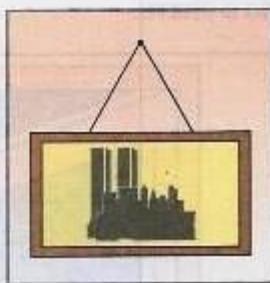
Q9 (PUC-SP) Nas Olimpíadas de Barcelona, os atletas do mundo todo mostraram os resultados de tantos esforços e determinação. Considere um ginasta de 60 kg de massa equilibrando-se nas argolas, como indica o desenho. Qual o valor da força vertical que o ginasta exerce em cada argola? (Dado: aceleração da gravidade local: $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.) **294 N**



Q10 (EFOA-MG) As figuras mostram duas maneiras diferentes de se pendurar o mesmo quadro numa parede, usando fio de mesmo tipo.



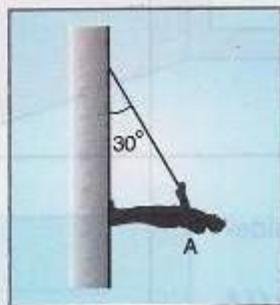
Situação 1



Situação 2

- Em qual das situações a força tensora no fio é menor? [situação 2](#)
- Justifique sua resposta. [resposta no final do livro](#)

Q11 O homem indicado na figura tem massa 70 kg e está em equilíbrio. Sabendo que o homem se encontra numa posição horizontal, que seu peso age no ponto A e que $\cos 30^\circ = 0,8$, calcule:

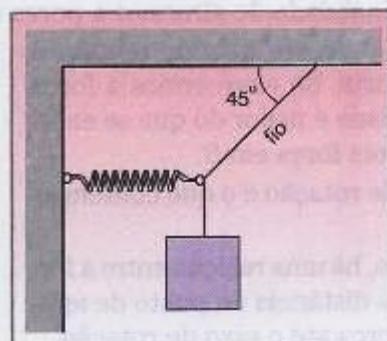


- a força tensora no fio [875 N](#)
- a reação oposta aos pés do homem, pela parede [437,5 N](#)

Q12 A mola representada na figura está em equilíbrio, na posição horizontal, tem constante elástica $k = 2,0 \cdot 10^8 \text{ N/m}$ e peso desprezível. O corpo suspenso pesa $5,0 \cdot 10^2 \text{ N}$.

Calcule:

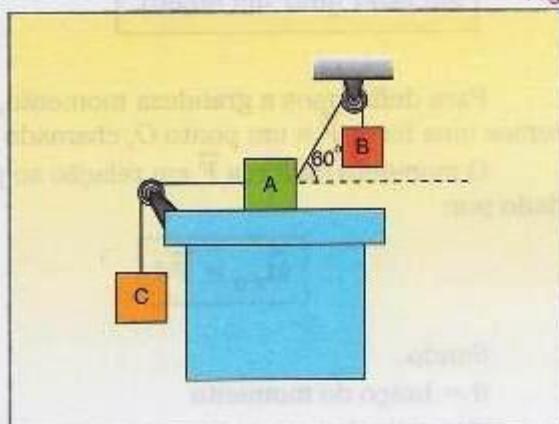
- a deformação da mola [25 cm](#)
- a intensidade da força tensora no fio [500\sqrt{2} N](#)



Q13 Um bloco A de 10 kg encontra-se em repouso sobre um plano horizontal liso, conforme a figura abaixo.

Considere as polias e os fios ideais e $g = 10 \text{ m/s}^2$. Sabendo que a massa do bloco C que equilibra o sistema é de 2 kg, calcule a massa do bloco B.

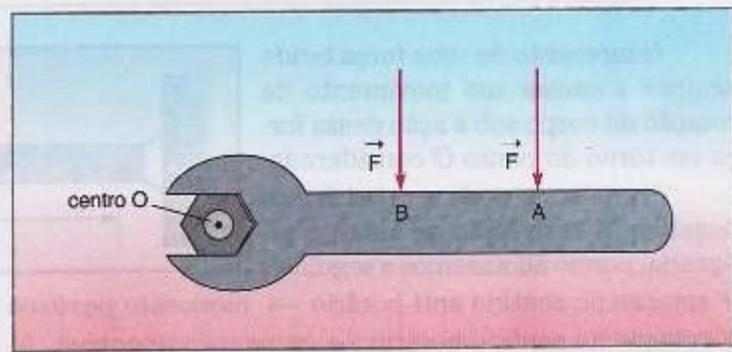
[4 kg](#)



MOMENTO DE UMA FORÇA

Imaginemos uma pessoa tentando girar uma porca com uma chave.

Direc Stock Photo



Utilizando forças de mesmo valor, será mais fácil girar a porca em torno de seu centro O se a força for aplicada no ponto A , em vez de ser aplicada no ponto B .

Quanto maior for a *distância* do ponto de aplicação da força até o centro O da porca, maior será a facilidade de girarmos a porca usando a chave.

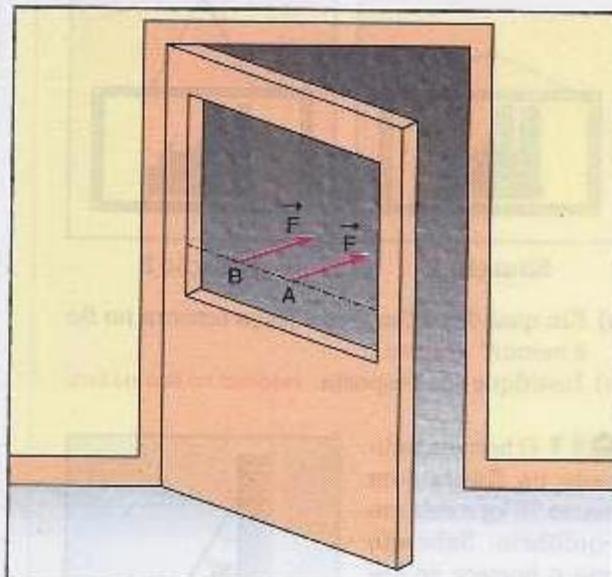
O mesmo ocorre quando tentamos fechar uma porta. Se exercermos a força em A , a facilidade é maior do que se exercermos a mesma força em B .

O eixo de rotação é o que contém as dobradiças.

Portanto, há uma relação entre a força aplicada e a distância do ponto de aplicação dessa força até o eixo de rotação.

A grandeza física que relaciona essas duas grandezas é chamada *momento de uma força ou torque*.

Momento de uma força é a capacidade dessa força em fazer girar um objeto.



Para definirmos a grandeza momento, consideremos uma força \vec{F} e um ponto O , chamado *pólo*.

O momento da força \vec{F} em relação ao ponto O é dado por:

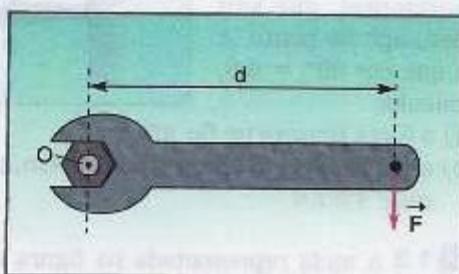
$$\vec{M}_{F,O} = \vec{F}d$$

Sendo:

d = braço do momento

O = pólo do momento

A unidade de momento no SI é o $N \cdot m$ ou Nm .

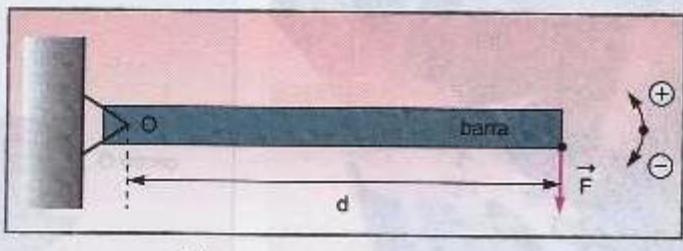


Momento de uma força \vec{F} , em relação a um ponto O fixo, é o produto da intensidade da força \vec{F} pela distância d do ponto à reta suporte da força.

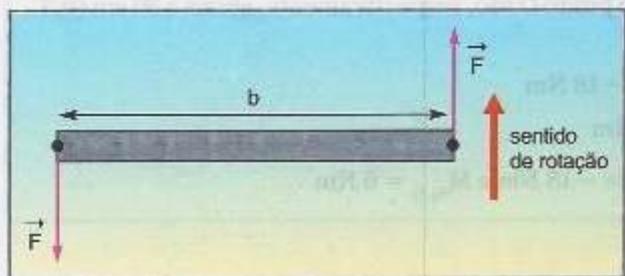
O momento de uma força tende sempre a causar um movimento de rotação do corpo sob a ação dessa força em torno do ponto O considerado.

O momento pode ser positivo ou negativo. A conversão de sinais é arbitrária, porém adotaremos a seguinte:

- ✓ rotação no sentido anti-horário → *momento positivo*
- ✓ rotação no sentido horário → *momento negativo*



Duas forças de mesma intensidade, mesma direção, sentidos opostos e aplicadas em pontos distintos de um mesmo corpo formam um **binário**.



Silentstock

Observe que:

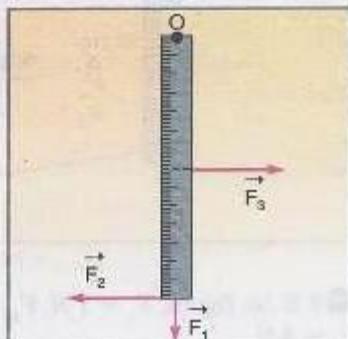
- ✓ um binário tende a produzir apenas uma rotação no corpo em que é aplicado e só pode ser equilibrado por outro binário, pois uma outra força sozinha que atuasse no corpo provocaria uma resultante $R \neq 0$
- ✓ a resultante de um binário é nula

APLICAÇÃO

A3

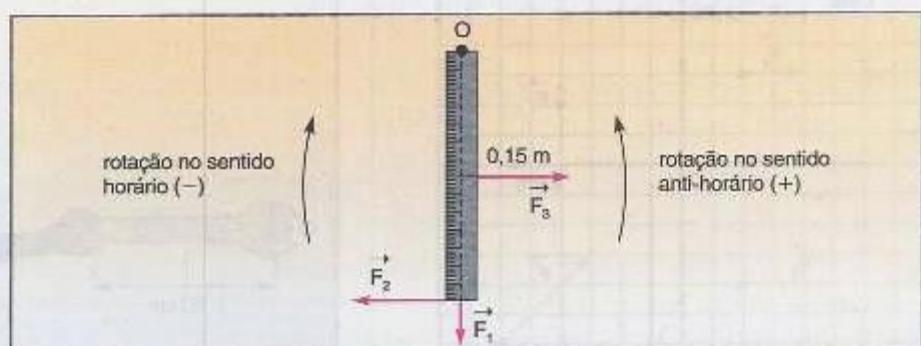
Uma régua de 30 cm de comprimento é fixada numa parede no ponto O , conforme figura ao lado, em torno do qual ela pode girar.

Calcule os momentos das forças $F_1 = 50\text{ N}$, $F_2 = 60\text{ N}$ e $F_3 = 40\text{ N}$, em relação ao ponto O .



Resolução:

Esquema



O momento de \vec{F}_1 em relação a O é nulo, pois a distância do ponto O até a linha de ação de \vec{F}_1 é nula.

$$M_{F_1, O} = 0$$

As distâncias de \vec{F}_2 e \vec{F}_3 até o ponto O são, respectivamente, iguais a 30 cm (0,3 m) e 15 cm (0,15 m). Logo:

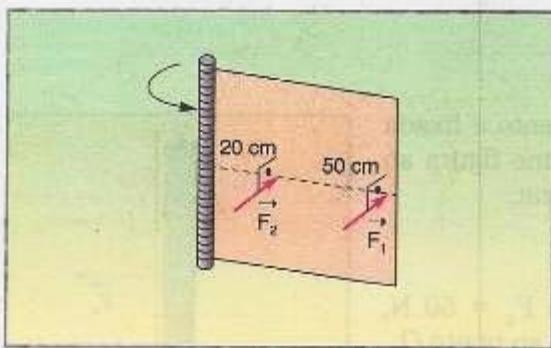
$$M_{F_2, O} = -F_2 d = -60 \cdot 0,3 = -18 \text{ Nm}$$

$$M_{F_3, O} = F_3 d = 40 \cdot 0,15 = 6 \text{ Nm}$$

Resposta: $M_{F_1, O} = 0$, $M_{F_2, O} = -18 \text{ Nm}$ e $M_{F_3, O} = 6 \text{ Nm}$

QUESTÕES

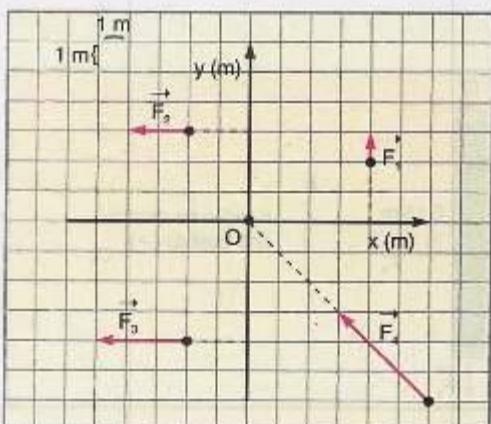
Q14 Calcule o momento das forças $F_1 = 10 \text{ N}$ e $F_2 = 20 \text{ N}$ em relação ao eixo que passa pelas dobradiças.



$$M_{F_1, O} = 7 \text{ Nm} \quad M_{F_2, O} = 4 \text{ Nm}$$

Q15 Na figura, $F_1 = 1 \text{ N}$, $F_2 = 2 \text{ N}$, $F_3 = 3 \text{ N}$ e $F_4 = 4 \text{ N}$.

Calcule o momento de cada uma dessas forças em relação à origem do sistema cartesiano.



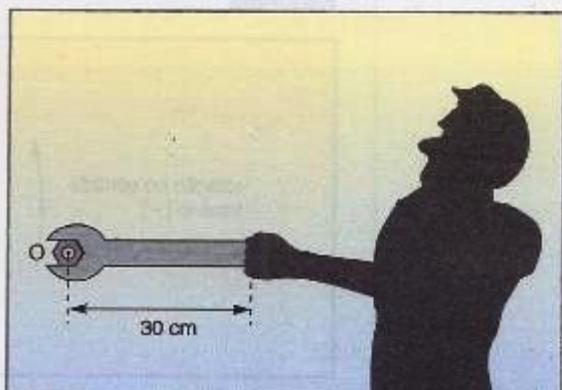
$$M_{F_1, O} = 4 \text{ Nm}; M_{F_2, O} = 6 \text{ Nm}; M_{F_3, O} = -12 \text{ Nm}; M_{F_4, O} = 0$$

Q16 As latas de tinta estão sendo abertas de dois modos diferentes: com uma moeda e com uma chave de fenda. Qual a forma mais fácil? Justifique sua resposta.

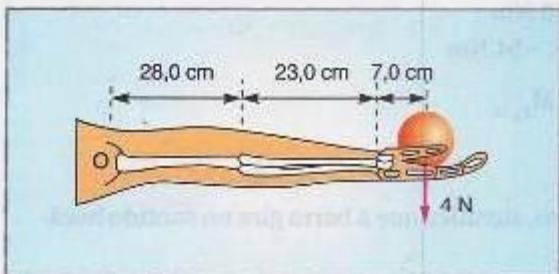


A forma mais fácil é com a chave de fenda, pois com ela o braço do momento é maior.

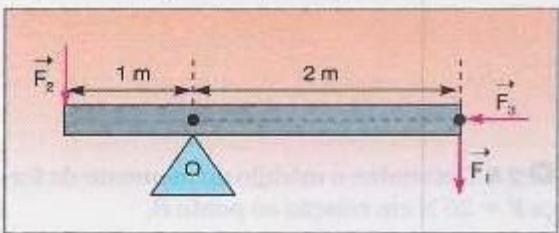
Q17 O homem indicado na figura aplica uma força F vertical, para baixo, de intensidade 20 N em uma chave disposta horizontalmente para girar um parafuso. Calcule o momento dessa força em relação ao ponto O . -6 Nm



- Q18** A figura indica a posição de um braço humano que tem na palma da mão uma esfera de 4 N. Calcule o momento dessa força em relação ao ponto O . $-2,32 \text{ Nm}$



- Q19** Determine o momento das forças \vec{F}_1 , \vec{F}_2 e \vec{F}_3 de intensidades respectivamente iguais a 5 N, 6 N e 8 N, em relação ao polo O .



10 Nm, 6 Nm e zero

- Q20** Qual o efeito que o momento de uma força causa num corpo? *resposta no final do livro*

- Q21** Em quais das situações a seguir a pessoa está aplicando um binário? *alternativas a e c*



MOMENTO RESULTANTE

Se um corpo está sob a ação de várias forças, o momento resultante desse sistema de forças em relação a um ponto é a soma algébrica dos momentos das forças componentes em relação ao mesmo ponto.

APLICAÇÃO

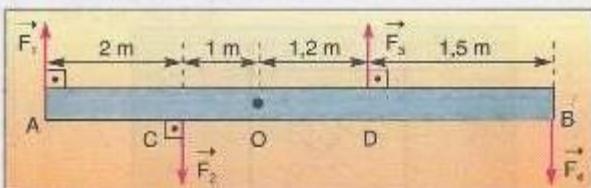
A4

Considerem-se as forças atuantes sobre a barra AB, de peso desprezível, indicadas na figura.

Dados:
$$\begin{cases} F_1 = 8 \text{ N} \\ F_2 = 6 \text{ N} \\ F_3 = 10 \text{ N} \\ F_4 = 20 \text{ N} \end{cases}$$

Determine:

- o momento de cada uma das forças em relação ao ponto O
- o momento resultante em relação ao ponto O



Resolução:

$$\begin{aligned}
 \text{a) } M_{F_1,O} &= -F_1 \cdot \overline{AO} = -8 \cdot 3 = -24 \text{ Nm} \\
 M_{F_2,O} &= +F_2 \cdot \overline{CO} = 6 \cdot 1 = 6 \text{ Nm} \\
 M_{F_3,O} &= +F_3 \cdot \overline{OD} = 10 \cdot 1,2 = 12 \text{ Nm} \\
 M_{F_4,O} &= -F_4 \cdot \overline{OB} = -20 \cdot 2,7 = -54 \text{ Nm} \\
 \text{b) } \Sigma_O M &= M_{F_1,O} + M_{F_2,O} + M_{F_3,O} + M_{F_4,O} \\
 \Sigma_O M &= -24 + 6 + 12 - 54 \\
 \Sigma_O M &= -60 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

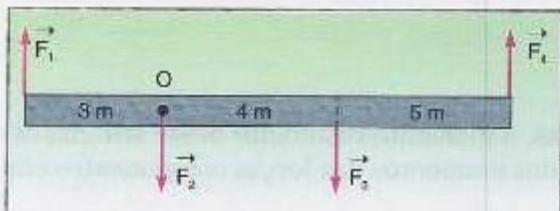
Se o momento resultante é negativo, significa que a barra gira no sentido horário.

Respostas: a) Os momentos parciais são -24 Nm, 6 Nm, 12 Nm e -54 Nm;
b) O momento resultante é -60 Nm.

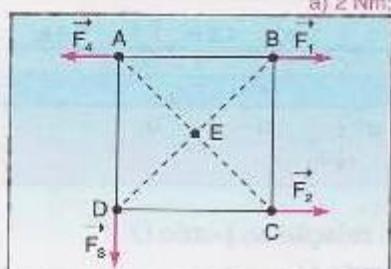
QUESTÕES

Q22 Uma barra de peso desprezível está sob a ação de forças, como indica a figura. Dados $F_1 = 10 \text{ N}$, $F_2 = 8 \text{ N}$, $F_3 = 6 \text{ N}$ e $F_4 = 4 \text{ N}$, determine:

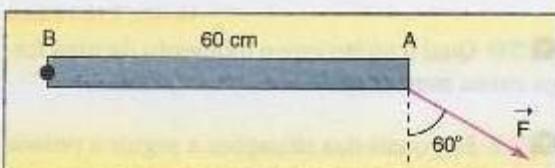
- o momento de cada força em relação ao ponto O -30 Nm, 0, -24 Nm e 36 Nm
- o momento resultante em relação a O -18 Nm
- o sentido em que a barra gira horário



Q23 Sobre os vértices de um corpo quadrado, de lado 20 cm, agem as forças indicadas na figura. Sendo $F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = 10 \text{ N}$, calcule:
a) o momento resultante em relação ao ponto A
b) o momento resultante em relação ao ponto E

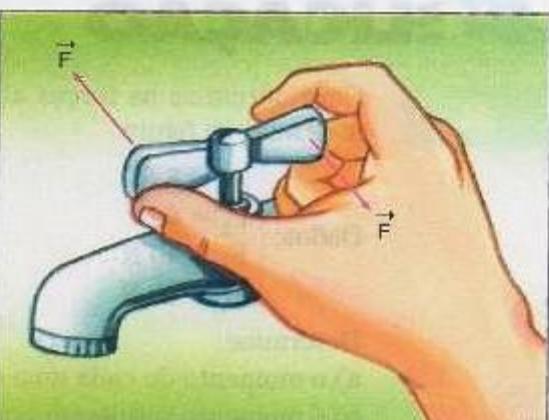


Q24 Determine o módulo do momento da força $F = 20 \text{ N}$ em relação ao ponto B .



Sugestão: Decomponha a força \vec{F} e calcule o momento resultante.

Q25 Cada uma das forças exercidas pelo polegar e pelo indicador no fechamento de uma torneira tem intensidade 6 N. As forças são aplicadas em dois pontos distantes entre si 5 cm. Qual o valor do momento desse binário? 0,3 N · m



EQUILÍBRIO ESTÁTICO DE UM CORPO EXLENDO

As condições necessárias e suficientes para que um corpo extenso, isto é, de dimensões não-desprezíveis, se mantenha em equilíbrio estático são:

CONDIÇÕES	
1 ^a	2 ^a
A resultante de todas as forças que nele agem é nula. $R = 0 \rightarrow \begin{cases} R_x = 0 \\ R_y = 0 \end{cases}$ Esta condição faz com que o corpo não tenha movimento de translação.	A soma algébrica dos momentos de todas as forças que nele atuam em relação a um mesmo ponto é nula. $\Sigma M = 0$ Esta condição faz com que o corpo não tenha movimento de rotação.

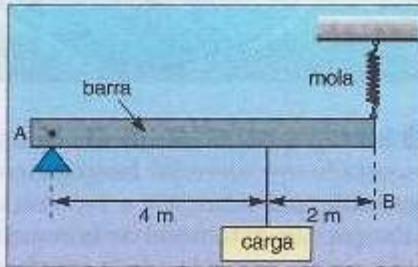
APLICAÇÃO

5

A barra AB da figura tem peso 1 000 N e está em equilíbrio, na horizontal, conforme indica a figura ao lado.

Sabendo que a deformação da mola é de 20 cm e o peso da carga pendurada é 2 250 N, calcule:

- a reação do apoio em A
- a constante elástica da mola



Resolução:

- Isolamos as forças na figura ao lado.

Como a barra está em equilíbrio, e tomando o ponto A como polo dos momentos, temos:

1^a condição:

$$R = 0 \rightarrow N_A + F = P + P_C$$

$$N_A + F = 3\,250 \quad (1)$$

2^a condição:

$$\Sigma_A M = 0 \rightarrow \overline{M}_{N_A, A} + \overline{M}_{P_A, A} + \overline{M}_{P_{C,A}, A} + \overline{M}_{F, A} = 0$$

$$0 - P \cdot AG - P_C \cdot AC + F \cdot AB = 0$$

$$-1\,000 \cdot 3 - 2\,250 \cdot 4 + F \cdot 6 = 0$$

$$F = 2\,000 \text{ N}$$

Substituindo em (1), vem:

$$N_A + 2\,000 = 3\,250 \rightarrow N_A = 1\,250 \text{ N}$$

- Utilizando a lei de Hooke, temos:

$$F = kx \rightarrow 2\,000 = k \cdot 20 \rightarrow k = 100 \text{ N/cm}$$

Respostas: a) 1 250 N; b) 100 N/cm

QUESTÕES

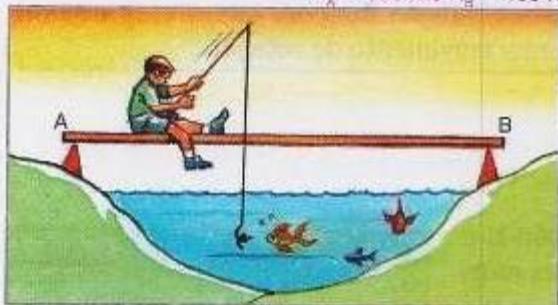
DURÍSSIMO ESTÁTICO DE UM CORPO ELÁSTICO

Q26 Quais as condições para que um corpo extenso fique em equilíbrio? *resposta no final do livro*

Q27 (Vest.RJ) Um menino, de massa igual a 40 kg, está sobre uma tábua de 2,00 m de comprimento, a 0,500 m do apoio A, conforme indica a figura.

Desprezando os pesos da tábua e da vara de pesca e considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine a intensidade das reações nos apoios A e B.

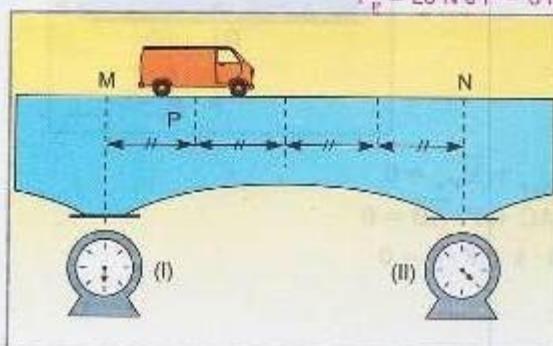
$$R_A = 300 \text{ N e } R_B = 100 \text{ N}$$



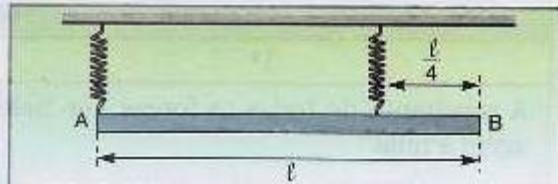
Q28 Um modelo (maquete) de uma ponte é recortado em material homogêneo (madeira prensada, por exemplo) e repousa sobre duas balanças. Um automóvel de brinquedo anda sobre a ponte com velocidade constante. No instante em que o automóvel passa por P, tal que

$MP = \frac{1}{4} MN$, as indicações das balanças são: balança I: 16 N e balança II: 12 N. Determine os pesos do modelo da ponte e do automóvel.

$$P_r = 20 \text{ N e } P = 8 \text{ N}$$

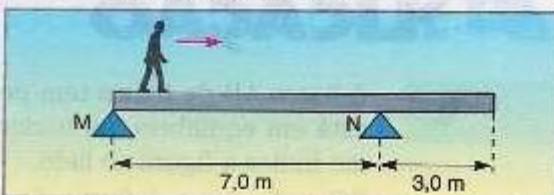


Q29 A barra da figura é sustentada por duas molas, uma de constante elástica k_1 , posta no extremo A, e outra de constante elástica k_2 , colocada à distância $\frac{\ell}{4}$ do extremo B.



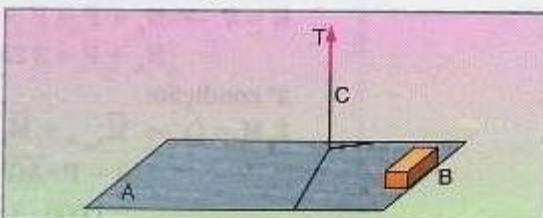
Sabendo que o peso da barra é de 30 N, calcule k_1 e k_2 de modo que ambas as molas tenham um alongamento de 4 cm. $k_1 = 250 \text{ N/m}$ e $k_2 = 500 \text{ N/m}$

Q30 (UFAL) Uma prancha de madeira, homogênea, de comprimento 10 m e pesando 600 N é mantida horizontal, apoiada nos pontos M e N, como mostra a figura abaixo.



Um homem de peso 800 N caminha sobre a prancha, partindo de M, com velocidade constante de 50 cm/s. Determine o intervalo de tempo, em segundos, que o homem pode caminhar sobre a prancha sem que a mesma vire. *17 s*

Q31 (UERJ) O esquema abaixo representa um sistema composto por uma placa homogênea (A) de seção reta uniforme, que sustenta um tijolo (B) em uma de suas extremidades e está suspensa por um fio (C).



Considerando que a placa mede 3,0 m de comprimento, tem peso de 30 N, e que o tijolo pesa 20 N, calcule:

- a que distância do tijolo o fio deve estar amarrado, de modo que o sistema fique em equilíbrio na horizontal *0,9 m*
- b) a força de tração (T) no fio, se o sistema subir com aceleração de $2,0 \text{ m/s}^2$ *51 N*

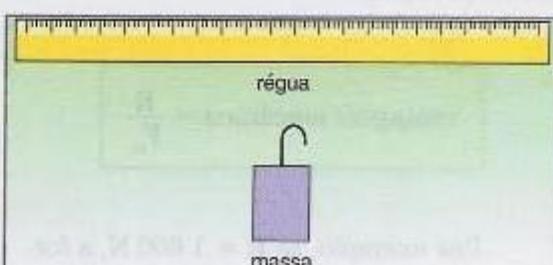
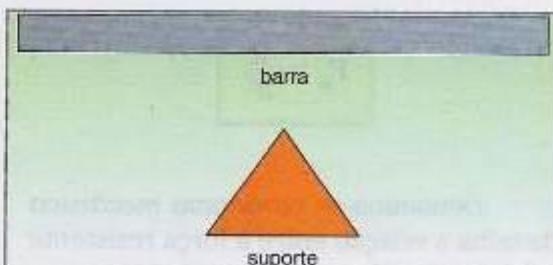
Q32 Um homem e um menino se propõem a transportar um pedaço de madeira de 9 m de comprimento e 500 N de peso, cujo centro de gravidade está situado a 2 m de uma das extremidades. Se o homem se colocar no extremo mais próximo do centro de gravidade, determine a posição que o menino deverá ocupar, a contar do outro extremo, para que faça um terço da força do homem. 1 m

Q33 (UFU-MG) Descreva um procedimento para se determinar a massa de uma barra homogênea (retilínea), utilizando apenas o seguinte material:

- uma barra homogênea, retilínea, rígida
- um corpo de massa conhecida, disposto de um gancho que permite que ele seja suspenso em qualquer posição da barra
- um suporte que permite apoiar a barra em qualquer posição, deixando-a girar livremente
- uma régua graduada

Observação:

Devem ser descritos todos os passos a serem realizados até se encontrar a massa da barra.



PESQUISE

Quando o equilíbrio é estável? E instável? E indiferente? Dê exemplos.

MÁQUINAS SIMPLES

O homem, com suas descobertas e criações, lentamente começou a compreender a natureza e aprendeu a controlá-la e aproveitá-la.

Para levantar e locomover grandes pesos acima de sua capacidade muscular, o homem criou instrumentos que facilitam sua ação, ampliando a força aplicada.

Esses instrumentos são chamados de *máquinas simples*.

Podemos citar como exemplos: alicates, pinças, chaves de fenda, saca-rolhas, torneiras, polias etc.

Algumas tarefas, tais como trocar o pneu do carro ou tirar um parafuso, seriam difíceis de realizar se não tivéssemos essas ferramentas para ampliar nossa força.

As máquinas simples mais comuns são a talha exponencial e a alavancas.

TALHA EXPOENCIAL

Consiste em uma associação de polias móveis com uma só polia fixa.

Vamos obter o valor da força motriz F_m que a pessoa deve exercer para sustentar o peso R .

✓ o peso R é equilibrado por duas forças de intensidade $\frac{R}{2}$

✓ o peso $\frac{R}{2}$ é equilibrado por duas forças de intensidade $\frac{R}{2^2}$

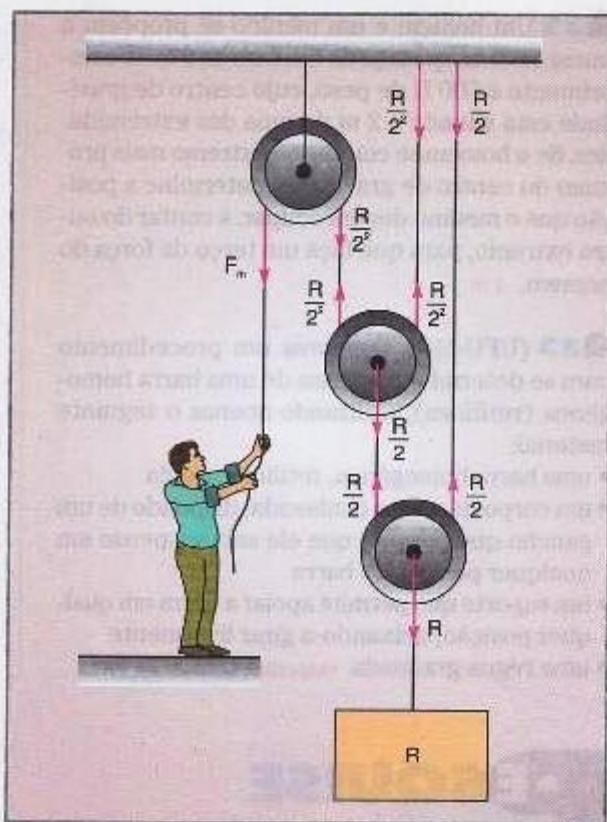
Se tivermos n polias móveis, a força motriz será:

$$F_m = \frac{R}{2^n}$$

Denomina-se *vantagem mecânica* da talha a relação entre a força resistente e a força motriz.

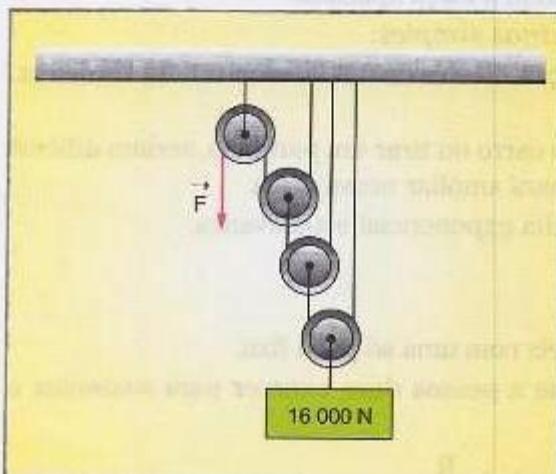
$$\text{vantagem mecânica} = \frac{R}{F_m}$$

Por exemplo, se $R = 1\,600\text{ N}$, a força que a pessoa deveria exercer para equilibrar o sistema seria $F_m = 400\text{ N}$, isto é, quatro vezes menor que o peso R . Logo, a vantagem mecânica dessa máquina seria igual a 4.



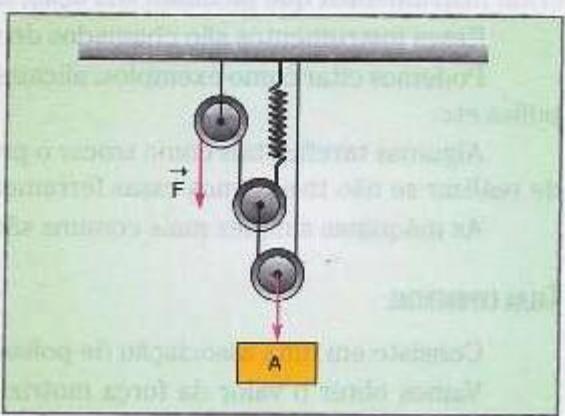
QUESTÕES

Q34 O corpo de peso 16 000 N indicado na figura está em equilíbrio estático.



Determine a intensidade de \vec{F} e a vantagem mecânica da talha. $2\,000\text{ N}$ e 8

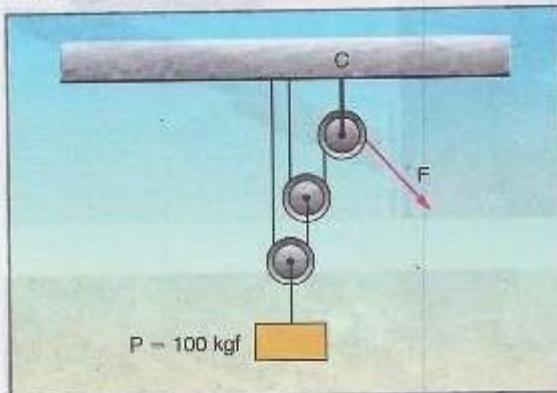
Q35 O sistema indicado na figura está em equilíbrio. Os fios e as polias são ideais.



A constante elástica da mola é igual a 40 N/cm e $F = 100\text{ N}$.

- Qual o valor do peso do corpo A ? 400 N
- Qual a deformação sofrida pela mola? $2,5\text{ cm}$

Q36 (UnB) Pela associação de roldanas fixas e móveis, uma pessoa pode levantar pesos muito grandes, acima de sua capacidade muscular. Por isso, vê-se, com freqüência, sistemas de roldanas sendo utilizados em canteiros de obras de construção civil.



Suponha que a figura ao lado represente o sistema utilizado pelos operários de uma obra para erguer, do solo até o segundo pavimento, um elevador de material de construção, com peso de 100 kgf.

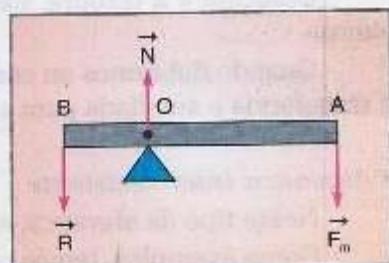
Com base na associação mostrada na figura, julgue os itens que se seguem.

- Se o peso das polias for desprezível, um operário deverá aplicar uma força F igual a 25 kgf para equilibrar o sistema. **verdadeiro**
- Se cada polia pesar 0,5 kgf, a força F que equilibrará o sistema será de 26,5 kgf. **falsa**
- Supondo que cada polia tenha um peso de 0,5 kgf, a reação do suporte, no ponto C, será igual a 51,25 kgf. **verdadeiro**
- Um operário, ao suspender o elevador, utilizando uma associação de polias como esta, realiza um trabalho bem menor do que aquele que realizaria sem tal dispositivo. **falsa**

ALAVANCA

É uma barra rígida que pode girar em torno de um ponto fixo chamado apoio ou fulcro.

Sérgio Corrêa / Arte do Rio



Na alavanca atuam três forças:

- ✓ \vec{F}_m = força motriz ou força potente (esforço)
- ✓ \vec{R} = força resistente (carga)
- ✓ \vec{N} = reação normal do apoio

Sendo:

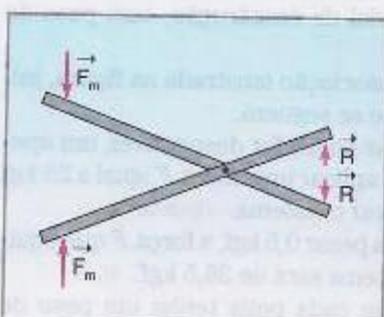
AO = braço da força motriz

OB = braço da força resistente

Estudaremos três tipos de alavanca: interfixa, inter-resistente e interpotente.

• Alavanca interfixa

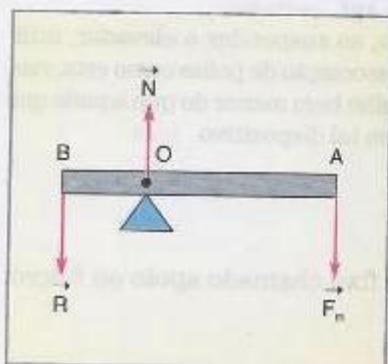
Nesse tipo de alavanca o fulcro fica entre a carga e o esforço.



Karen E. Gehrke



Corbis Stock Photo



Studio Gatti In The Park

O alicate e a tesoura, exemplos de alavancas interfixas, são associações de duas alavancas.

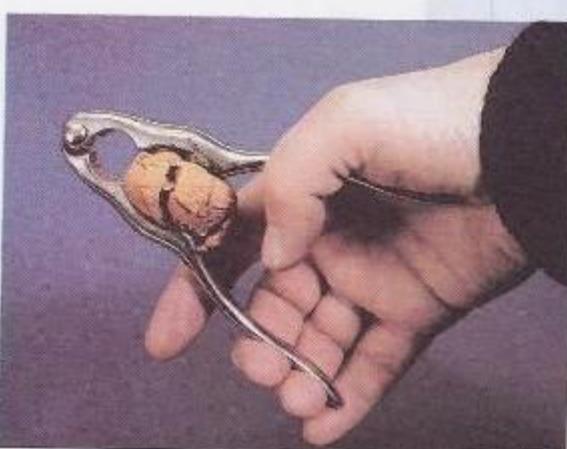
Quando dobrarmos ou cortarmos um pedaço de fio com um alicate, a força feita no cabo é transferida e ampliada para a extremidade contrária.

• Alavanca inter-resistente

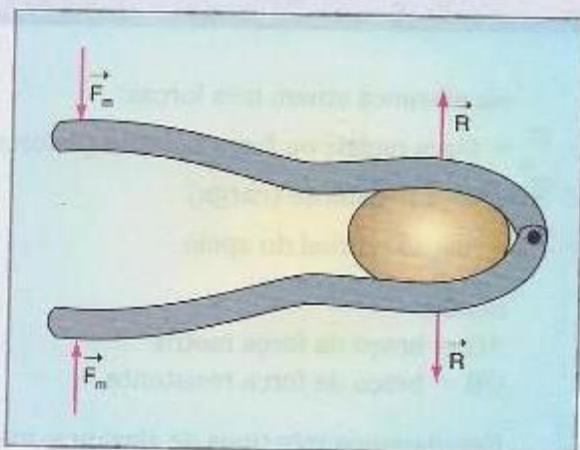
Nesse tipo de alavanca, a carga fica entre o fulcro e o esforço.

Como exemplos, temos o carrinho de mão e o quebra-nozes.

O quebra-nozes é uma associação de duas alavancas.

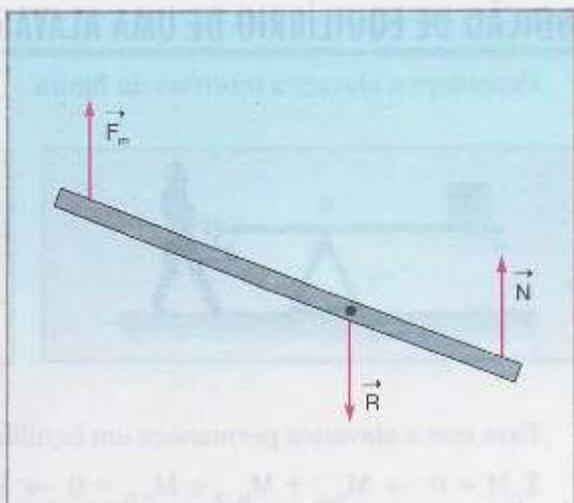


Corbis Stock Photo





Ministério do Trabalho



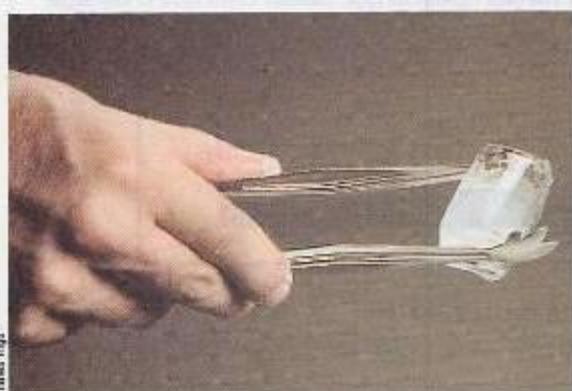
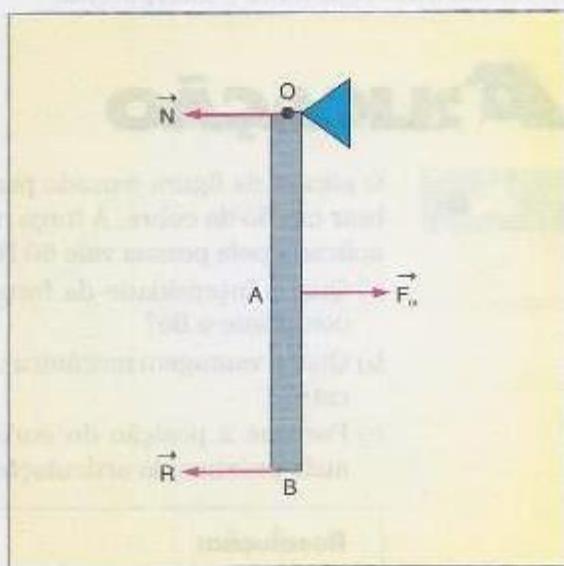
• Alavanca interpotente

Nessa alavanca, o esforço é aplicado entre o fulcro e a carga.

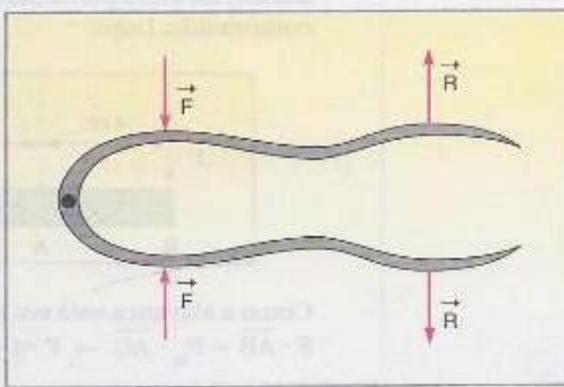
Como exemplos, temos a vassoura e o pegador de gelo.



Studio Duda InTheNext

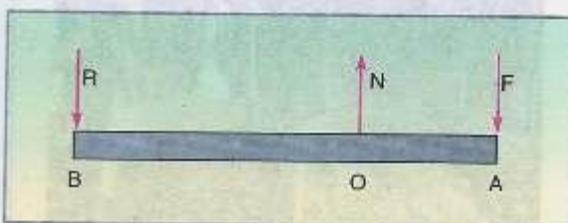
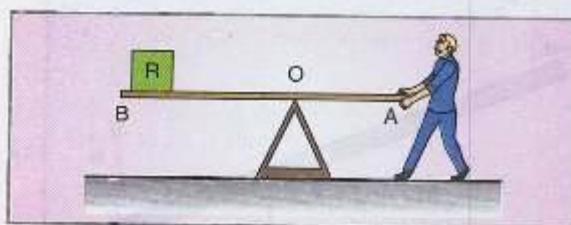


Theia Taqu



CONDIÇÃO DE EQUILÍBRIO DE UMA ALAVANCA

Considere a alavanca interfixa da figura.



Para que a alavanca permaneça em equilíbrio, devemos ter:

$$\sum_O M = 0 \rightarrow M_{R,O} + M_{N,O} + M_{F,O} = 0 \rightarrow R \cdot \overline{BO} + 0 - F \cdot \overline{AO} = 0 \\ R \cdot \overline{BO} = F \cdot \overline{AO}$$

Note que o produto da força resistente pelo seu braço é igual ao produto da força motriz pelo seu braço.

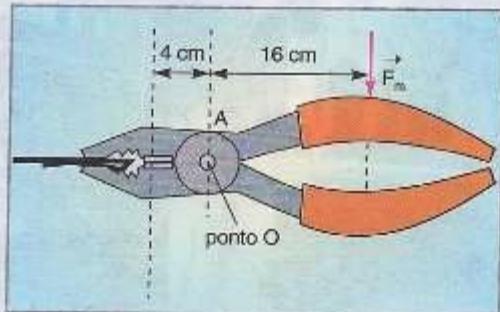
Essa relação, embora demonstrada para a alavanca interfixa, é válida também para as alavancas inter-resistente e interpotente.

APLICAÇÃO

A 6

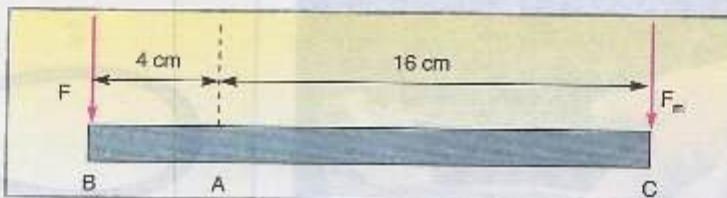
O alicate da figura é usado para dobrar um fio de cobre. A força motriz aplicada pela pessoa vale 60 N.

- Qual a intensidade da força que comprime o fio?
- Qual a vantagem mecânica do alicate?
- Por que a posição do corte fica mais próxima da articulação?



Resolução:

- O alicate é uma associação de duas alavancas. Ao se apertar o fio com o alicate, na outra ponta surgem forças opostas que fazem com que o fio seja comprimido. Logo:



Como a alavanca está em equilíbrio, temos:

$$F \cdot \overline{AB} = F_m \cdot \overline{AC} \rightarrow F \cdot 4 = 60 \cdot 16 \rightarrow F = 240 \text{ N}$$

b) A vantagem mecânica é dada por:

$$\text{vantagem mecânica} = \frac{F}{F_m} = \frac{240}{60} = 4$$

Isso significa que a força aplicada no cabo do alicate é ampliada quatro vezes.

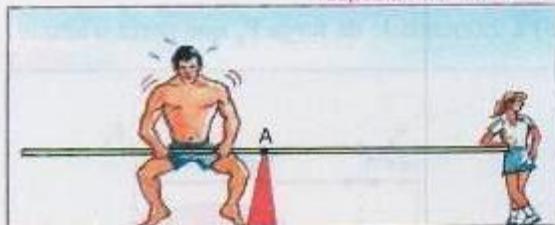
c) Porque, quanto menor a distância do corte até a articulação, maior será a força F , isto é, maior será a vantagem mecânica.

Respostas: a) 240 N; b) 4; c) Vide resolução.

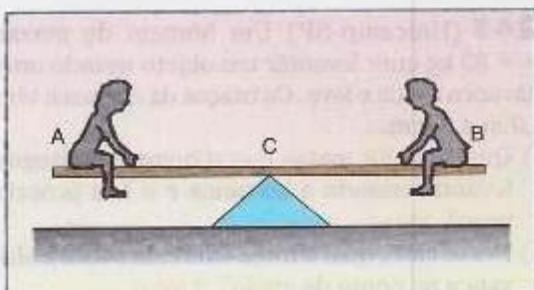
QUESTÕES

Q37 (UFRJ) A figura mostra uma haste rígida e homogênea presa no ponto central A , porém livre para girar no plano da figura. A garota consegue manter a haste em equilíbrio, apesar de o atleta ser mais forte que ela e estar fazendo uma força vertical para baixo e esforçando-se ao máximo. Explique como isso é possível.

resposta no final do livro

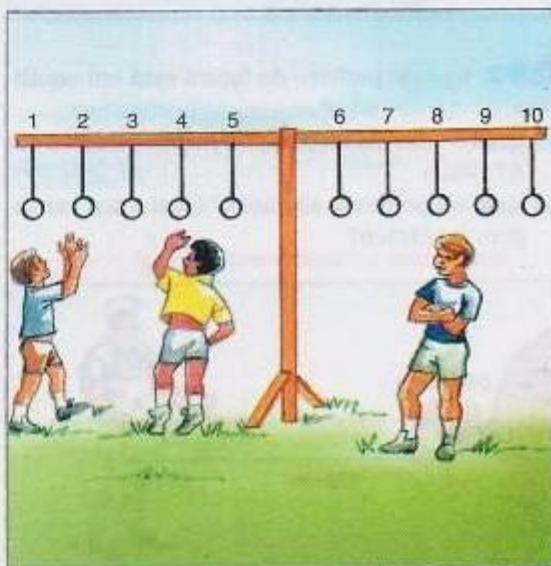


Q38 O esquema representa uma gangorra homogênea, com seção transversal constante, que tem 7 m de comprimento e está apoiada em C , distante 3 m de A . Na extremidade A está uma garota de peso 400 N. Qual é o peso do garoto sentado em B para que a gangorra fique em equilíbrio na horizontal? 300 N



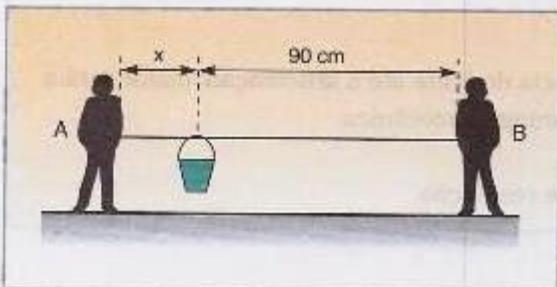
Q39 (UFPel-RS) Um novo brinquedo de uma praça infantil é formado por uma estrutura metálica que pode movimentar-se, como gangorra, apoiada em seu centro de gravidade. Cada criança pode pendurar-se em uma das alças coladas a espaços regulares, para cada lado, a partir do centro. Marco, de massa igual a 15 kg, pretende pendurar-se na alça nº 2, e Gerson, de massa igual a 20 kg, pretende pendurar-se na alça nº 4.

Com base nesses dados, responda: em que alça deverá pendurar-se Vitor, de massa igual a 50 kg, para que a estrutura fique em equilíbrio na posição horizontal? Justifique sua resposta. alça nº 7

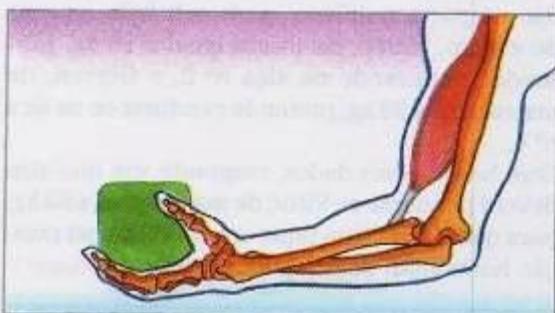


Q40 Dois garotos, A e B, carregam um balde de 300 N, conforme indica a figura.

Sabendo que o garoto A suporta uma carga duas vezes maior que a do garoto B, calcule a posição x do balde. **45 cm**



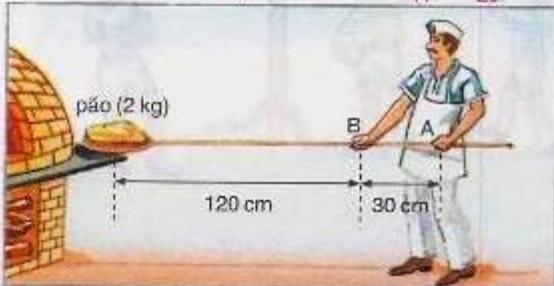
Q41 (UFPE) O músculo chamado "biceps braquial" é responsável pelo movimento do antebraço em relação ao braço, na articulação do cotovelo. Se a distância desse músculo ao cotovelo é oito vezes menor que a distância da mão ao cotovelo, qual é a força, em newtons, exercida pelo músculo, quando a mão segura um pacote de massa igual a 1,0 kg, com o braço na posição indicada na figura? Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$. **80 \text{ N}**



Q42 A pá de padeiro da figura está em equilíbrio.

- Qual o valor da força que o padeiro exerce em A? **100 N**
- Qual o tipo dessa alavanca? Qual a sua vantagem mecânica?

$$\text{Interpotente: vantagem mecânica} = \frac{F_m}{R} = \frac{100}{20} = 5$$

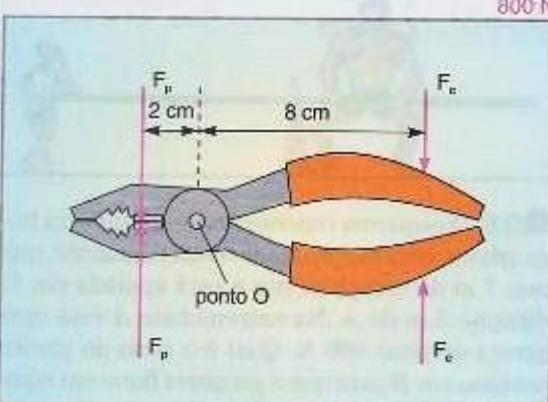


Q43 Analise as seguintes situações e identifique a errada. **alternativa c**

- Para um carpinteiro arrancar um prego com mais facilidade, deve usar o seu martelo de maior cabo e aplicar força na extremidade livre do cabo.
- Para levantar diretamente um dos lados de uma caixa, uma pessoa teria que fazer uma força de 1 000 N. Sendo incapaz de exercer essa força, a pessoa utiliza uma barra, de peso desprezível, como alavanca. Para realizar mais facilmente a tarefa, o ponto de apoio dessa alavanca deve estar mais próximo da caixa.
- Diz-se que um corpo extenso rígido está em equilíbrio em relação a um referencial quando a resultante das forças nela aplicadas for nula.
- A tábua de uma gangorra, homogênea e uniforme, está equilibrada horizontalmente. É possível equilibrar, nessa gangorra, uma criança de 15 kg com uma de 30 kg de massa.

Q44 (UFV-MG) Para cortar um arame, uma pessoa deve aplicar ao cabo de um alicate uma força F_c de 200 N, conforme ilustra a figura. Determine:

- a intensidade do torque de F_c em relação ao ponto O **16 N · m**
- a intensidade da força F_p que corta o arame



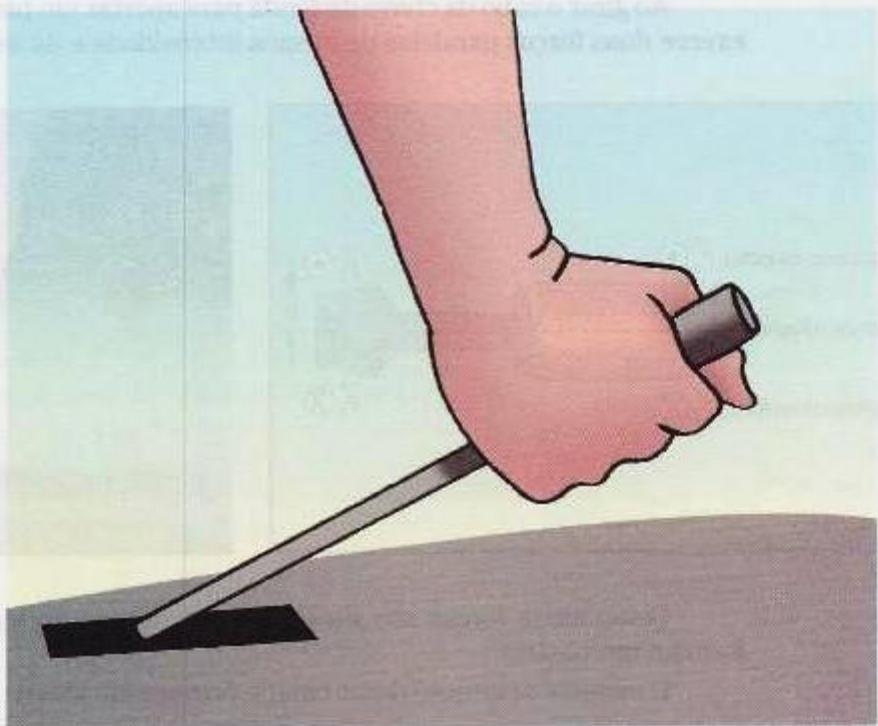
Q45 (Unicamp-SP) Um homem de massa $m = 80 \text{ kg}$ quer levantar um objeto usando uma alavanca rígida e leve. Os braços da alavanca têm 1,0 m e 3,0 m.

- Qual a maior massa que o homem consegue levantar usando a alavanca e o seu próprio peso? **240 kg**
- Nesse caso, qual a força exercida sobre a alavanca no ponto de apoio? **3 200 N**

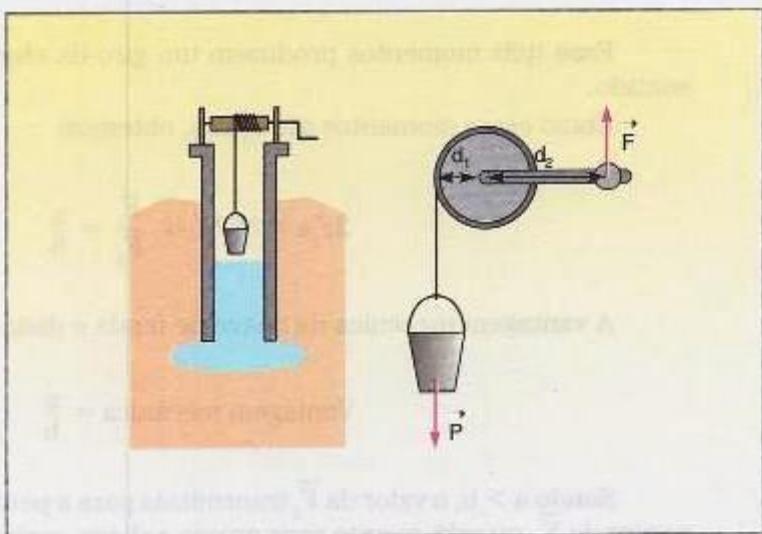
PESQUISE

CANAL 3

I) Como funciona o freio de mão de um carro?



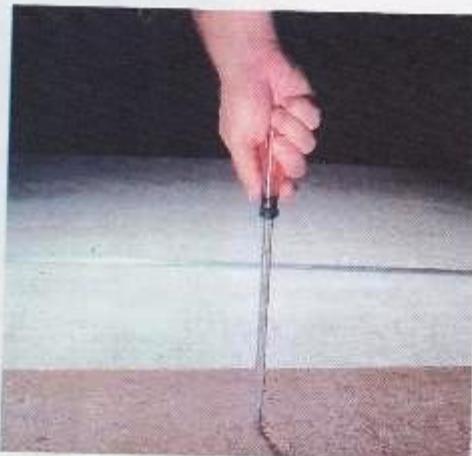
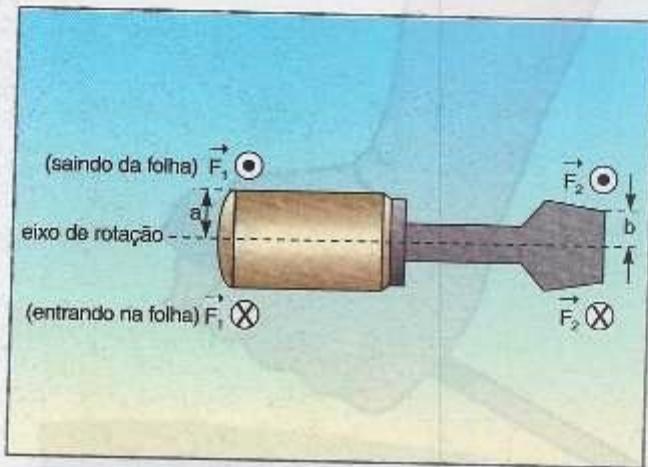
II) Para retirar água de um poço usamos uma manivela com um cilindro de madeira. No cilindro está enrolada uma corda que tem um balde na extremidade livre. Usando o conceito de momento, explique como funciona esse dispositivo.



VOCÊ SABIA?

CHAVE DE FENDA

Ao girar o cabo da chave de fenda para apertar um parafuso, uma pessoa exerce duas forças paralelas de mesma intensidade e de sentidos opostos.



Sergio Costa Jr./Banco de Imagens

Como essas forças são simétricas em relação ao eixo de rotação elas formam um binário.

O momento (torque) desse binário provoca um giro na chave e é dado por:

$$M_1 = 2F_1a$$

A ponta da chave também aplica um binário de forças no parafuso.

O momento do binário (torque) na ponta da chave é dado por:

$$M_2 = 2F_2b$$

Esse dois momentos produzem um giro da chave de fenda no mesmo sentido.

Como esses momentos são iguais, obtemos:

$$2F_1a = 2F_2b \rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{a}{b}$$

A vantagem mecânica da chave de fenda é dada por:

$$\text{Vantagem mecânica} = \frac{a}{b}$$

Sendo $a > b$, o valor da \vec{F}_2 transmitida para a ponta da chave é maior que o valor de \vec{F}_1 , ou seja, quanto mais grossa a chave, maior a força \vec{F}_1 transmitida.

UNIDADE VI

Obtendo-se maior profundidade e extensão da
costa entre o Rio Grande e o Rio São
Francisco (OASIS - Observatório
Marinho) com o estabelecimento de
uma nova fronteira.

- aquela que inclui a parte do litorâneo
- sulhado e sul-fluminense
- destinada ao
- abrigo das embarcações
- os rios que dão origem
- ao Rio São Francisco que an
- a confluência com
- outros abrem

mais de 100 km².

Hidrostática

CAPÍTULO 12

PRESSÃO

TEORIA, SEUS CRIADORES, SUA PRÁTICA

Depois de assimilar o conteúdo da unidade V, será fácil compreender os princípios da Hidrostática pois, agora, a força será exercida por um líquido ou gás, ou seja, um fluido.

A Hidrostática tem sua origem nos estudos de Arquimedes (287 a.C. – 212 a.C.) sobre a *Mecânica dos fluidos*. Mas o assunto recebeu contribuição de cientistas como Torricelli (1608 – 1647), Stevin (1548 – 1620) e Pascal (1623 – 1662), entre outros.

A Hidrostática nos ajuda a entender, por exemplo, por que os esquimós utilizam um sapato com sola em forma de raquete de tênis; o que é pressão atmosférica e como medi-la; a diferença entre nadar numa piscina de água doce e no mar; o funcionamento de uma prensa hidráulica.

Certamente você já tomou um refrigerante de canudinho. Já se perguntou por que o líquido sobe pelo canudo? Acaso notou que, ao mergulhar corpos em líquidos, uns afundam e outros ficam boiando na superfície? Por que será? E por que razão, quando mergulhamos a grandes profundidades, ocorrem problemas de respiração mesmo com equipamentos de mergulho?



Como um avião a jato, ou mesmo movido a hélice, consegue voar? Que forças o mantêm no ar?



FLUIDO

Denominamos *fluido* toda substância que pode fluir, isto é, escoar facilmente. Por isso os *líquidos* e os *gases* são chamados fluidos.



No movimento de um líquido existe atrito entre suas moléculas, que é traduzido por uma grandeza denominada *viscosidade*. A água possui viscosidade muito pequena, por isso escoa com facilidade, enquanto o óleo possui uma viscosidade maior, isto é, escoa com mais dificuldade.

A parte da Física que veremos nesta unidade é chamada de *Mecânica dos fluidos* e pode ser dividida em duas partes:

- ✓ *Fluido-estática*: estuda os fluidos em repouso
- ✓ *Fluido-dinâmica*: estuda os fluidos em movimento

Como o líquido mais usado antigamente era a água, cujo prefixo designativo é *hidro*, costuma-se usar os nomes:

- ✓ *Hidrostática*: fluido-estática
- ✓ *Hidrodinâmica*: fluido-dinâmica

DENSIDADE DE UM CORPO

Quando falamos em densidade d de um corpo, referimo-nos à sua densidade de massa, que é o quociente entre a sua massa m e o seu volume V .

$$d = \frac{m}{V}$$

Nesse caso, a densidade é também chamada de *massa específica* (μ), pois ela nos fornece a quantidade de massa que existe numa unidade de volume.

Então, se a densidade da gasolina é $0,70 \text{ g/cm}^3$, isto significa que existem $0,70 \text{ g}$ de gasolina em cada cm^3 de gasolina.

No SI, a unidade de densidade é kg/m^3 . Também podemos usar g/cm^3 ou kg/l .

A densidade não depende das dimensões do corpo, mas do tipo de substância que o forma. Por exemplo, a densidade do ferro é a mesma, não importa se é um pedaço pequeno ou um pedaço grande.

APLICAÇÃO

A 1

A densidade da glicerina é $1,26 \text{ g/cm}^3$. Quanto pesam 4ℓ de glicerina?

Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Resolução:

Dados: $\begin{cases} d = 1,26 \text{ g/cm}^3 \\ V = 4 \ell = 4000 \text{ cm}^3 \\ g = 10 \text{ m/s}^2 \end{cases}$

A massa de glicerina é igual a:

$$d = \frac{m}{V} \rightarrow 1,26 = \frac{m}{4000} \rightarrow m = 5040 \text{ g} \text{ ou } m = 5,04 \text{ kg}$$

Portanto: $P = m \cdot g \rightarrow P = 5,04 \cdot 10 \rightarrow P = 50,4 \text{ N}$.

Resposta: $50,4 \text{ N}$

QUESTÕES

Q1 A densidade do ouro é de aproximadamente 19 g/cm^3 . O que significa esse número?

resposta no final do livro

Q2 Uma substância tem 90 g de massa e volume de 15 cm^3 . Expressa a densidade dessa substância em g/cm^3 e kg/m^3 . 6 g/cm^3 e $6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

Q3 A densidade de um corpo é de $1,8 \text{ g/cm}^3$ e seu volume é de 10 cm^3 . Determine a massa desse corpo. 18 g

Q4 Um corpo de massa 4 kg tem densidade absoluta de 5 g/cm^3 . Determine seu volume em cm^3 .

800 cm^3

Q5 (UFPB) Um bloco cúbico de concreto de aresta $a = 2,0 \text{ m}$ tem massa $M = 56 \text{ t}$. Determine, em g/cm^3 , a densidade média do bloco.

7 g/cm^3

Q6 Qual a densidade média de seu corpo? Faça uma estimativa desse valor. resposta pessoal

Q7 Explique por que a balança fica desequilibrada se o volume de água e de óleo são iguais.

resposta no final do livro



Sergio Datta Jr/The Nest

Q8 A densidade de uma determinada substância é de $1,25 \text{ g/cm}^3$. Um cubo maciço, homogêneo, feito dessa substância, tem aresta de 2 cm e está num local de aceleração da gravidade igual a 980 cm/s^2 . Calcule, em unidades do SI, a massa do cubo e seu peso. $0,01 \text{ kg}$ e $0,098 \text{ N}$

Q9 Misturam-se dois líquidos, *A* e *B*. O líquido *A* tem volume de 120 cm^3 e densidade absoluta $0,78 \text{ g/cm}^3$. O líquido *B* tem 200 cm^3 e densidade absoluta $0,56 \text{ g/cm}^3$. Determine, em g/cm^3 , a densidade da mistura. $0,64 \text{ g/cm}^3$

O QUE É PRESSÃO?

Vamos imaginar que você tenha de colocar os dois pregos da figura numa parede.

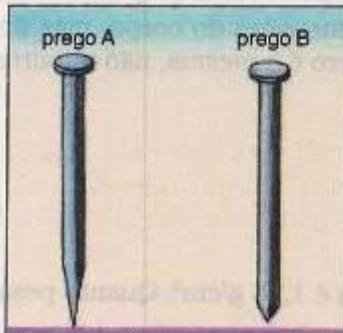
Se você martelar os dois pregos contra a parede verificará que o prego com a ponta mais fina entrará com mais facilidade na parede.

Nas duas situações as forças que fazemos com o martelo são transmitidas pelos pregos à parede.

Supondo que essas forças sejam iguais, por que o prego com a ponta mais fina penetra com mais facilidade na parede?

A diferença é que o tamanho da superfície de contato (região do prego que encosta na parede) do prego de ponta mais fina é menor que o tamanho da superfície de contato do prego de ponta mais grossa, isto é, a área em que a força é aplicada é diferente nos dois casos.

Podemos dizer que o prego pontudo entra na parede com mais facilidade porque a pressão que ele exerce sobre a parede é maior.



Superstock

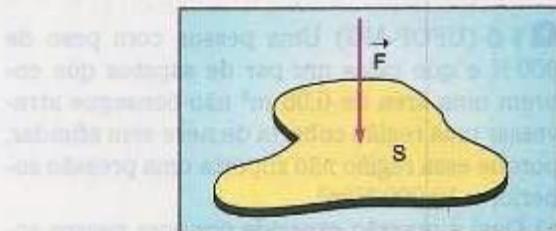
Quanto menor a área de aplicação da força, maior será a pressão que o prego exerce sobre a parede.

Se você usar dois pregos iguais verificará que, quanto maior for a força aplicada, mais facilmente o prego entrará na parede, pois maior será a pressão.

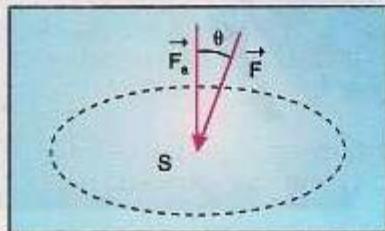
Quanto maior a força aplicada, maior será a pressão.

Do exposto, podemos verificar que a pressão é inversamente proporcional à área e diretamente proporcional à força aplicada.

Matematicamente, definimos pressão como o quociente entre a intensidade da força aplicada sobre a superfície e a área dessa superfície.



ou



$$p = \frac{F}{S}$$

ou

$$p = \frac{F \cdot \cos \theta}{S}$$

Unidades de medida de pressão

SISTEMA	UNIDADE
SI	N/m ² = pascal (Pa)
CGS	dyn/cm ² = bária (ba)

APLICAÇÃO

A2

Um cubo homogêneo de alumínio com 2 m de aresta está apoiado sobre uma superfície horizontal. Sabendo que a densidade do alumínio é $2,7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$, qual a pressão exercida pelo bloco sobre a superfície?

Resolução:

$$\begin{aligned} a &= 2 \text{ m} \\ \text{Dados: } d &= 2,7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3 \\ g &= 10 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

A massa do cubo é igual a:

$$\begin{aligned} V &= a^3 \rightarrow V = 2^3 = 8 \text{ m}^3 \\ d &= \frac{m}{V} \rightarrow 2,7 \cdot 10^3 = \frac{m}{8} \rightarrow m = 2,16 \cdot 10^4 \text{ kg} \end{aligned}$$

A área de apoio é:

$$\begin{aligned} S &= a^2 \rightarrow S = 2^2 = 4 \text{ m}^2 \\ p &= \frac{F}{S} \rightarrow p = \frac{P}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{2,16 \cdot 10^4 \cdot 10}{4} = 5,4 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Resposta: $5,4 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$

QUESTÕES

Q10 Uma faca está cega. Quando a afiamos, ela passa a cortar com mais facilidade. Por que isso ocorre? *resposta no final do livro*



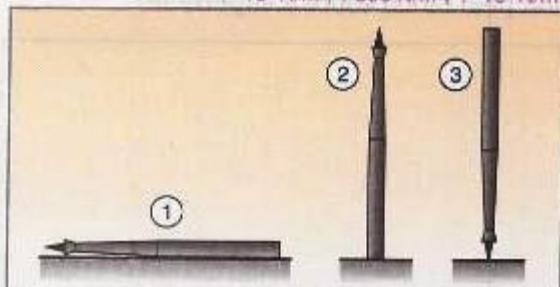
Q11 Uma abelha consegue cravar o seu ferrão no braço de uma pessoa, embora a força aplicada pelo ferrão seja muito pequena. Por que ela consegue perfurar a pele do braço?

resposta no final do livro

Q12 Determine, em N/m^2 , a pressão média exercida por um prédio de 300 t e base de 200 m^2 nos seus pontos de contato com o solo. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$. $1,5 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$

Q13 Considere uma caneta de peso 0,08 N e: secção da base = $0,5 \text{ cm}^2$; secção da ponta = $0,20 \text{ mm}^2$; comprimento = 10 cm; largura da base longitudinal de apoio = 0,2 mm. Determine a pressão exercida pela caneta em cada um dos três casos indicados na figura.

$4 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$; $1,600 \text{ N/m}^2$; $4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$



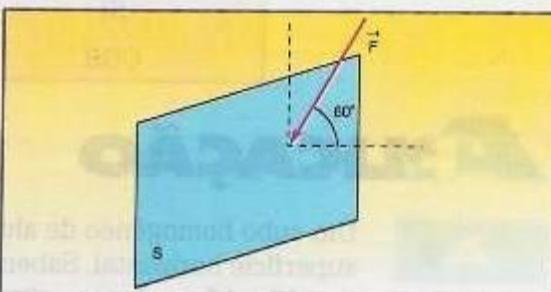
Q14 Quando o vento alcança a velocidade de 45 m/s nas grandes tempestades, exerce pressão de aproximadamente 28 N/cm^2 . Determine a força que ele exerce sobre um muro de 10 m de comprimento por 2 m de altura, colocado perpendicularmente à direção do vento. $5,6 \cdot 10^9 \text{ N}$

Q15 Um bloco de mármore de dimensões $0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ se apóia sobre um plano horizontal com sua face quadrada. Calcule a pressão exercida sobre sua face de apoio, sabendo que a massa específica do mármore é $2,8 \text{ g/cm}^3$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$. $5,8 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$

Q16 (UFOP-MG) Uma pessoa com peso de 600 N e que calça um par de sapatos que cobrem uma área de $0,05 \text{ m}^2$ não consegue atravessar uma região coberta de neve sem afundar, porque essa região não suporta uma pressão superior a $10\,000 \text{ N/m}^2$.

- Qual a pressão exercida por essa pessoa sobre a neve? $12\,000 \text{ N/m}^2$
- Qual deve ser a área mínima de cada esqui que essa pessoa deveria usar para não afundar? $0,03 \text{ m}^2$

Q17 Calcule a pressão que a força \vec{F} de intensidade 12 N, indicada na figura, exerce sobre a área $S = 8 \text{ cm}^2$. $7,5 \cdot 10^2 \text{ N/m}^2$



Q18 Do ponto de vista físico, como você justificaria o uso de vários pneus por uma carreta?

resposta no final do livro



Q19 Observa-se com freqüência que um carro com pneus largos tem mais facilidade em transportar terrenos arenosos que um carro com pneus finos. Por que isso acontece?

resposta no final do livro

VOCÊ SABIA?

PRESSÃO ARTERIAL

Pressão arterial é a pressão que o sangue exerce sobre a parede das artérias. A sua intensidade depende de três condições:

1. Força do batimento cardíaco

A força com a qual o coração lança o sangue exerce uma pressão nas artérias. Quanto maior a força, maior a pressão.

2. Freqüência do batimento cardíaco

A cada batimento, o coração expelle determinado volume de sangue. A pressão varia de acordo com esse volume. Quanto maior a freqüência do batimento, maior o volume de sangue expelido, maior a pressão.

3. Elasticidade das artérias

A artéria se alarga quando recebe o sangue proveniente do coração. Quanto maior a elasticidade, maior a área, menor a pressão.

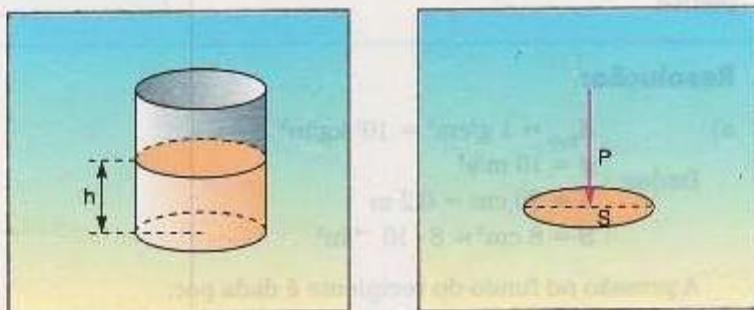
PESQUISE

Como é medida a pressão arterial?

PRESSÃO DE UMA COLUNA DE LÍQUIDO

Da mesma forma que os corpos sólidos, os líquidos também exercem pressão sobre outros corpos devido ao seu peso.

Para obtermos essa pressão, consideremos um recipiente contendo um líquido de densidade d até uma altura h , num local em que a aceleração da gravidade é g .



O líquido contido no recipiente tem um peso P e exerce sobre a área da base S do recipiente uma pressão p dada por:

$$p = \frac{P}{S} \rightarrow p = \frac{mg}{S} \rightarrow p = \frac{dVg}{V} \rightarrow p = dgh$$

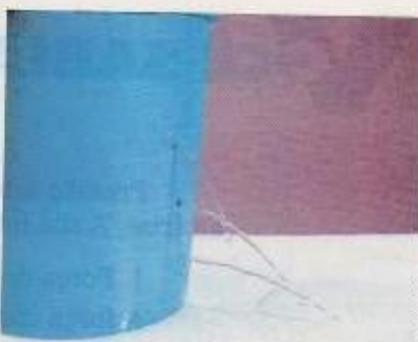
Essa pressão, devida somente à coluna de líquido, é também chamada *pressão hidrostática* e pode ser aplicada a um ponto qualquer do líquido contido no recipiente.

A expressão mostra que a pressão exercida por um líquido no fundo e nas paredes do recipiente ou sobre qualquer superfície no seu interior depende: da profundidade h , da densidade d do líquido e da aceleração da gravidade g .

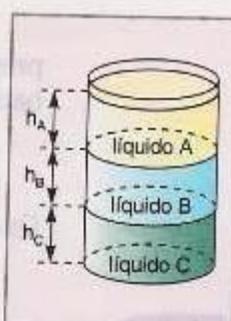
A figura ao lado mostra que o alcance do jato de água depende da altura do orifício.

Se tivermos, por exemplo, três líquidos imiscíveis dentro de um mesmo recipiente, a pressão no fundo será a soma das pressões parciais que cada líquido exerce individualmente.

$$p_{\text{fundão}} = p_A + p_B + p_C \rightarrow p_{\text{fundão}} = d_A gh_A + d_B gh_B + d_C gh_C$$



Sergio Biagi Jr/The Stock



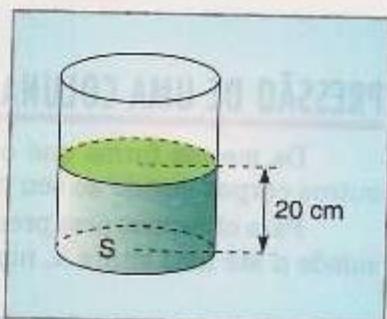
APLICAÇÃO

A3

O recipiente da figura contém água até a altura de 20 cm.

Sabendo que a área da base vale, aproximadamente, 8 cm^2 , $g = 10 \text{ m/s}^2$ e $\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ g/cm}^3$, calcule:

- a pressão exercida pela coluna de água no fundo do recipiente
- b) a força que a água exerce no fundo do recipiente



Resolução:

a) $d_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ g/cm}^3 = 10^3 \text{ kg/m}^3$

Dados: $g = 10 \text{ m/s}^2$

$h = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$

$S = 8 \text{ cm}^2 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

A pressão no fundo do recipiente é dada por:

$$p = dgh \rightarrow p = 10^3 \cdot 10 \cdot 0,2 \rightarrow p = 2 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$$

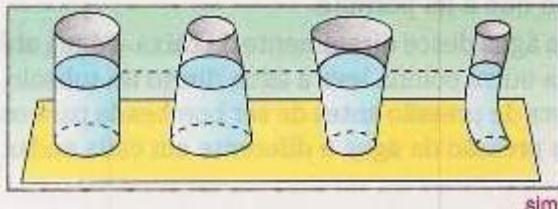
b) $p = \frac{F}{S} \rightarrow 2 \cdot 10^3 = \frac{F}{8 \cdot 10^{-4}} \rightarrow F = 1,6 \text{ N}$

A força $F = 1,6 \text{ N}$ que age sobre o fundo do recipiente é igual ao peso da coluna de água.

Respostas: a) $2 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$; b) 1,6 N

QUESTÕES

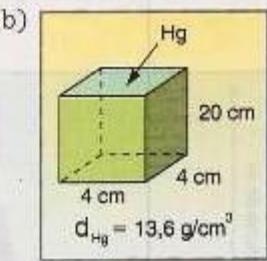
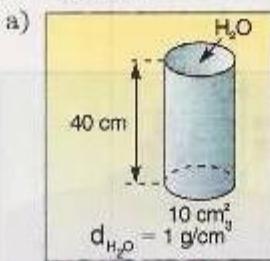
Q20 Os recipientes da figura contêm água. A altura das colunas de água é igual em todos os recipientes.



sim

- a) A pressão no fundo desses recipientes é igual?
b) O valor da força que atua no fundo de cada recipiente é o mesmo? não

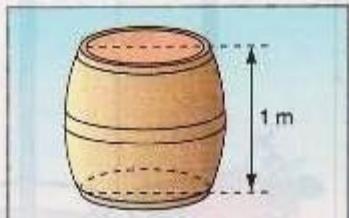
Q21 Calcule a pressão e a força no fundo dos recipientes indicados nas figuras. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.



Q22 (EFEI-MG) As dimensões de uma piscina de fundo plano horizontal de um clube social são: $L = 25 \text{ m}$ de comprimento e $\ell = 10 \text{ m}$ de largura. Sabe-se que a água que a enche exerce uma força $F = 4,5 \cdot 10^8 \text{ N}$ no seu fundo. Determine a profundidade dessa piscina.

Dados: $d = 1,00 \text{ g/cm}^3$ (densidade da água);
 $g = 10,0 \text{ m/s}^2$ (intensidade do campo gravitacional). $1,8 \text{ m}$

Q23 O barril da figura está cheio de óleo. A densidade absoluta do óleo é $0,8 \text{ g/cm}^3$ e o diâmetro das bases mede 60 cm .



- a) Qual a pressão exercida na base inferior?
b) Qual a força exercida sobre a base inferior?
Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$ e $\pi = 3,14$. $2,2608 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$

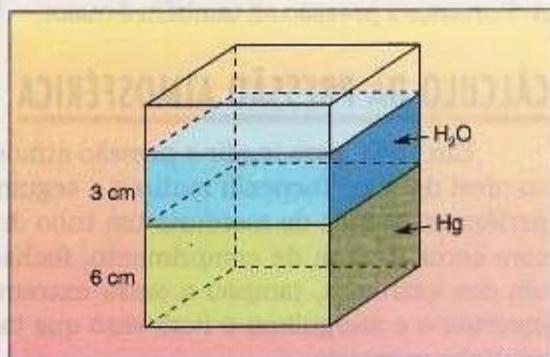
Q24 (EEM-SP) Dispõe-se de dois recipientes cilíndricos: um de diâmetro $D_1 = 0,60 \text{ m}$ e outro de diâmetro $D_2 = 0,40 \text{ m}$, ambos com altura suficiente para conter 150ℓ de óleo. Sabe-se que o fundo dos recipientes é frágil e, por isso, deve-se armazenar o óleo no cilindro que oferecer menor pressão hidrostática no fundo.

- a) Qual dos recipientes deve ser utilizado? Por quê? o de diâmetro maior
b) Sabendo que $\mu_{\text{óleo}} = 0,8 \text{ g/cm}^3$, qual será a menor pressão possível no fundo? $\sim 4,246,3 \text{ N/m}^2$
Adote nos cálculos o valor $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Q25 Um depósito de água possui no fundo uma válvula de 6 cm de diâmetro. A válvula abre-se sob ação da água quando esta atinge $1,8 \text{ m}$ acima do nível da válvula. Supondo a densidade da água 10^3 kg/m^3 e a aceleração local da gravidade 10 m/s^2 , calcule a força necessária para abrir a válvula. $16,2\pi \text{ N}$

Q26 Ache a pressão exercida pelos líquidos no fundo do recipiente indicado na figura. $8,460 \text{ N/m}^2$

Dados: $\begin{cases} \mu_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ g/cm}^3 \\ \mu_{\text{Hg}} = 13,6 \text{ g/cm}^3 \\ g = 10 \text{ m/s}^2 \end{cases}$



Q27 Os moradores de um prédio notam que nos andares mais altos a água corre nas torneiras muito devagar, enquanto nos andares mais baixos a água sai da torneira com maior pressão. Por que isso ocorre? resposta no final do livro

VOCÊ SABIA?

A PRESSÃO DA ÁGUA NOS APARTAMENTOS

Nas instalações hidráulicas residenciais a pressão não pode ser superior a 40 m de coluna de água. Assim, num prédio de 60 m de altura (média de 3 m por andar), o primeiro andar teria pressão de aproximadamente 60 m de coluna de água, ou seja, 20 m acima do que a lei permite.

Por isso, em alguns prédios, a água desce diretamente da caixa-d'água até cerca de 40 m. Enquanto isso, uma outra coluna leva a água direto ao subsolo, onde passa por uma válvula redutora de pressão antes de ser bombeada para os apartamentos de baixo. Por isso, a pressão da água é diferente em cada andar.

PRESSÃO ATMOSFÉRICA

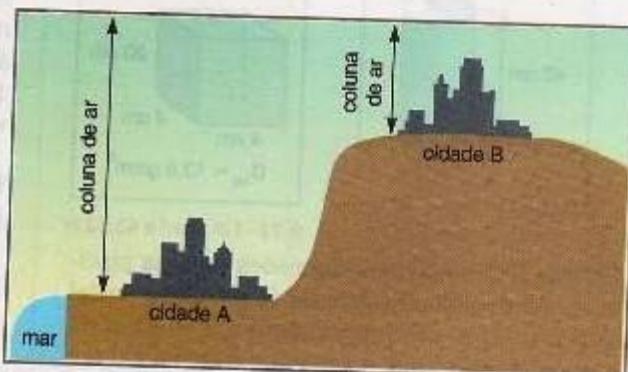
Em torno da Terra há uma camada de gases denominada *atmosfera*. Ela é composta por uma mistura gasosa cujos principais componentes são o oxigênio e o nitrogênio.

Aproximadamente 90% de todo o ar que envolve a Terra se encontra abaixo de 18 000 m. Como o ar é formado por moléculas e essas moléculas têm massa, então o ar tem peso. Portanto, ele exerce pressão sobre toda a superfície da Terra. Essa pressão é chamada *pressão atmosférica*.

Pressão atmosférica é a pressão que a atmosfera exerce sobre a superfície da Terra.

A pressão atmosférica depende do peso do ar. Por isso, quanto menor for a espessura da atmosfera, menor será sua pressão e vice-versa.

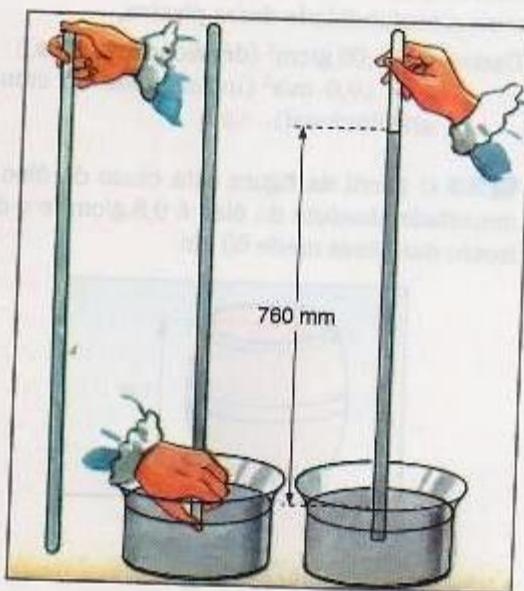
A coluna de ar é maior na cidade A. Portanto a pressão ali também é maior.



CÁLCULO DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA

Em 1643, para medir a pressão atmosférica ao nível do mar, Torricelli realizou a seguinte experiência: encheu de mercúrio um tubo de vidro com cerca de 1 m de comprimento, fechado em um dos extremos, tampou a outra extremidade, inverteu-o e mergulhou-o num vaso que também continha mercúrio.

Abriu, em seguida, a extremidade que havia tampado, para que o mercúrio escoasse para o vaso. Verificou, então, que o mercúrio desceu no tubo e se estabilizou a um altura da ordem de 760 mm em relação à superfície do mercúrio no vaso.



Como os pontos A e B estavam no mesmo nível de um líquido em equilíbrio, Torricelli concluiu que a pressão que o ar exerce sobre a superfície livre do mercúrio no vaso é igual à pressão dos 760 mm de mercúrio contidos no tubo. Logo:

$$p_A = p_B \rightarrow p_A = p_{atm}$$

$$p_{atm} = dgh$$

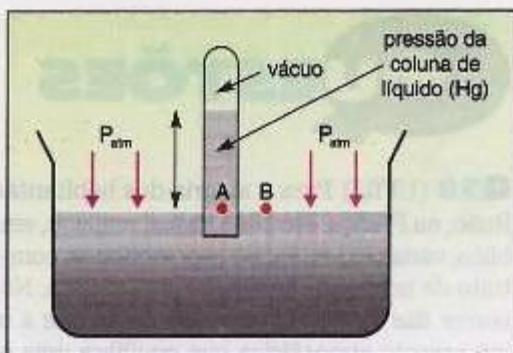
Mas:

$$d = 13,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$h = 0,760 \text{ m}$$

$$\text{Portanto, } p_{atm} = 13,6 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot 0,760 \rightarrow p_{atm} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$



A pressão atmosférica equivale à pressão exercida por uma coluna de mercúrio de 760 mm de altura.

Temos as seguintes unidades de pressão: $p_{atm} = 760 \text{ mmHg}$ ou $p_{atm} = 76 \text{ cmHg}$.

Esse valor, denominado *atmosfera* (atm), é utilizado como unidade de pressão.

$$p_{atm} = 1 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg} = 760 \text{ mmHg}$$

Em nosso curso utilizaremos o valor aproximado $p_{atm} = 1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ atm}$. Se a pressão atmosférica é igual a 1 atm é denominada *pressão normal*.

Conforme experiências de Torricelli, cada centímetro quadrado da superfície terrestre suporta uma coluna de atmosfera de cerca de 1 kg.

As forças exercidas sobre os corpos pela atmosfera são consideráveis. Elas nos passam despercebidas porque nossa pressão interna é de mesmo valor e compensa seus efeitos. Podemos comprová-las através de uma experiência muito simples: aquecendo-se um pouco de água no interior de uma lata e tapando-a enquanto estiver quente, a pressão atmosférica produzirá a deformação da lata com o resfriamento.

Num ambiente fechado — um quarto, por exemplo —, o ar exerce a mesma pressão em todos os pontos, independentemente da altura em que se encontram. Essa pressão gasosa é devida ao número de colisões das partículas com as superfícies — as paredes do quarto. Tal pressão é constante.

Por outro lado, na atmosfera o ar é um gás livre porque ela não tem paredes laterais nem teto, somente uma parede de fundo — a superfície da Terra.

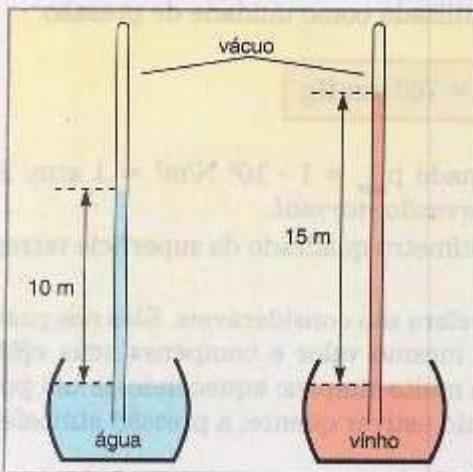
Como as moléculas gasosas estão sujeitas às forças gravitacionais, elas tendem a ficar mais junto à superfície terrestre. Por isso, a densidade do ar diminui com a altitude, isto é, o ar fica mais rarefeito. Portanto, diminui também a *pressão atmosférica*, mas não de maneira uniforme, conforme indica a tabela.

	ALTITUDE (metros)	PRESSÃO (mmHg)
nível do mar →	0	760,0
	200	741,1
	2 000	593,8
	10 000	193,0
	16 201	73,0
	20 022	40,0

QUESTÕES

Q28 (UFRJ) Para a alegria dos habitantes de Ruão, na França, em 1648 Pascal realizou, em público, várias experiências espetaculares, com o intuito de investigar a pressão atmosférica. No decorrer das experiências verificou-se que a mesma pressão atmosférica que equilibra uma coluna de água de 10 m de altura é capaz de equilibrar uma coluna de vinho tinto de 15 m de altura.

- Calcule a razão $d_{água}/d_{vinho}$ entre as densidades da água ($d_{água}$) e do vinho (d_{vinho}) usados nas experiências. [resposta no final do livro](#)
- Se o vinho tivesse sido fornecido por um comerciante desonesto, que lhe acrescentara água, o resultado seria uma coluna de vinho misturado maior, igual ou menor do que 15 m? Justifique a resposta. [resposta no final do livro](#)



Q29 (UFPel-RS) A experiência conhecida por Experiência de Torricelli — realizada pela primeira vez em 1643 — comprova que a pressão atmosférica ao nível do mar é igual à pressão exercida por uma coluna de mercúrio de 76 cm de altura. Nessa mesma época, Pascal, prevenindo que o resultado deveria depender da altitude, pediu a seu cunhado que realizasse a experiência em uma montanha, num ponto situado 1 000 m acima do nível do mar. De fato, a coluna de mercúrio baixou 8 cm em relação à altura obtida ao nível do mar, comprovando a suposição de Pascal. Qual era a pressão no alto da montanha, em N/m^2 ? Considere a massa específica do mercúrio igual a $13,6 \text{ g/cm}^3$ e a aceleração da gravidade, $9,8 \text{ m/s}^2$. [resposta no final do livro](#)

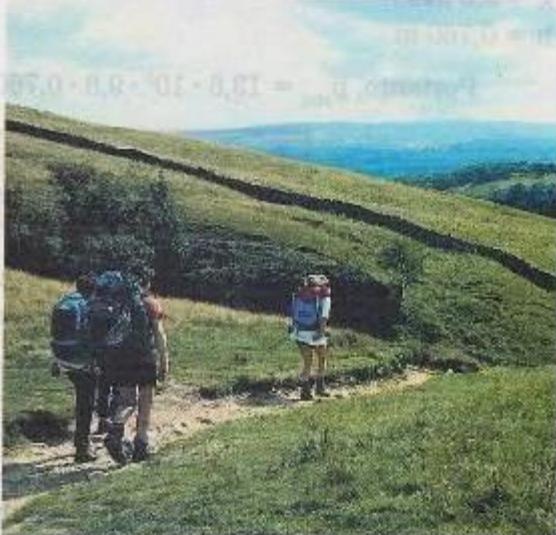
nenhum ou muitos? E a balanço ao nível? —
com ilustratiT, ondulações em obliqui mas se haja
esque a erros evita-se o seu número e seu efeito
além q. longe e mais se evita q. se haja
muitos, q. se haja

Q30 Por que o volume de um balão varia enquanto ele sobe? A uma altitude muito grande o balão pode arrebentar. Por quê?

[resposta no final do livro](#)

Q31 É mais difícil respirar a grandes altitudes do que ao nível do mar. Por quê?

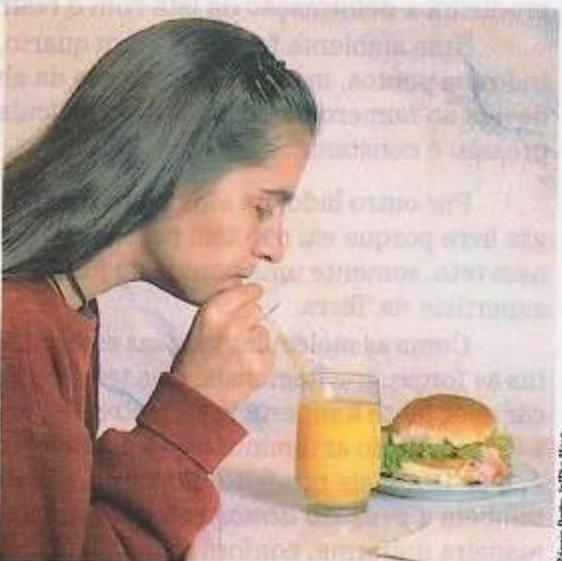
[Porque o ar é mais rarefeito a grandes altitudes.](#)



Carvalho Photo

Q32 Imagine-se tomando um suco com um canudinho. [respostas no final do livro](#)

- O que fazemos ao aspirar?
- Por que o suco sobe pelo canudinho?
- É possível tomar o suco dessa maneira na Lua?



Sergio Dona/Arte Meu

PESQUISE

O ÓRACLE

Como funciona um barômetro aneróide? Para que ele serve?

TEOREMA DE STEVIN

Consideremos um líquido de densidade d , em equilíbrio no recipiente da figura.

Sejam os pontos A e B do líquido situados a uma distância h_A e h_B , respectivamente, da superfície do líquido.

As pressões devidas à coluna de líquido nesses pontos são:

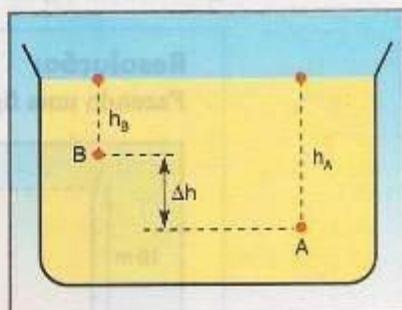
$$p_A = dh_A g \quad ①$$

$$p_B = dh_B g \quad ②$$

Fazendo $① - ②$, temos

$$p_A - p_B = dh_A g - dh_B g \rightarrow p_A - p_B = dg(h_A - h_B)$$

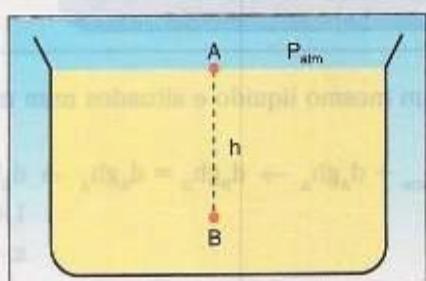
$$p_A - p_B = dg\Delta h$$



$$p_A = p_B + dg\Delta h$$

Observações:

- 1º) Se os pontos A e B estiverem no mesmo nível (mesma profundidade), temos $\Delta h = 0$, isto é, $p_A = p_B$. Com base nessa conclusão, pode-se verificar que a superfície livre de um líquido em equilíbrio é sempre plana e horizontal, pois todos os seus pontos suportam a mesma pressão, devendo então estar no mesmo nível.
- 2º) Se o ponto B estiver na superfície do líquido, a pressão exercida pelo ar é a pressão atmosférica. Daí concluir-se que o nível da superfície livre em vasos comunicantes é igual em todos os vasos, porque a pressão em todos é a pressão atmosférica.
- 3º) Em um ponto situado a uma profundidade h no interior de um líquido em equilíbrio, a pressão é dada pela pressão na superfície exercida pelo ar (p_{atm}), mais a pressão exercida pela coluna de líquido situada acima do ponto (dgh). Logo:



$$p_B = p_A + dgh$$

$$\rightarrow p_B = p_{atm} + dgh$$

A pressão no ponto B é chamada *pressão absoluta ou pressão total*.

APLICAÇÃO

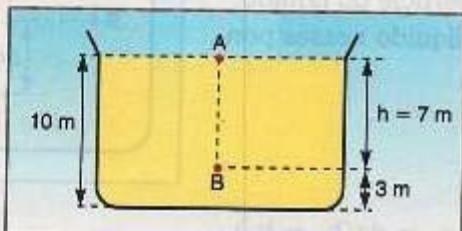
ESTUDO DE CASO

A4

Um reservatório armazena um líquido cujo nível se encontra a 10 m de altura. Com um manômetro, mediu-se a pressão a 3 m do fundo, obtendo-se um valor de $4,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Considerando a pressão atmosférica $= 1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$, qual a densidade desse líquido?

Resolução:

Fazendo uma figura, temos:



Usando o teorema de Stevin, obtemos:

$$p_B = p_A + dgh$$

$$p_B = p_{\text{atm}} + dgh$$

$$4,5 \cdot 10^5 = 1 \cdot 10^5 + d \cdot 10 \cdot 7$$

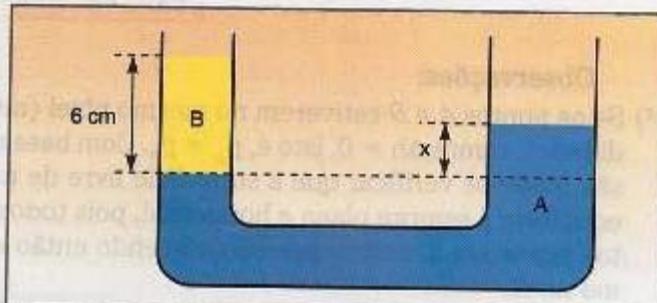
$$d = 5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

Resposta: $5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

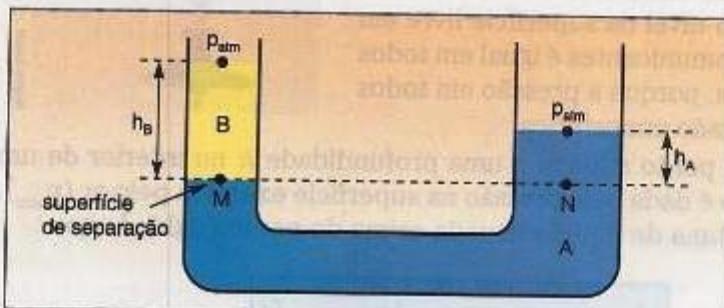
A5

Os vasos comunicantes indicados na figura contêm os líquidos *A* e *B* em equilíbrio.

Dados $d_A = 0,8 \text{ g/cm}^3$, $d_B = 1,4 \text{ g/cm}^3$, calcule x .



Resolução:



Se os pontos *M* e *N* estão num mesmo líquido e situados num mesmo nível, temos:

$$p_M = p_N \rightarrow p_{\text{atm}} + d_B gh_B = p_{\text{atm}} + d_A gh_A \rightarrow d_B gh_B = d_A gh_A \rightarrow d_B h_B = d_A h_A$$

$$1,4 \cdot 6 = 0,8 \cdot x$$

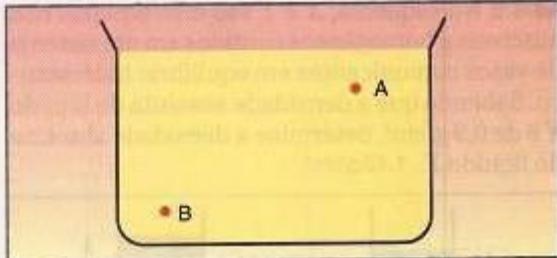
$$x = 10,5 \text{ cm}$$

Resposta: 10,5 cm

QUESTÕES

Q33 A figura mostra um recipiente contendo álcool e dois pontos, *A* e *B*, cuja diferença de cotas é igual a 15 cm. Sabendo que a pressão no ponto *B* é igual a $1,04 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, $g = 10 \text{ m/s}^2$ e $\mu_{\text{álcool}} = 0,8 \text{ g/cm}^3$, calcule a pressão no ponto *A*.

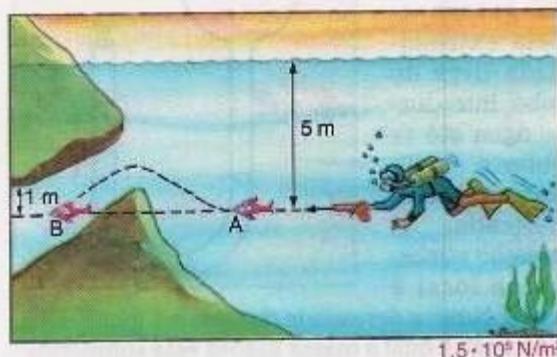
$$1,028 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$



Q34 Um submarino encalhou a 40 m de profundidade. A tampa da escotilha tem área de 2 m^2 . Que força é preciso exercer para abri-la? Dados: densidade da água do mar igual a $1,03 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, $p_{\text{atm}} = 10^5 \text{ N/m}^2$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$.

$$10,24 \cdot 10^5 \text{ N}$$

Q35 (Unicamp-SP) Um mergulhador persegue um peixe 5,0 m abaixo da superfície de um lago. O peixe foge da posição *A* e se esconde em uma gruta na posição *B*, conforme mostra a figura. A pressão atmosférica na superfície da água é igual a $p_{\text{atm}} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$ e $d_{\text{água}} = 10^3 \text{ kg/m}^3$.



- Qual a pressão sobre o mergulhador?
- Qual a variação de pressão sobre o peixe nas posições *A* e *B*?

Nula, pois a profundidade é a mesma.

Q36 (Unitau-SP) Durante uma transfusão sanguínea, uma agulha é inserida em uma veia onde a pressão é de $2\,000 \text{ Pa}$. A que altura, em relação à veia, deve ser colocado o recipiente con-

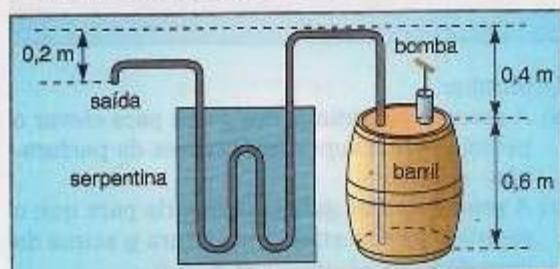
tendo o sangue para que o sangue entre na veia? A massa específica do sangue é $1,0595 \text{ g/cm}^3$ e a aceleração da gravidade, $9,8 \text{ m/s}^2$. $= 19,26 \text{ cm}$

Q37 (UFPE) Um aparelho de mergulho suporta uma pressão externa de até $8,5 \text{ atm}$, sem se romper. Se, por acidente, o aparelho afunda no oceano, a que profundidade, em metros, ele será esmagado pela pressão da água? Considere a pressão atmosférica ao nível do mar igual a $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ N/m}^2$, a densidade da água, 10^3 kg/m^3 e $g = 10 \text{ m/s}^2$. 75 m



Q38 (Unicamp-SP) Um barril de chope completo, com bomba e serpentina, como representado na figura a seguir, foi comprado para uma festa. A bomba é utilizada para aumentar a pressão na parte superior do barril, forçando a passagem do chope pela serpentina. Considere a densidade do chope igual à da água.

- Calcule a mínima pressão aplicada pela bomba para que comece a sair chope pela primeira vez no início da festa (barril cheio até o topo, serpentina inicialmente vazia). $4,0 \cdot 10^3 \text{ Pa}$
- No final da festa o chope estará terminando. Qual deve ser a mínima pressão aplicada para o chope sair pela saída quando o nível do líquido estiver a 10 cm do fundo do barril, com a serpentina cheia? $7,0 \cdot 10^3 \text{ Pa}$



Q39 (UFPel-RS) Durante as obras de reforma de uma casa, ouviu-se esta conversa entre o proprietário e o pedreiro:

Proprietário: "João, devemos colocar outra caixa-d'água ao lado da já existente e na mesma altura, pois a que afi está possui apenas 500 ℥, insuficientes para o consumo da lavanderia. O ideal é acrescentar outra, também de 500 ℥, e interligar as duas".

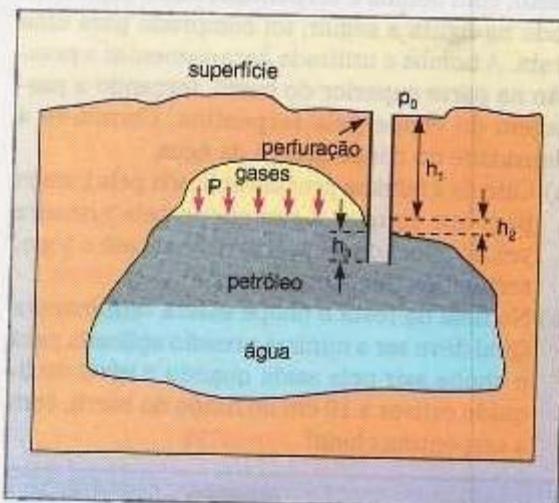
Pedreiro: "Essa é uma boa solução pois, além de aumentar a reserva de água, também vai aumentar a pressão da água nas torneiras".

Analise o texto e responda, justificando.

- A observação do pedreiro está correta, quanto à pressão? **não**
- De que fatores depende a pressão nesse caso?
- Como poderíamos, se houvesse necessidade, aumentar a pressão?

Aumentando a altura das caixas.

Q40 (UFOP-MG) A figura mostra um lençol de petróleo localizado no subsolo, entre rochas impermeáveis, sobreendando numa camada de água salgada e submetido a uma forte pressão exercida por gases ricos em metano acumulados acima de sua superfície. A massa específica do petróleo é ρ_1 , a massa específica da água é ρ_2 , a pressão atmosférica no local é p_0 e a pressão dos gases sobre a superfície do petróleo é p . Para extração do petróleo desse lençol, é feita uma perfuração e através dela desce uma tubulação, como mostrado na figura.

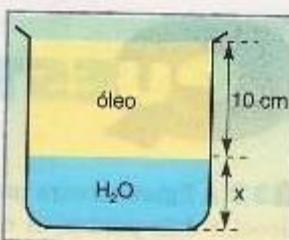


Determine:

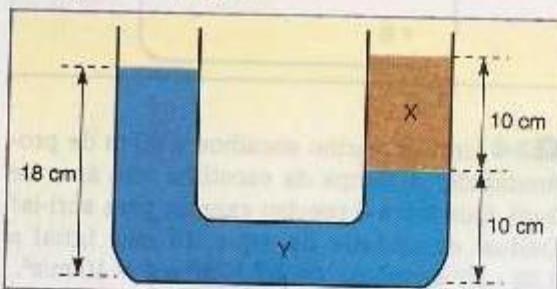
- A pressão p , mínima, dos gases para elevar o petróleo até a superfície através da perfuração. $\rho_1 \cdot g \cdot h_1$
- A pressão p dos gases necessária para que o petróleo jorre e atinja uma altura y acima da superfície. $\rho_1 \cdot g \cdot (h_1 + h_2 + h_3 + y)$

Q41 O recipiente indicado na figura contém água e óleo.

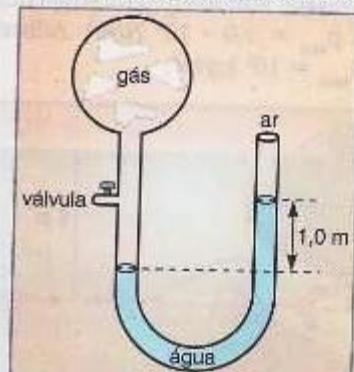
Sabendo que a pressão absoluta no fundo do recipiente é de $1,038 \cdot 10^5 \text{ N/cm}^2$, $\mu_{\text{óleo}} = 0,8 \text{ g/cm}^3$, $\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ g/cm}^3$, $p_{\text{atm}} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule a altura x da coluna de água. **30 cm**



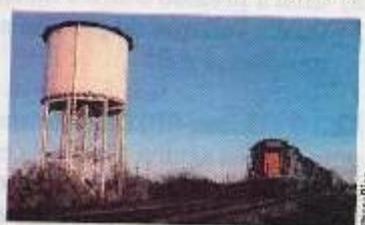
Q42 No esquema, X e Y são dois líquidos não miscíveis e homogêneos contidos em um sistema de vasos comunicantes em equilíbrio hidrostático. Sabendo que a densidade absoluta do líquido X é de $0,9 \text{ g/cm}^3$, determine a densidade absoluta do líquido Y . **1,12 g/cm³**



Q43 (Mack-SP) O tubo em U de seção transversal constante, ilustrado na figura, tem uma de suas extremidades aberta e a outra está conectada por uma válvula a um balão de vidro. Através da válvula, faz-se entrar uma certa massa gasosa e, pela extremidade livre do tubo, introduz-se água até se obter o equilíbrio na posição indicada. A pressão atmosférica local é $1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, a densidade da água é 1 g/cm^3 . Qual a pressão à qual a massa gasosa está submetida? **$1,1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$**



Q44 Por que motivo as caixas-d'água que abastecem as cidades são colocadas em locais elevados?



resposta no final do livro

PESQUISE

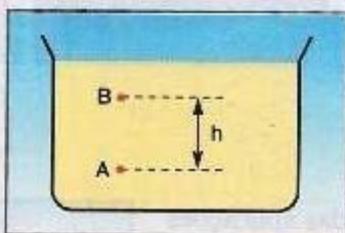
Suponha que uma nave espacial pouse na Lua. O que aconteceria com o astronauta se ele saísse da nave sem usar roupas especiais?

PRINCÍPIO DE PASCAL

Quando exercemos pressão sobre um corpo sólido, esta se transmite desigualmente nas diversas direções por causa da forte coesão que dá ao sólido sua rigidez.

Num líquido a pressão transmite-se igualmente em todas as direções, devido à fluidez.

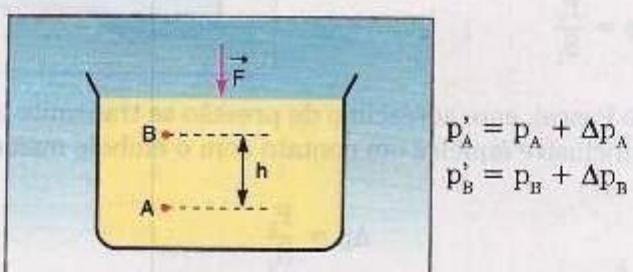
Para demonstrarmos o teorema de Pascal, consideremos dois pontos, A e B , no interior de um líquido incompressível em equilíbrio, de densidade absoluta d , num local de aceleração da gravidade igual a g .



A diferença de pressão entre os pontos A e B é:

$$p_A - p_B = dgh \quad ①$$

Aumentando a pressão nos pontos A e B por um processo qualquer, os pontos A e B sofrerão um acréscimo de pressão Δp_A e Δp_B , tal que as pressões passem a ser p'_A e p'_B .



Como o líquido é incompressível, a distância entre os pontos A e B continua a mesma. Logo: $p'_A - p'_B = dgh \rightarrow (p_A + \Delta p_A) - (p_B + \Delta p_B) = dgh \quad ②$

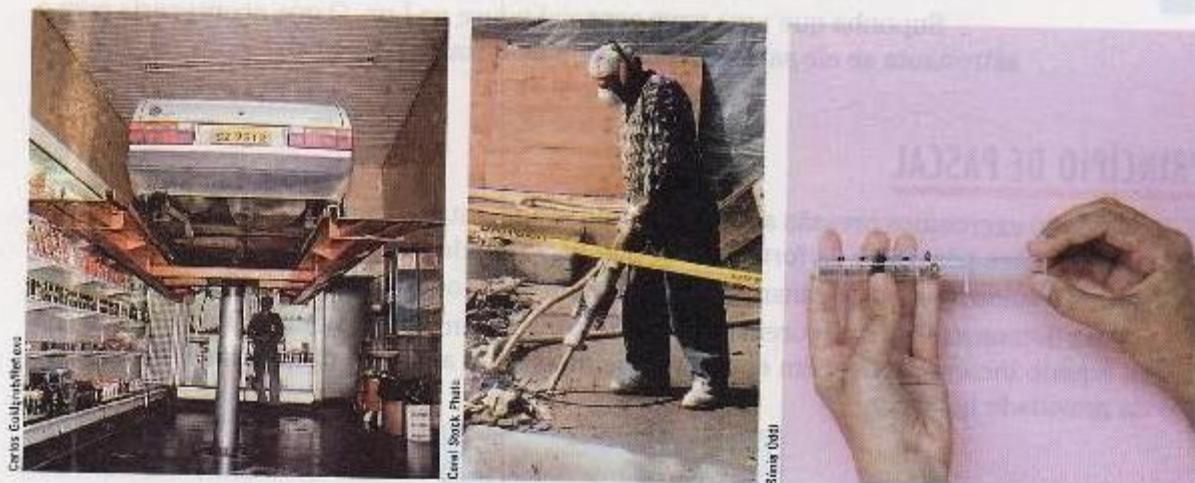
Fazendo $① = ②$, temos: $p_A - p_B = p_A + \Delta p_A - p_B - \Delta p_B \rightarrow \Delta p_A = \Delta p_B$

Portanto, podemos enunciar:

Teorema de Pascal

O acréscimo de pressão exercido num ponto de um líquido ideal em equilíbrio se transmite integralmente a todos os pontos desse líquido e às paredes do recipiente que o contém.

O princípio de Pascal é usado nos elevadores hidráulicos, nas seringas de injeção, nos freios hidráulicos dos carros etc.

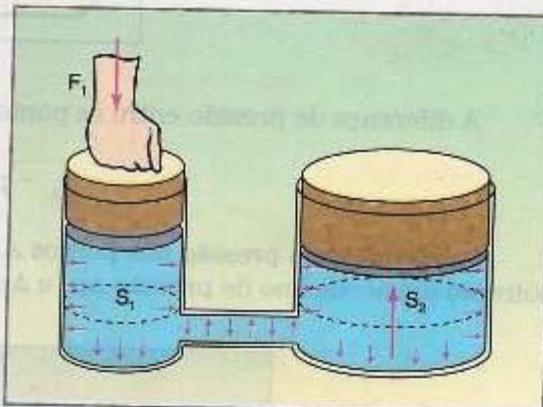


PRENSA HIDRÁULICA

A prensa hidráulica é uma das aplicações do teorema de Pascal. Consiste de dois cilindros verticais, de seções desiguais A e B , interligados por um tubo, no interior do qual existe um líquido que sustenta dois êmbolos de áreas S_1 e S_2 .

Se aplicarmos no êmbolo menor uma força de intensidade F_1 , exerceremos um acréscimo de pressão sobre o líquido dado por:

$$\Delta p = \frac{F_1}{S_1}$$



Pelo teorema de Pascal, esse acréscimo de pressão se transmite integralmente a todos os pontos do líquido, inclusive àqueles em contato com o êmbolo maior. Portanto:

$$\Delta p = \frac{F_2}{S_2}$$

Igualando-se as duas expressões, vem:

$$\frac{F_2}{S_2} = \frac{F_1}{S_1}$$

Observe que a prensa hidráulica tem, como resultado da aplicação de F_1 , uma força F_2 maior que F_1 , pois S_2 é maior que S_1 .

O princípio da prensa hidráulica é usado nos elevadores hidráulicos dos postos de gasolina, em alguns caminhões basculantes e nos freios a disco dos carros.

APLICAÇÃO

A6

Uma prensa hidráulica tem dois êmbolos de áreas iguais a 10 cm^2 e 80 cm^2 . Calcule a força transmitida ao êmbolo maior, quando se aplica ao menor uma força de 120 N.

Resolução:

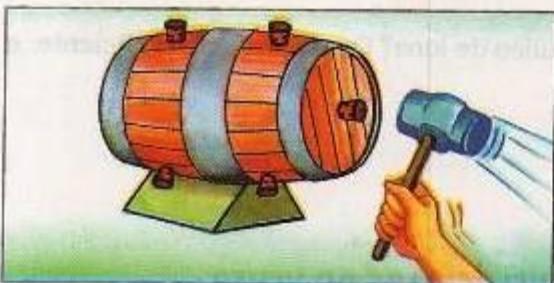
$$\begin{aligned} \text{Dados: } & F_1 = 120 \text{ N} \\ & S_1 = 10 \text{ cm}^2 \\ & S_2 = 80 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \rightarrow \frac{120}{10} = \frac{F_2}{80} \rightarrow F_2 = 960 \text{ N}$$

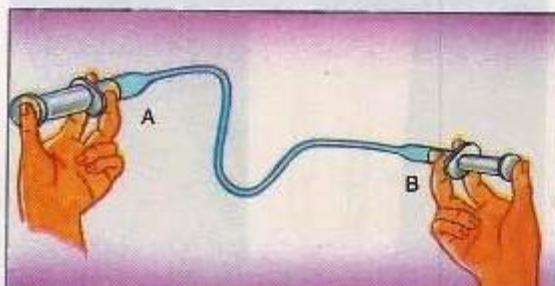
Resposta: 960 N

QUESTÕES

Q45 O barril da figura está completamente cheio de vinho. O que ocorrerá quando batermos numa das rolhas? resposta no final do livro

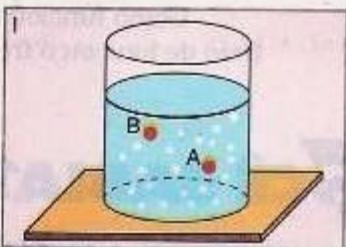


Q46 A figura mostra duas seringas ligadas por um tubo de borracha cheio de água. Empurre primeiro o êmbolo A e depois o B. Por que você tem de fazer mais força quando empurra o êmbolo de maior seção? resposta no final do livro



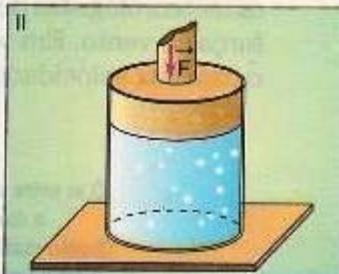
Q47 (UFPel-RS) O recipiente mostrado na figura I contém um líquido em equilíbrio.

a) Nessa condição, os pontos A e B no interior do líquido estão sujeitos à mesma pressão?



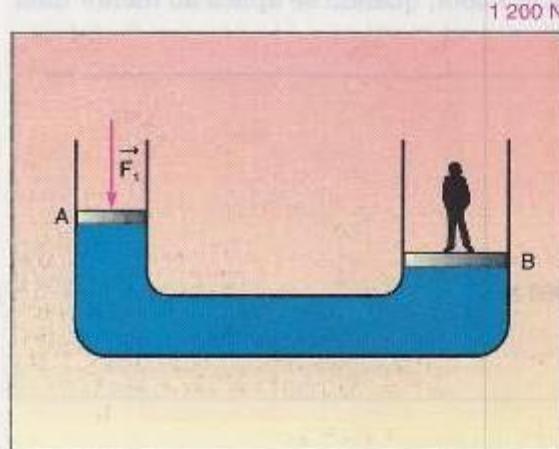
resposta no final do livro

b) Se um pistão for adaptado ao recipiente, como mostra a figura II, e através dele for produzido um acréscimo de pressão sobre o líquido, as paredes laterais do recipiente sofrerão um acréscimo de pressão igual ao exercido sobre o líquido? Justifique as respostas.



resposta no final do livro

Q48 Os êmbolos da prensa hidráulica da figura têm áreas $S_A = 4 \text{ cm}^2$ e $S_B = 120 \text{ cm}^2$. Sobre o êmbolo menor aplica-se a força de intensidade $F_1 = 40 \text{ N}$ que mantém em equilíbrio o homem sobre o êmbolo B . Calcule o peso do homem.



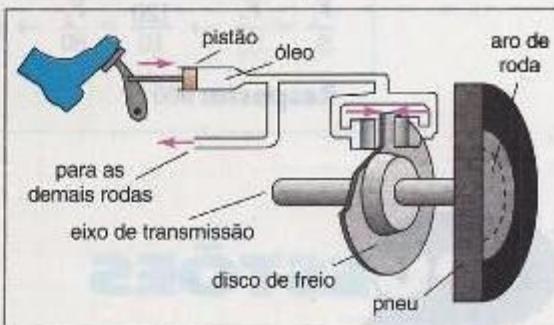
1 200 N

pistão cuja área é de 500 cm^2 . Sabendo que a área do pedal que aciona a cadeira é 30 cm^2 , determine a intensidade da força que o dentista está exercendo. **48 N**



Q49 A figura representa um dentista erguendo a paciente que se encontra na cadeira. O peso da paciente é 800 N e a cadeira está apoiada num

Q50 A figura mostra o sistema de freio a disco de um carro. Usando conceitos físicos, explique o seu funcionamento. [resposta no final do livro](#)



PESQUISE

Como funciona o freio hidráulico de lona? Qual freio é mais eficiente: o freio de lona ou o freio a disco?

VOCÊ SABIA?

CALCULANDO A VELOCIDADE DO VENTO

Usando um instrumento (anemômetro) em forma de U , cheio de óleo, de densidade conhecida, e observando a altura em que o vento empurra o óleo, os meteorologistas determinam a força do vento. Em seguida, calculam sua velocidade.

O ar entra pelo tubo e empurra o óleo que está no tubo. Quanto mais forte o vento, mais o óleo é empurrado para cima.



Série Dotta Jr/The New

CAPÍTULO 13

EMPUXO

O QUE É EMPUXO?

Quando tentamos afundar uma bola de plástico num líquido verificamos que, quanto mais a bola afundar nele, maior será a força de resistência, isto é, maior a dificuldade oferecida pelo líquido.

Se levarmos a bola até o fundo e a soltarmos, veremos que a bola sobe rapidamente.

Isto ocorre porque o líquido exerce sobre a bola uma força vertical de baixo para cima chamada *empuxo*, que representaremos por \vec{E} .

O empuxo representa a força resultante do líquido sobre a bola.

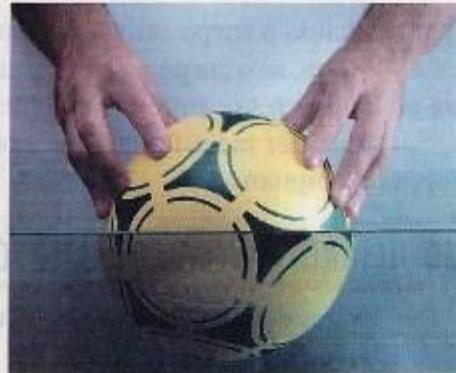
Veja o que ocorre.

Como a força é diretamente proporcional à pressão, ela é maior onde a pressão é maior, isto é, às maiores profundidades.

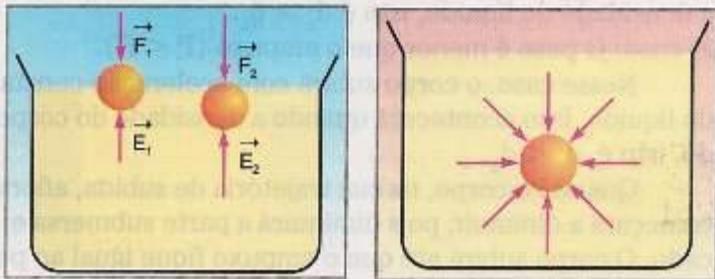
Note que as forças que atuam na parte de baixo da bola, isto é, aquelas que empurram a bola para cima, são maiores do que as que empurram a bola para baixo.

A soma de todas essas forças tem direção vertical e sentido para cima. Essa força é o empuxo.

É ela que empurra para cima os corpos mergulhados nos líquidos.



Sergio Dotti Jr/Ta Next

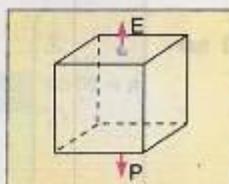
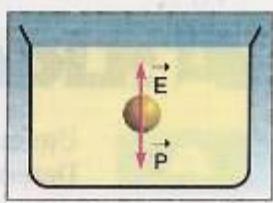


TEOREMA DE ARQUIMEDES

Foi o filósofo e matemático grego Arquimedes quem descobriu, a partir de experiências, como calcular o empuxo.

Para isso, consideremos um líquido em equilíbrio e uma porção desse líquido como se fosse um corpo imerso nele.

Para que o corpo de massa m_c e volume V_c fique em equilíbrio no líquido, devemos ter o empuxo igual ao peso do corpo, isto é:



$$E = P \rightarrow E = m_c g$$

$$E = d_c V_c g$$

Mas o corpo imaginário é constituído de líquido, logo:

$$d_c = d_{\text{líquido}} \text{ e } V_c = V_{\text{líquido deslocado}}$$

Portanto:

$$E = d_{\text{líquido}} \cdot V_{\text{líquido deslocado}} \cdot g$$

Todo corpo imerso total ou parcialmente num líquido recebe uma força vertical de baixo para cima, igual ao peso da porção de líquido deslocado pelo corpo.

Quando o corpo estiver totalmente submerso, $V_{\text{líquido deslocado}} = V_{\text{real do corpo}}$.

Porém, se o corpo estiver flutuando no líquido, só a porção do corpo que está mergulhada no líquido representará o volume de líquido deslocado.

Qualquer meio fluido, por exemplo, o ar — e não apenas os líquidos —, exerce uma força de empuxo.

EQUILÍBRIO DE CORPOS IMERSOS E FLUTUANTES

Vamos considerar um corpo mergulhado em um líquido. Sabemos que apenas duas forças agem sobre ele: o seu peso \vec{P} e o empuxo \vec{E} .

Distinguem-se três casos.

1º caso: O peso é maior que o empuxo ($P > E$).

Nesse caso, o corpo descerá com aceleração constante (condições ideais). Verificando-se as expressões de P e E , conclui-se que isso acontecerá se a densidade do corpo for maior que a densidade do líquido, isto é, $d_c > d_l$.

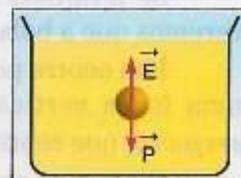
2º caso: O peso é menor que o empuxo ($P < E$).

Nesse caso, o corpo subirá com aceleração constante até ficar flutuando na superfície do líquido. Isso acontecerá quando a densidade do corpo for menor que a densidade do líquido, isto é, $d_c < d_l$.

Quando o corpo, na sua trajetória de subida, aflorar na superfície do líquido, o empuxo começará a diminuir, pois diminuirá a parte submersa e, portanto, o volume do líquido deslocado. O corpo subirá até que o empuxo fique igual ao peso do corpo, que é constante. Nessa condição ($P = E$) o corpo ficará em equilíbrio, flutuando no líquido.

3º caso: O peso é igual ao empuxo ($P = E$).

Nesse caso, o corpo ficará em equilíbrio, qualquer que seja o ponto em que for colocado. Isso acontecerá quando a densidade do corpo for igual à densidade do líquido, isto é, $d_c = d_l$.



APLICAÇÃO

A7

Um cubo de madeira de densidade $0,2 \text{ g/cm}^3$ e aresta 20 cm flutua na água. Determine a altura da parte imersa do cubo.

Resolução:

Devemos ter o empuxo igual ao peso; logo:

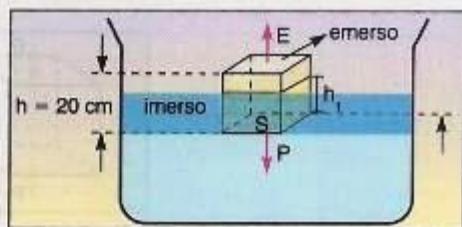
$$E = P$$

$$d_{\text{líquido}} \cdot V_{\text{líquido deslocado}} \cdot g = m_c \cdot g$$

$$d_{\text{líquido}} \cdot V_{\text{líquido deslocado}} = d_c \cdot V_c$$

$$d_{\text{líquido}} \cdot S \cdot h_1 = d_c \cdot S \cdot h \rightarrow d_{\text{líquido}} \cdot h_1 = d_c \cdot h \rightarrow 1 \cdot h_1 = 0,2 \cdot 20 \rightarrow h_1 = 4 \text{ cm}$$

Resposta: 4 cm



A 8

Uma esfera de massa 20 g é mantida totalmente imersa em um líquido, de forma que a distância entre seu ponto mais alto e a superfície livre do líquido vale 11,25 cm. Sabendo que a densidade da esfera em relação ao líquido é 0,8, determine o tempo decorrido do instante em que a esfera foi liberada até aquele em que ela chega à superfície. Admita a inexistência de atrito e $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Resolução:

- Cálculo do empuxo:

$$E = d_{\text{ág}} Vg \rightarrow E = d_{\text{ág}} \cdot \frac{m}{\rho_{\text{esf}}} \cdot g$$

$$E = \frac{1}{0,8} \cdot 0,020 \cdot 10 \rightarrow E = 0,25 \text{ N}$$

- Cálculo do peso da esfera:

$$P = mg \rightarrow P = 0,020 \cdot 10 \rightarrow P = 0,2 \text{ N}$$

- Cálculo da aceleração (MUV):

$$E - P = m \cdot a \rightarrow 0,25 - 0,2 = 0,020 \cdot a \rightarrow a = 2,5 \text{ m/s}^2$$

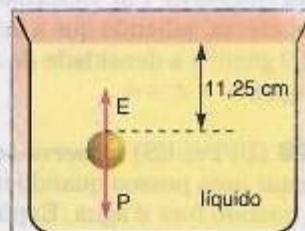
- Cálculo do tempo de subida:

$$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \rightarrow s = \frac{1}{2} \cdot 2,5t^2 \rightarrow s = 1,25t^2$$

Sendo $s = 11,25 \text{ cm} = 0,1125 \text{ m}$, temos:

$$0,1125 = 1,25t^2 \rightarrow t^2 = 0,09 \rightarrow t = 0,3 \text{ s}$$

Resposta: 0,3 s



QUESTÕES

Q51 Duas esferas metálicas, feitas de materiais diferentes, com o mesmo diâmetro, uma maciça e outra oca, estão totalmente imersas e em equilíbrio num recipiente que contém água. Os empuxos nessas esferas são iguais ou diferentes? Justifique sua resposta. [resposta no final do livro](#)

Q52 (UFMS) Uma bola indeformável flutua na água, parcialmente submersa. Para afundar essa bola é necessário empurrá-la, no mínimo, com uma força F , cujo módulo deve aumentar à medida que ela vai afundando, até que esteja completamente submersa. Explique por que o módulo de F deve ser aumentado enquanto ela está sendo afundada. [resposta no final do livro](#)

Q53 (FAAP-SP) Calcule o empuxo quando se mergulha totalmente em óleo um corpo maciço de ferro com massa $m = 1,6 \text{ kg}$. (Dados: $g = 10 \text{ m/s}^2$, $d_{\text{óleo}} = 7,5 \cdot 10^2 \text{ kg/m}^3$ e $d_{\text{ferro}} = 8,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$). [1,5 N](#)

Q54 (Fuvest-SP) Uma esfera de alumínio ocupa um volume de 300 cm^3 e possui massa de 200 g.

- a) Qual a densidade da esfera? $\sim 0,67 \text{ g/cm}^3$
b) Colocada numa piscina cheia de água, ela flutuará ou não? Explique.

Q55 (VUNESP) Considere o princípio de Arquimedes aplicado às situações descritas e responda.

- a) Um submarino está completamente submerso, em repouso, sem tocar o fundo do mar. O módulo do empuxo, exercido pela água no submarino, é igual, maior ou menor que o peso do submarino? [igual](#)
b) Quando o submarino passa a flutuar, em repouso, na superfície do mar, o novo valor do empuxo, exercido pela água no submarino, será menor que o valor da situação anterior (completamente submerso). Explique por quê. [resposta no final do livro](#)



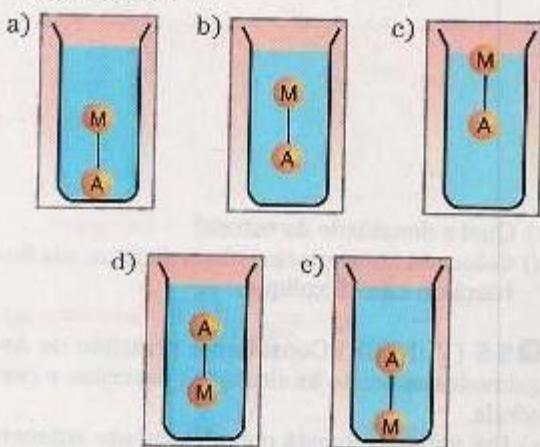
Q56 (UFAL) Uma pedra pesa 5,0 N e, quando mergulhada na água, aparenta ter o peso de 3,6 N devido ao empuxo que ela recebe da água. Qual o valor do empuxo sobre a pedra? **1,4 N**

Q57 Um *iceberg* de forma cúbica flutua com altura emersa de 1 m. Determine a altura da parte submersa, sabendo que a densidade do gelo é de $0,9 \text{ g/cm}^3$ e a densidade da água salgada é de $1,01 \text{ g/cm}^3$. **$\approx 8,18 \text{ m}$**

Q58 (UFPel-RS) Observa-se que é mais fácil levantar uma pessoa quando imersa na água do que quando fora d'água. Explique, fisicamente, esse fato. *resposta no final do livro*

Q59 (UFOP-MG) Duas esferas maciças de mesmo diâmetro — uma de alumínio, *A* (densidade 2,7), e a outra de madeira, *M* (densidade 0,5) — são ligadas por um fio sem massa. O conjunto é lançado em um tanque com água (densidade 1,0).

I. A configuração de equilíbrio estável do conjunto está representada corretamente na alternativa: **a**



II. Use o princípio de Arquimedes para justificar a alternativa marcada em I.

resposta no final do livro

Q60 (UFSC) A figura representa um balão de volume $V = 200 \text{ m}^3$, que possui massa total $m = 240 \text{ kg}$ (balão + gás + cesto). Na ausência de vento, o balão fica preso no chão por quatro cordas verticalmente esticadas e



Cost Stock Photo

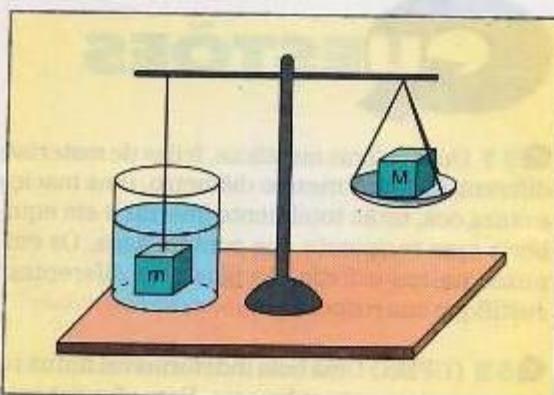
fixadas nos cantos do cesto. Considerando a densidade do ar $\rho_a = 1,3 \text{ kg/m}^3$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$, calcule a intensidade da tração, em newtons, para cada corda. **50 N**

Q61 (UFRN) Um barco, cujo porão tem a forma de um paralelepípedo retângulo, de largura 3,0 m e de comprimento 10,0 m, atracou em um porto para descarregar cimento. Cada saco de cimento tem 50,0 kg. Uma pessoa marcou, na lateral do barco, os níveis de água antes e depois de o cimento ser descarregado e observou que a distância entre as duas marcas foi de 0,5 m.

Admitindo que a diferença entre as duas marcas deveu-se apenas à retirada do cimento e que a densidade da água é de $1\,000 \text{ kg/m}^3$, calcule quantos sacos foram descarregados do barco.

300 sacos

Q62 (UFPE) Um bloco de massa $m = 500 \text{ g}$ e volume $V = 30 \text{ cm}^3$ é suspenso por uma balança de braços iguais e completamente imerso em um líquido de densidade desconhecida. Sabendo que para equilibrar a balança é necessário colocar uma massa $M = 200 \text{ g}$ sobre o prato suspenso pelo outro braço, determine a densidade do líquido em g/cm^3 . **10 g/cm^3**



Q63 (Esal-MG) Uma esfera cujo volume é de 200 cm^3 , feita de um material cuja densidade é $0,8 \text{ g/cm}^3$, é totalmente mergulhada em um tanque cheio de água (densidade 1 g/cm^3) de profundidade 10 m e abandonada a seguir. Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$ e $p_0 = 10^5 \text{ N/m}^2$, calcule:

- a pressão que a esfera suporta no fundo do tanque **$2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$**
- o módulo, a direção e o sentido da aceleração adquirida pela esfera. **$2,5 \text{ m/s}^2$, vertical, para cima**
- a velocidade da esfera quando atinge a superfície da água. **$5\sqrt{2} \text{ m/s}$**
- o tempo que a esfera gastará para atingir a superfície da água. **$2\sqrt{2} \text{ s}$**

UNIDADE VII



—
—
—
—
—

Terminologia

CAPÍTULO 14

TERMOMETRIA

TEORIA, SEUS CRIADORES, SUA PRÁTICA

Agora, você vai conhecer dois importantes conceitos físicos: *temperatura* e *calor*. À primeira vista, pode parecer que eles nada têm a ver com a Mecânica, objeto de nosso estudo até o momento. Convém lembrar que as propriedades mecânicas dos materiais dependem muito de sua temperatura e que muitos sistemas físicos realizam trabalho mecânico à custa de transferências de calor, como é o caso de um motor a combustão, uma turbina térmica.

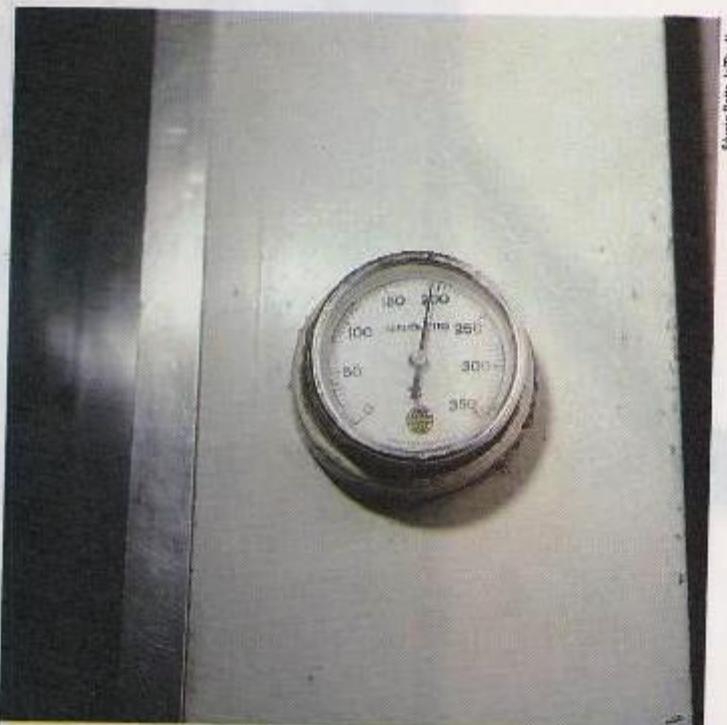
Em várias atividades, as medições da temperatura são necessárias e constantes, como na culinária, na metalurgia, no artesanato, por exemplo. E há casos em que as medições da temperatura têm de ser ainda mais precisas, como para avaliar a temperatura do corpo humano.

Os primeiros termômetros de líquido em vidro, de boa precisão, foram construídos por volta de 1720 pelo físico alemão Daniel G. Fahrenheit (1686-1736). Desde então, outros tipos de termômetro foram criados; porém o primeiro a utilizar pontos fixos facilmente reproduzíveis foi inventado pelo astrônomo sueco Anders Celsius (1701-1744). Contudo, foi o físico britânico William Thomson Kelvin (1824-1907), lorde Kelvin, o primeiro a utilizar uma escala absoluta de temperatura.

O estudo do efeito que a variação de temperatura provoca nos sólidos, líquidos e gases — conhecido como dilatação térmica — é fundamental na construção de pontes, estruturas metálicas, ferrovias e redes elétricas.

Nesta Unidade faremos a distinção entre as palavras calor e temperatura, as quais muitas vezes o leigo usa como se fossem sinônimas. Será interessante notar que, quando um corpo é aquecido, isto é, recebe calor, ocorre uma variação de temperatura. Se esse corpo continuar a receber calor, em dado momento sua temperatura já não se alterará, iniciando-se uma mudança na agregação molecular, ou seja, existe influência da temperatura na fase de um material.

Você verá como é interessante compreender o funcionamento de alguns equipamentos do nosso dia-a-dia — como a geladeira, os aparelhos de ar-condicionado, a garrafa térmica e o forno de microondas —, que só puderam ser criados graças aos ensinamentos de Joule (1818-1889), Kelvin, Carnot (1796-1832) e Planck (1858-1947).



Termômetro de forno industrial

CONCEITOS DE TEMPERATURA E CALOR

Estamos acostumados a usar os termos “quente”, “frio”, “morno”, “tépido”, “gelado” etc., para exprimir sensações obtidas no tato de um determinado objeto. Essa “sensação” é relativa à pessoa que a sente, bem como às condições em que ela se encontra e nas quais se encontrava anteriormente.

Como a sensação térmica é variável de indivíduo para indivíduo, ela não se presta como medida da temperatura de um sistema. Portanto, para se determinar a temperatura de um objeto é necessário um conceito obtido independentemente das percepções sensoriais e que envolva quantidades mensuráveis.

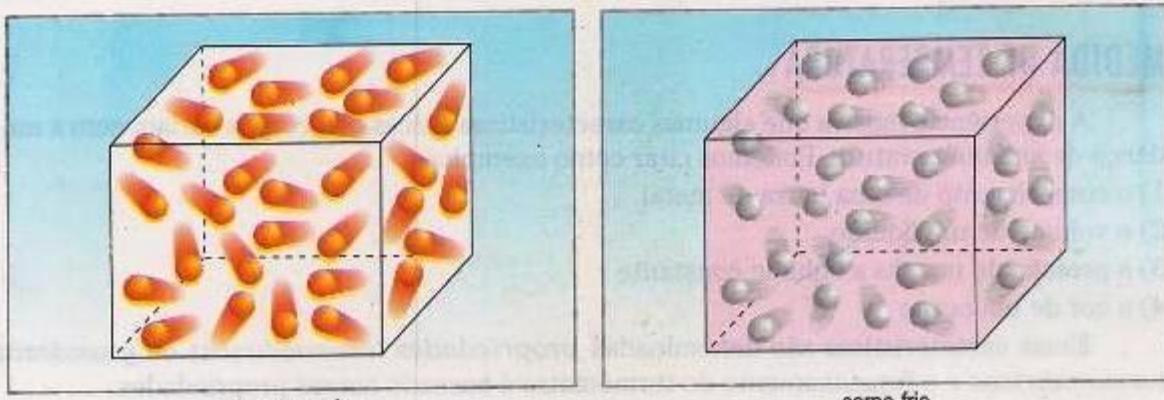
Todos os corpos são constituídos por partículas que estão sempre em movimento. Esse movimento é denominado *energia interna* do corpo.

O nível de energia interna de um corpo depende da velocidade com que suas partículas se movimentam. Se o movimento é rápido, o corpo possui um nível de energia interna alto; se o movimento é lento, o corpo tem nível de energia interna baixo.

Investigando microscopicamente um corpo, observou-se que seu estado de aquecimento influiu no estado de agitação de suas partículas, tornando-o mais acentuado à medida que o corpo vai ficando mais quente.



Eric Stock Photo



Com base nesse conceito, define-se:

Temperatura é uma grandeza física que mede o estado de agitação das partículas de um corpo, caracterizando o seu estado térmico.

Os aparelhos que permitem medir a temperatura de um corpo são chamados *termômetros*.

A temperatura de um corpo indica se esse corpo vai ganhar ou perder energia interna ao entrar em contato com outro corpo.

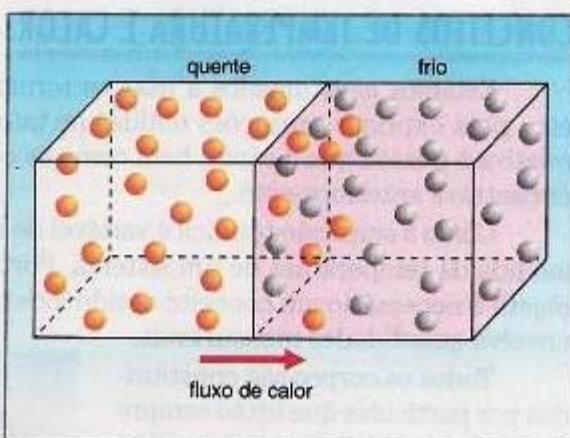
Se dois corpos, um quente e outro frio, forem colocados em contato, uma parcela da energia interna do corpo quente passará para o corpo frio sob a forma de *calor*.

Um termômetro colocado sobre o corpo quente mostra que sua temperatura diminui, enquanto que outro termômetro colocado sobre o corpo frio mostra que sua temperatura aumenta.

Da mesma forma que a água se move no sentido da gravidade, o calor flui de um corpo de temperatura maior para um corpo de temperatura menor.

Após um certo tempo, as temperaturas dos dois corpos se igualam. Nesse momento o fluxo de calor é interrompido e se diz que os corpos se encontram em *equilíbrio térmico*.

É importante diferenciar calor de temperatura, pois são grandezas físicas diferentes: temperatura é a medida do nível de energia interna de um corpo; calor é a passagem de energia de um corpo para outro, devido à diferença de temperatura entre eles.



Calor é a energia térmica em trânsito, entre dois corpos ou sistemas, decorrente apenas da existência de uma diferença de temperatura entre eles.

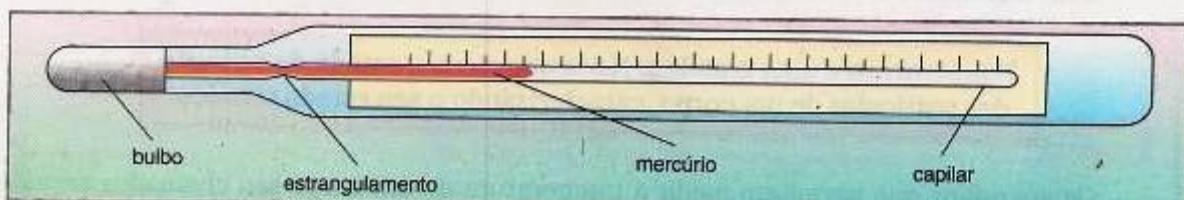
MEDIDA DE TEMPERATURA

A experiência mostra que algumas características físicas dos corpos variam com a mudança de sua temperatura. Podemos citar como exemplos:

- 1) o comprimento de uma barra de metal
- 2) o volume de um líquido
- 3) a pressão de um gás a volume constante
- 4) a cor de um corpo

Essas características são denominadas *propriedades termométricas* ou *grandezas termométricas* e o funcionamento do termômetro é baseado nessas propriedades.

O termômetro mais comum é o de mercúrio contido num recipiente de vidro graduado, que tem um bulbo de paredes finas ligado a um tubo capilar.



Quando a temperatura do termômetro se eleva, o mercúrio expande-se e sobe pelo tubo capilar.

A cada altura da coluna de mercúrio associa-se uma temperatura.

No termômetro clínico o estrangulamento no tubo capilar evita a descida do mercúrio, permitindo a leitura máxima atingida pelo termômetro.

Na prática, para medir a temperatura de um corpo, coloca-se o termômetro em contato com esse corpo. Espera-se até que a grandeza termométrica contida no termômetro não varie mais, isto é, a temperatura do mercúrio seja a mesma do corpo (atingam o equilíbrio térmico), retira-se o termômetro e efetua-se a leitura da temperatura.

Num termômetro, a expressão que relaciona a grandeza termométrica com a temperatura é chamada *função termométrica*, sendo, geralmente, do primeiro grau.



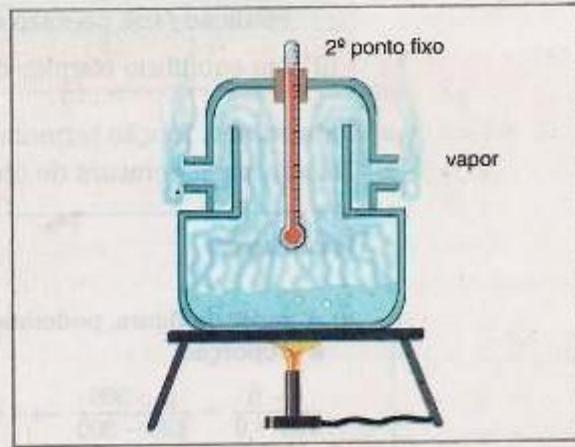
ESCALAS TERMOMÉTRICAS

Uma escala termométrica corresponde a um conjunto de valores numéricos, onde cada um desses valores está associado a uma temperatura.

Para a graduação das escalas foram escolhidos, para pontos fixos, dois fenômenos que se reproduzem sempre nas mesmas condições: a fusão do gelo e a ebullição da água, ambos sob pressão normal.

1º ponto fixo: corresponde à temperatura de fusão do gelo e é chamado *ponto do gelo*.

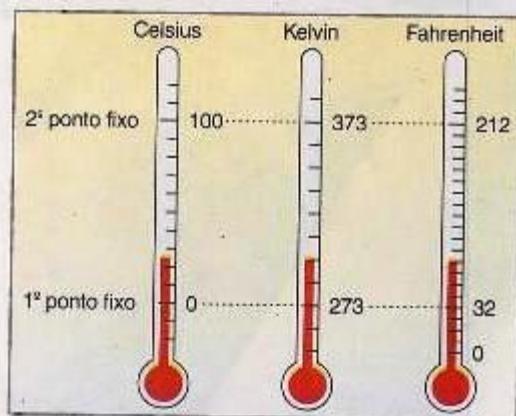
2º ponto fixo: corresponde à temperatura de ebullição da água e é chamado *ponto do vapor*.



A partir da escolha dos pontos fixos, realizam-se as operações a seguir.

- 1º) Coloca-se o termômetro em contato com o gelo em fusão e, após ocorrer o equilíbrio térmico, marca-se a altura da coluna de mercúrio.
- 2º) Coloca-se o termômetro em contato com a água em ebullição e, após ocorrer o equilíbrio térmico, marca-se a altura da coluna de mercúrio.
- 3º) Divide-se em partes iguais o espaço entre as duas marcas realizadas.

Em nosso curso, utilizaremos as seguintes escalas:



Nas escalas Celsius e Kelvin, o intervalo de 0 °C a 100 °C e de 273 K a 373 K, respectivamente, é dividido em 100 partes iguais e cada uma das divisões corresponde a 1 °C e 1 K.

Na escala Fahrenheit, o intervalo de 32 °F a 212 °F é dividido em 180 partes iguais e cada uma das divisões corresponde a 1 °F.

A escala Fahrenheit é usada, geralmente, nos países de língua inglesa.

A escala Kelvin é chamada *escala absoluta* de temperatura. Kelvin propôs atribuir o *zero absoluto* à menor temperatura admitida na natureza, que corresponde à temperatura em que cessa a agitação das partículas de um corpo — situação inatingível na prática, mas que, calculada por Kelvin, corresponderia a aproximadamente -273,15 °C (usa-se, na prática -273 °C).

$$\frac{t_C}{5} = \frac{t_K - 273}{5} = \frac{t_F - 32}{9}$$

APLICAÇÃO

A1

Utiliza-se como termômetro um recipiente cujo volume é constante e que contém um gás cuja pressão é medida nas seguintes situações:

RECIPIENTE	PRESSÃO DO GÁS
I) em equilíbrio térmico com uma mistura de água e gelo (também em equilíbrio térmico)	300 mmHg
II) em equilíbrio térmico com vapor de água em ebulição (sob pressão normal)	420 mmHg
III) em equilíbrio térmico com óleo aquecido	480 mmHg

- Determine a função termométrica desse termômetro na escala Celsius.
- Calcule a temperatura do óleo aquecido.

Resolução:

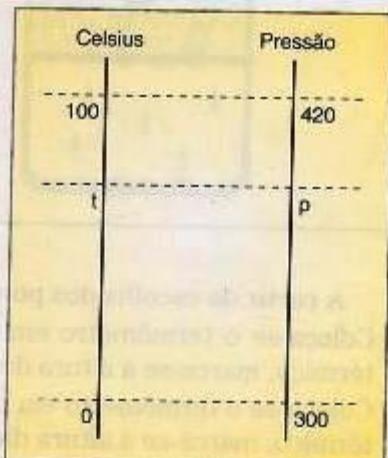
- a) A partir da figura, podemos estabelecer a proporção:

$$\frac{t - 0}{100 - 0} = \frac{p - 300}{420 - 300} \rightarrow t = \frac{5}{6} p - 250$$

- b) Quando $p = 480$ mmHg, temos:

$$t = \frac{5}{6} \cdot 480 - 250 \rightarrow t = 150^\circ\text{C}$$

Respostas: a) $t = \frac{5}{6} p - 250$; b) 150°C



A2

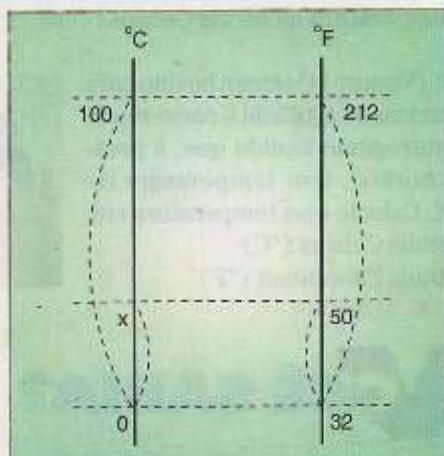
Transforme 50 °F em graus Celsius.

Resolução:

Estabelecendo a proporção entre os segmentos correspondentes da figura, temos:

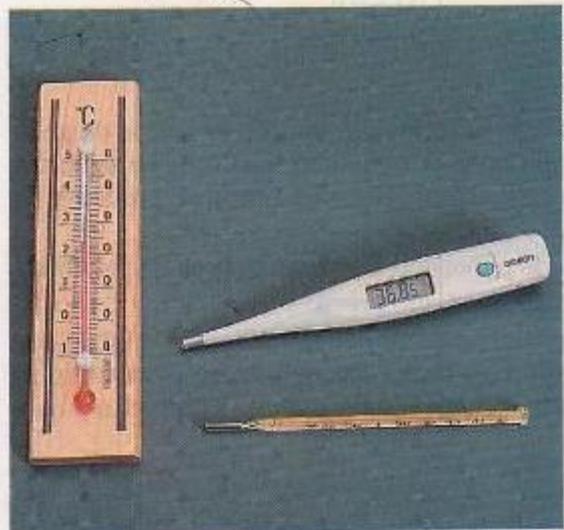
$$\frac{x - 0}{100 - 0} = \frac{50 - 32}{212 - 32}$$

$$\frac{x}{100} = \frac{18}{180} \rightarrow x = 10^{\circ}\text{C}$$

Resposta: 10 °C

QUESTÕES

Q1 Como funciona um termômetro? O que ele mede? resposta no final do livro



Q2 Podemos utilizar qualquer líquido para construir um termômetro? Como você procederia para graduá-lo? Por que se utiliza o mercúrio como grandeza termométrica no termômetro clínico? resposta no final do livro

Q3 A temperatura normal do corpo humano é de 36 °C. Qual é essa temperatura expressa nas escalas Fahrenheit e Kelvin? 96,8 °F e 309 K

Q4 Beber água fresca significa beber água a temperatura menor que 10 °C. Expressse essa temperatura de 10 °C em graus Fahrenheit. 50 °F



Q5 A tabela a seguir apresenta o resultado de duas leituras feitas num medidor de temperatura, em graus Fahrenheit, que relaciona a temperatura com a altura da coluna de mercúrio.

LEITURA	TEMPERATURA (°F)	ALTURA
1 ^a	10 unidades	5 cm
2 ^a	90 unidades	-45 cm

- Determine a função termométrica desse medidor. $t = 2 h$
- Determine a temperatura quando a altura da coluna é 25 cm. 50°F
- Calcule a altura da coluna de mercúrio quando a temperatura é 100 °F. 50 cm



Q6 Numa das regiões mais frias do mundo, o termômetro indica -76°F . Qual será o valor dessa temperatura na escala Celsius? -60°C

Q7 (Vuncsp) O sêmen bovino para inseminação artificial é conservado em nitrogênio líquido que, à pressão normal, tem temperatura de 78 K. Calcule essa temperatura em:

- graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$)
- graus Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$)

a) -195°C ; b) -319°F



Q8 Ao medir a temperatura de um gás, verificou-se que a leitura era a mesma, tanto na escala Celsius como na Fahrenheit. Qual era essa temperatura? -40°C

Q9 (UMC-SP) Um estudante construiu um termômetro com uma escala particular de temperatura que denominou escala A. Essa escala registrou para o ponto do gelo 20°A e, para o ponto do vapor, 80°A . Que temperatura a escala A registraria para um líquido a 20°C ? 32°A

VOCÊ SABIA?

A geladeira é um eletrodoméstico imprescindível. Sua função é conservar os alimentos — *in natura* ou preparados — através da redução da temperatura de armazenagem. Existem muitos modelos de geladeira, que apresentam potências variadas, entre 150 W a 400 W.

A geladeira é responsável por cerca de 30% do consumo de eletricidade de uma residência.

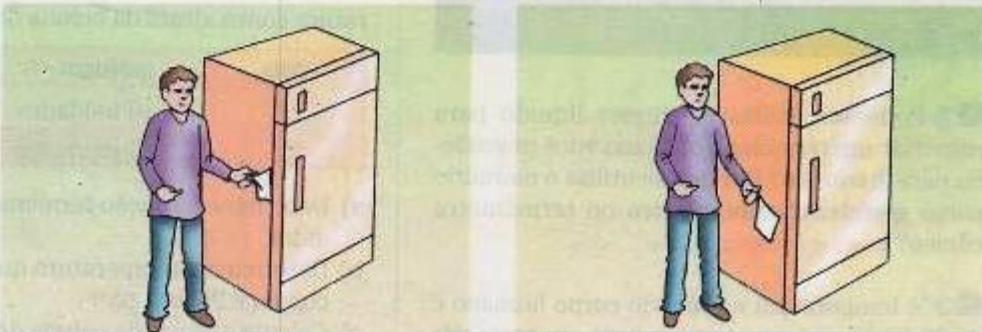
Veja, abaixo, o consumo médio mensal de alguns modelos:

Capacidade para 280 litros.....	45 kWh
Capacidade para 320 litros.....	50 kWh
Capacidade para 360 litros.....	65 kWh
Capacidade para 440 litros (dúplex).....	110 kWh

Teste de vedação

Para certificar-se de que não está havendo vazamento de ar frio da geladeira para o exterior, provocando aumento de consumo, verifique se as borrachas de vedação da porta estão em bom estado. Um jeito prático é proceder da seguinte forma:

- 1º Abra a porta e coloque uma folha de papel entre ela e o gabinete da geladeira.
- 2º Feche a porta fazendo com que a folha fique presa.
- 3º Depois tente retirá-la; se a folha deslizar e sair com facilidade é sinal de que as borrachas não estão garantindo a vedação. Imediatamente, providencie a sua substituição, pois a perda do frio interno da geladeira aumenta o consumo de eletricidade.



Fonte: *Manual de economia e energia elétrica no lar* – CESP/CPFL/Eletropaulo/COMGÁS, 1985 – São Paulo

CAPÍTULO 15

DILATAÇÃO TÉRMICA

INTRODUÇÃO

A experiência mostra que os sólidos, ao sofrerem um aquecimento, se dilatam e, ao serem resfriados, se contraem.

A dilatação ou a contração ocorre em três dimensões: *comprimento*, *largura* e *espessura*.

A essa variação nas dimensões de um sólido causada pelo aquecimento ou resfriamento denominamos *dilatação térmica*.

A dilatação de um sólido com o aumento de temperatura ocorre porque, com o aumento da energia térmica, aumentam as vibrações dos átomos e das moléculas que formam o corpo, fazendo com que passem para posições de equilíbrio mais afastadas que as originais.

Esse afastamento maior dos átomos e das moléculas do sólido produz sua dilatação em todas as direções.

Para contornar o problema da dilatação (expansão) dos sólidos costuma-se deixar um espaço livre entre dois trilhos de uma ferrovia, entre trechos de pontes, entre blocos de cimento de uma calçada etc.



Sergio Doria / The Net

Entre dois trilhos de uma ferrovia sempre existe um pequeno intervalo. A finalidade do intervalo é evitar a compressão nos trilhos quando houver dilatação, em virtude do aumento de temperatura.

Por outro lado, uma rede elétrica apresenta sempre folga entre dois postes.

A folga é para evitar uma tração e possível ruptura no fio, quando ele diminui de comprimento com a diminuição de temperatura.

DILATAÇÃO LINEAR

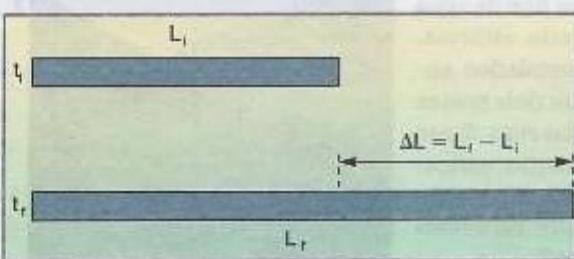
É aquela em que predomina a variação em uma única dimensão, ou seja, o comprimento.

Podemos citar como exemplos a dilatação em fios, cabos e barras.

Para estudarmos a dilatação linear, consideremos uma barra de comprimento inicial L_i , à temperatura inicial t_i .

Aumentando a temperatura da barra para t_f , seu comprimento passa a L_f .

Em que $\Delta L = L_f - L_i$ é a variação de comprimento, isto é, a dilatação linear da barra, na variação de temperatura $\Delta t = t_f - t_i$.



Experimentalmente, verificou-se que:

- 1º) ΔL é diretamente proporcional ao comprimento inicial L_i .
- 2º) ΔL é diretamente proporcional à variação de temperatura Δt .
- 3º) ΔL depende do material que constitui a barra.

A partir dessas relações, podemos escrever:

$$\Delta L = L_i \alpha \Delta t$$

Em que α é uma constante característica do material que constitui a barra, denominada *coeficiente de dilatação linear*. A unidade de α é $\frac{1}{^{\circ}\text{C}} = ^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Se $\Delta L = L_f - L_i$ e $\Delta t = t_f - t_i$, temos:

$$\Delta L = L_f - L_i = L_i \alpha (t_f - t_i) \rightarrow L_f = L_i + L_i \alpha (t_f - t_i)$$

$$L_f = L_i [1 + \alpha (t_f - t_i)]$$

APLICAÇÃO

A3

O comprimento de um fio de alumínio é de 40 m a 20°C . Sabendo que o fio é aquecido até 60°C e que o coeficiente de dilatação térmica linear do alumínio é de $24 \cdot 10^{-6} ^{\circ}\text{C}^{-1}$, determine:

a) a dilatação do fio

b) o comprimento final do fio

Resolução:

a) Dados: $L_i = 40 \text{ m}$; $t_i = 20^{\circ}\text{C}$; $t_f = 60^{\circ}\text{C}$; $\alpha = 24 \cdot 10^{-6} ^{\circ}\text{C}^{-1}$

A dilatação linear do fio é dada por:

$$\Delta L = L_i \alpha \Delta t \rightarrow \Delta L = 40 \cdot 24 \cdot 10^{-6} \cdot (60 - 20) \rightarrow \Delta L = 0,0384 \text{ m}$$

b) $L_f = L_i + \Delta L \rightarrow L_f = 40 + 0,0384 \rightarrow L_f = 40,0384 \text{ m}$

Respostas: a) 0,0384 m; b) $L_f = 40,0384 \text{ m}$

QUESTÕES

Porque a temperatura ambiente no verão é mais elevada, o que provoca uma pequena dilatação no fio. No inverno, a temperatura diminui, fazendo o fio contrair-se um pouco.

Q10 Porque os fios de uma rede elétrica, instalados entre dois postes nas ruas, ficam menos esticados no verão que no inverno?



Q11 Uma barra de ferro tem comprimento 10 m a 0°C . Sabendo que o coeficiente de dilatação linear do ferro é igual a $12 \cdot 10^{-6} ^{\circ}\text{C}^{-1}$, calcule:

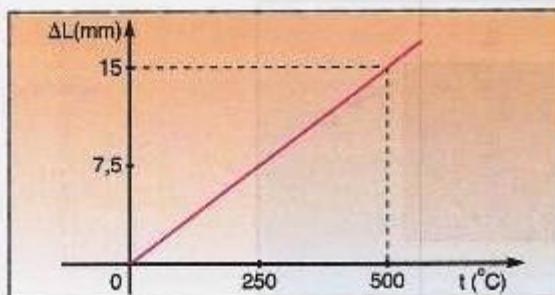
- a) o comprimento final da barra a 20°C 10,0024 m
- b) o comprimento final da barra a -30°C

9,9964 m

Q12 Uma barra de alumínio passando de 15°C a 100°C alonga-se 1,224 mm. Calcule o comprimento inicial dessa barra.

Dado: $\alpha_{Al} = 24 \cdot 10^{-6} ^{\circ}\text{C}^{-1}$. 60 cm

Q13 (UFPE) O gráfico abaixo representa a variação, em milímetros, do comprimento de uma barra metálica, de tamanho inicial igual a 1 000 m, aquecida em um forno industrial. Qual é o valor do coeficiente de dilatação térmica linear do material de que é feita a barra, em unidades de $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$? $30 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}^{-1}$



Q14 (EFEI-MG) Uma vara metálica tem 10,000 cm de comprimento a 293 K e 10,048 cm a 212 $^{\circ}\text{F}$. Calcule o coeficiente de dilatação linear desse metal, válido para esse intervalo de temperatura. $6 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}^{-1}$

Q15 (UFAL) Trilhos ferroviários de aço, cada um com 10 m de comprimento, são instalados

quando a temperatura é de 12 $^{\circ}\text{C}$. Para que eles se encostem caso a temperatura atinja 52 $^{\circ}\text{C}$, qual deve ser o espaçamento que precisa ser deixado entre os trilhos?

Dado: Coeficiente de dilatação linear do aço = $11 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}^{-1}$. $0,0044\text{ m}$

Q16 (UMC-SP) Um aluno do curso de engenharia mecânica da UMC deseja medir a temperatura de um forno utilizando uma barra metálica de comprimento igual a 1 m, que se encontra inicialmente a 22 $^{\circ}\text{C}$. A barra é introduzida no forno e, ao ser retirada, o aluno verifica que o seu comprimento passa a ser 1,01 m.

Sabendo que a variação de comprimento (ΔL) é diretamente proporcional à variação da temperatura (Δt) e ao comprimento inicial (L_0), pede-se determinar a temperatura do forno.

Dado: Coeficiente de dilatação linear do metal $10 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}^{-1}$. $1\,022\text{ }^{\circ}\text{C}$

Q17 (UFPB) Um fio de cobre, de comprimento $L = 30\text{ cm}$, encontra-se a uma temperatura $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$. A que temperatura deve-se aquecer o fio para que seu comprimento aumente de $2,4 \cdot 10^{-3}\text{ cm}$, sabendo-se que o coeficiente de dilatação linear do cobre vale $1,6 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$?

$45\text{ }^{\circ}\text{C}$

VOCÊ SABIA?

O ferro elétrico é equipado com um dispositivo chamado *termostato*, que faz o controle da temperatura.

Esse dispositivo interrompe o funcionamento do ferro quando a temperatura para a qual é regulado é atingida e restabelece o equilíbrio se a temperatura se afasta desse valor.

O termostato do ferro elétrico é uma lâmina bimetálica que se contrai ou se expande com a variação da temperatura. Desse modo, o termostato abre ou fecha o circuito elétrico.

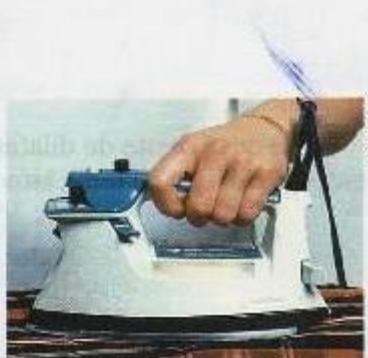


Foto: Folha

Posição da lâmina bimetálica quando fria, fechando o circuito.



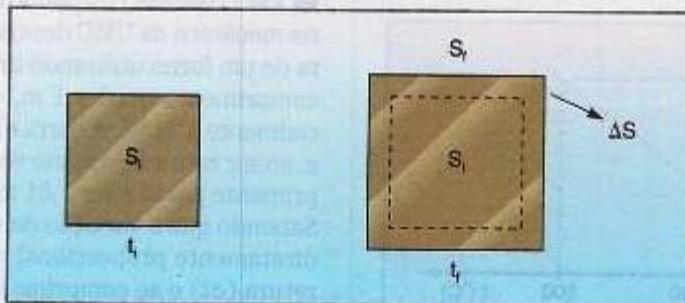
Posição da lâmina bimetálica quando aquecida, abrindo o circuito. O latão dilata-se mais que o aço.



DILATAÇÃO SUPERFICIAL

Dilatação superficial é aquela em que predomina a variação em duas dimensões, ou seja, a variação da área.

Consideremos uma placa de área inicial S_i à temperatura inicial t_i . Aumentando a temperatura da placa para t_f , sua área passa para S_f .



A experiência mostra que ΔS é proporcional a S_i e Δt . Logo:

$$\Delta S = S_i \beta \Delta t$$

$$[\Delta A = \beta \cdot A_0 \cdot \Delta \theta]$$

em que β é o coeficiente de dilatação superficial do material que constitui a placa.

Da mesma forma que para a dilatação linear, podemos escrever:

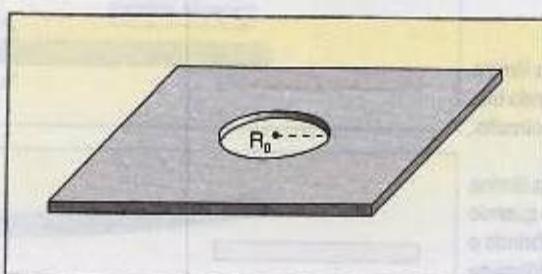
$$S_f = S_i [1 + \beta (t_f - t_i)] \quad A = A_0 (1 + \beta \cdot \Delta \theta)$$

O coeficiente de dilatação superficial para cada substância é igual ao dobro do coeficiente de dilatação linear, isto é:

$$\beta = 2\alpha$$

Observação:

Quando uma chapa com um orifício é aquecida, ela se dilata como se fosse inteiriça, isto é, o orifício de raio R_0 se dilata como se fosse constituído do mesmo material da chapa.



APLICAÇÃO

BALANÇO THERMOCÍCLICO

A4

Uma placa retangular de alumínio tem 10 cm de largura e 40 cm de comprimento, à temperatura de 20 °C. Essa placa é colocada num ambiente cuja temperatura é de 50 °C. Sabendo que $\beta_{al} = 46 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, calcule:

- a dilatação superficial da placa
- a área da placa nesse ambiente

Resolução:

a) Cálculo da área inicial:

$$S_i = 10 \cdot 40 = 400 \text{ cm}^2$$

Cálculo da dilatação superficial:

$$\Delta S = S_i \beta \Delta t \rightarrow \Delta S = 400 \cdot 46 \cdot 10^{-6} \cdot (50 - 20) \rightarrow \Delta S = 0,552 \text{ cm}^2$$

b) $S_f = S_i + \Delta S \rightarrow S_f = 400 + 0,552 \rightarrow S_f = 400,552 \text{ cm}^2$

Respostas: a) 0,552 cm²; b) 400,552 cm²

QUESTÕES

Q18 Uma placa retangular de alumínio tem área de 40 cm² a 0 °C. Sabendo que o coeficiente de dilatação superficial do alumínio é $48 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, calcule:

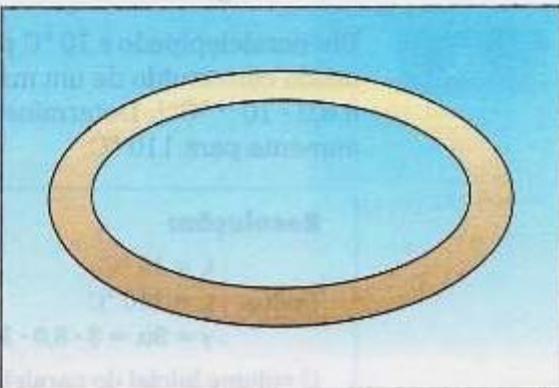
- a área final da placa a 50 °C $40,098 \text{ cm}^2$
- a área final da placa a -20 °C $39,9616 \text{ cm}^2$

Q19 Um círculo de aço homogêneo, de raio 10 cm e coeficiente de dilatação linear $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, tem sua temperatura alterada de 10 °C para 110 °C. Calcule a dilatação superficial sofrida pelo círculo nessa variação de temperatura. Adote $\pi = 3,14$. $= 0,75 \text{ cm}^2$

Q20 (UFPB) Uma chapa quadrada de alumínio tem exatamente 1 m de lado quando está à temperatura de 10 °C. Quando esta chapa atinge a temperatura de 60 °C, verifica-se que sua área é 1,0022 m². Determine o coeficiente de dilatação linear do alumínio. $22 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

Q21 Uma chapa de alumínio e outra de cobre têm áreas respectivamente iguais a 80 cm² e 80,4 cm² a 0 °C. Sabendo que $\beta_{al} = 48 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e $\beta_{co} = 34 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, determine a temperatura em que elas terão áreas iguais. $= 361,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Q22 Um anel de cobre ($\alpha_{cu} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) tem raio interno igual a 5 cm a 20 °C. Determine até qual temperatura devemos aquecê-lo, de modo que esse anel possa ser introduzido num cilindro com base de área igual a 79,285 cm². Considere $\pi = 3,14$. $270 \text{ }^{\circ}\text{C}$



Q23 Uma chapa retangular de zinco apresenta, a 20 °C, comprimento de 40 cm e largura de 25 cm. Sendo o coeficiente de dilatação linear do zinco igual a $25 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, qual a temperatura em que a placa apresenta 2% de acréscimo na sua área? $420 \text{ }^{\circ}\text{C}$

DILATAÇÃO VOLUMÉTRICA

Dilatação volumétrica é aquela em que se considera a variação das três dimensões de um corpo: *comprimento, largura e altura*.

Seja um cubo com volume V_i à temperatura t_i , e volume V_f à temperatura t_f , com $t_f > t_i$.

Considere:

V_i = volume inicial

V_f = volume final

ΔV = variação do volume (dilatação volumétrica)

A dilatação volumétrica pode ser obtida pela expressão:

$$\Delta V = V_i \gamma \Delta t$$

O volume final V_f pode ser obtido pela expressão:

$$V_f = V_i [1 + \gamma(t_f - t_i)] \text{, onde } \gamma = \text{coeficiente de dilatação volumétrica.}$$

O coeficiente de dilatação volumétrica de uma substância é igual ao triplo do coeficiente de dilatação linear, isto é:

$$\gamma = 3\alpha$$

APLICAÇÃO

A5

Um paralelepípedo a 10°C possui dimensões iguais a $10\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 30\text{ cm}$, sendo constituído de um material cujo coeficiente de dilatação térmica linear é $8,0 \cdot 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Determine o acréscimo de volume quando sua temperatura aumenta para 110°C .

Resolução:

Dados: $\begin{cases} t_i = 10^\circ\text{C} \\ t_f = 110^\circ\text{C} \\ \gamma = 3\alpha = 3 \cdot 8,0 \cdot 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1} = 24 \cdot 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1} \end{cases}$

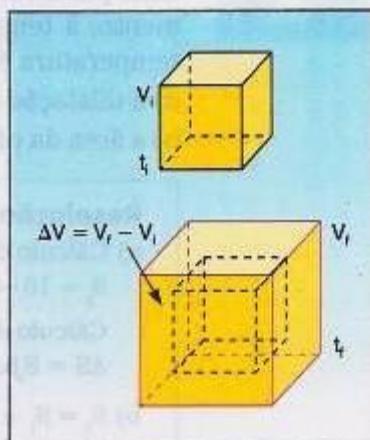
O volume inicial do paralelepípedo é dado por:

$$V_i = 10 \cdot 20 \cdot 30 = 6\,000\text{ cm}^3$$

O acréscimo de volume é dado por:

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_i \gamma \Delta t \rightarrow \Delta V = V_i \gamma (t_f - t_i) \rightarrow \Delta V = 6\,000 \cdot 24 \cdot 10^{-6} (110 - 10) \\ &\Delta V = 14,4\text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Resposta: $14,4\text{ cm}^3$



QUESTÕES

Q 24 Por que os objetos aumentam de tamanho quando aquecidos? *resposta no final do livro*

Q 25 Um recipiente de cobre tem $1\ 000\text{ cm}^3$ de capacidade a $0\ ^\circ\text{C}$. Sabendo que o coeficiente de dilatação linear do cobre é igual a $17 \cdot 10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1}$, calcule a capacidade do recipiente a $100\ ^\circ\text{C}$.

$1\ 005,1\text{ cm}^3$

Q 26 (PUC-PR) Um recipiente de vidro, do tipo usado para acondicionar geléia, palmito ou azeitona, é fechado por uma tampa metálica.

Stélio Dab



Quando há dificuldade em abri-lo, é usual mergulhar sua parte superior, que se encontra tampada, em água quente. Isso facilita a sua abertura.

Explique, usando os conceitos da Física, por que esse procedimento funciona. *resposta no final do livro*

Q 27 Um bloco de ferro tem um volume de 50 cm^3 a $0\ ^\circ\text{C}$. Determine até qual temperatura devemos aquecer-lo a fim de que seu volume seja igual a $50,425\text{ cm}^3$. Dado: coeficiente de dilatação linear do ferro = $12 \cdot 10^{-6}\ ^\circ\text{C}^{-1}$. $\sim 236,11\ ^\circ\text{C}$

Q 28 (PUC-SP) Ao guardar dois copos de vidro iguais, uma dona de casa encaixou um dentro do outro. Quando foi utilizá-los de novo, os dois estavam presos e ela não conseguiu separá-los. Resolveu, então, colocar água quente no copo interno. Você acha que ela teve sucesso? Explique e, em caso negativo, sugira outro procedimento prático para separar os copos, evitando que eles quebrem. *resposta no final do livro*

Q 29 (UFRS) Um sólido homogêneo apresenta, a $5\ ^\circ\text{C}$, um volume igual a $4,00\text{ dm}^3$. Aquecido até $505\ ^\circ\text{C}$, seu volume aumenta de $0,06\text{ dm}^3$. Qual é o coeficiente de dilatação linear desse sólido? $1 \cdot 10^{-5}\ ^\circ\text{C}^{-1}$

PESQUISE

O que acontece com a densidade de um corpo quando sofre um aumento de temperatura? E se for a água?

DILATAÇÃO DOS LÍQUIDOS

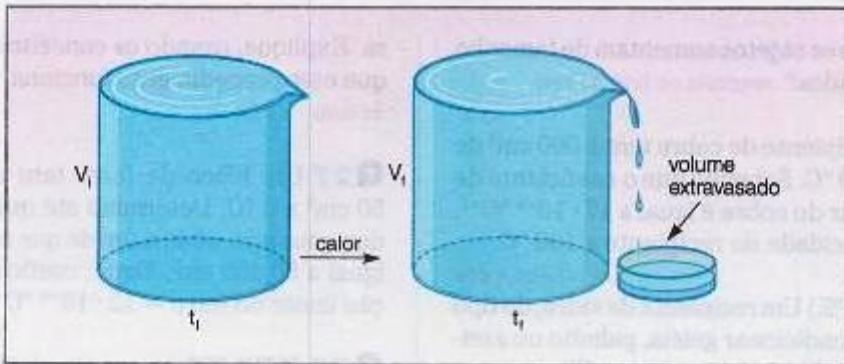
Como os líquidos não apresentam forma própria, só tem significado o estudo de sua dilatação volumétrica. Ao estudar a dilatação de um líquido, tem de se levar em conta a dilatação do recipiente sólido que o contém.

De maneira geral, os líquidos sempre dilatam-se mais que os sólidos ao serem igualmente aquecidos.

No aquecimento de um líquido contido num recipiente, o líquido irá, ao dilatar-se juntamente com o recipiente, ocupar parte da dilatação sofrida pelo recipiente, além de mostrar uma dilatação própria, chamada *dilatação aparente*.

A dilatação aparente é aquela diretamente observada e a *dilatação real* é aquela que o líquido sofre realmente.

Vamos considerar um recipiente totalmente cheio de um líquido à temperatura inicial t_i . Aumentando a temperatura do conjunto (recipiente + líquido) até uma temperatura t_f , nota-se um extravasamento do líquido, pois este se dilata mais que o recipiente.



A *dilatação aparente* do líquido é igual ao volume que foi extravasado.

A *dilatação real* do líquido é dada pela soma da dilatação aparente do líquido e da dilatação volumétrica sofrida pelo recipiente.

$$\Delta V_{\text{real}} = \Delta V_{\text{ap}} + \Delta V_{\text{recip}} \rightarrow V_0 \cdot \gamma_{\text{real}} \cdot \Delta t = V_0 \cdot \gamma_{\text{ap}} \cdot \Delta t + V_0 \cdot \gamma_{\text{recip}} \cdot \Delta t$$

$$\gamma_{\text{real}} = \gamma_{\text{ap}} + \gamma_{\text{recip}}$$

APLICAÇÃO

A 6

Um recipiente de vidro está completamente cheio com 400 cm^3 de mercúrio a 20°C . Aquece-se o conjunto até 35°C . Dados $\gamma_{\text{Hg}} = 0,00018 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $\gamma_{\text{vidro}} = 0,00003 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, calcule:

- a dilatação do recipiente
- a dilatação real do mercúrio
- o volume de mercúrio extravasado

Resolução:

a) $\Delta V_{\text{vidro}} = V_i \gamma_{\text{vidro}} \Delta t \rightarrow \Delta V_{\text{vidro}} = 400 \cdot 0,00003 \cdot (35 - 20) \rightarrow \Delta V_{\text{vidro}} = 0,18 \text{ cm}^3$

b) $\Delta V_{\text{real}} = V_i \gamma_{\text{real}} \Delta t \rightarrow \Delta V_{\text{real}} = 400 \cdot 0,00018 \cdot 15 \rightarrow \Delta V_{\text{real}} = 1,08 \text{ cm}^3$

c) O volume de mercúrio extravasado é igual à dilatação real do mercúrio menos a dilatação do recipiente; logo:

$$\Delta V_{\text{ext}} = \Delta V_{\text{real}} - \Delta V_{\text{vidro}} \rightarrow \Delta V_{\text{ext}} = 1,08 - 0,18 \rightarrow \Delta V_{\text{ext}} = 0,9 \text{ cm}^3$$

Uma outra maneira de calcular o volume extravasado é:

$$\gamma_{\text{real}} = \gamma_{\text{ap}} + \gamma_{\text{recip}} \rightarrow 0,00018 = \gamma_{\text{ap}} + 0,00003 \rightarrow \gamma_{\text{ap}} = 0,00015 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\Delta V_{\text{ap}} = V_i \gamma_{\text{ap}} \Delta t \rightarrow \Delta V_{\text{ap}} = 400 \cdot 0,00015 \cdot 15 \rightarrow \Delta V_{\text{ap}} = 0,9 \text{ cm}^3$$

Respostas: a) $0,18 \text{ cm}^3$; b) $1,08 \text{ cm}^3$; c) $0,9 \text{ cm}^3$

QUESTÕES

Q30 Do ponto de vista físico, como você explicaria as seguintes situações: respostas no final do livro

- Um motorista enche totalmente o tanque de seu carro com álcool e o estaciona ao sol na beira da praia. Ao voltar, verifica que uma certa quantidade de álcool derramou.
- Um mecânico pretende soltar um parafuso de ferro que está emperrado em uma porca de invar (liga de ferro com níquel). Qual deveria ser o procedimento do mecânico?

Dados: Coeficiente de dilatação volumétrica do ferro: $\gamma = 34,2 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

Coeficiente de dilatação volumétrica do invar: $\gamma = 2,7 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

Q31 (UFPI) O coeficiente de dilatação volumétrica do azeite é $8 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Calcule a variação do volume de 1 ℥ de azeite, quando ocorre uma variação de $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ na sua temperatura.

$$\Delta V = 0,04 \text{ ℥}$$

Q32 (Cesgrario-RJ) Um petroleiro recebe uma carga de $1,0 \cdot 10^6$ barris de petróleo ($1,6 \cdot 10^5 \text{ m}^3$) no Golfo Pérsico, a uma temperatura de aproximadamente $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Qual a perda em volume, por efeito da contração térmica, que esta carga apresenta quando descarregada no sul do Brasil, a uma temperatura de cerca de $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$? O coeficiente de expansão (dilatação térmica) do petróleo é aproximadamente igual a $1,0 \cdot 10^{-30} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

perda de $4\ 800 \text{ m}^3$ de petróleo ou $3 \cdot 10^4$ barris

Credit photo



Q33 Um líquido é aquecido de $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$, verificando-se na escala do frasco de vidro que o volume passa de 500 cm^3 para 525 cm^3 . Sendo $\gamma_{\text{vídeo}} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, determine o coeficiente de dilatação real do vidro. $1,01 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

Q34 (Fuvest-SP) Um tanque contém 10 000 ℥ de combustível (álcool + gasolina) a $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, numa proporção de 25% de álcool. A temperatura do combustível baixa para $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Considere o coeficiente de dilatação volumétrica do combustível igual a $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.



- Quantos litros de álcool existem a $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$? $2\ 500 \text{ ℥}$
- Quantos litros de combustível existem a $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$? $9\ 880 \text{ ℥}$

Q35 Um recipiente de vidro tem a $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ o volume interno de 800 cm^3 e está completamente cheio de um certo líquido. Aquecendo-se o recipiente a $70 \text{ }^{\circ}\text{C}$, há um extravasamento de $8,40 \text{ cm}^3$ do líquido. Sendo $\gamma_{\text{vídeo}} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, calcule:

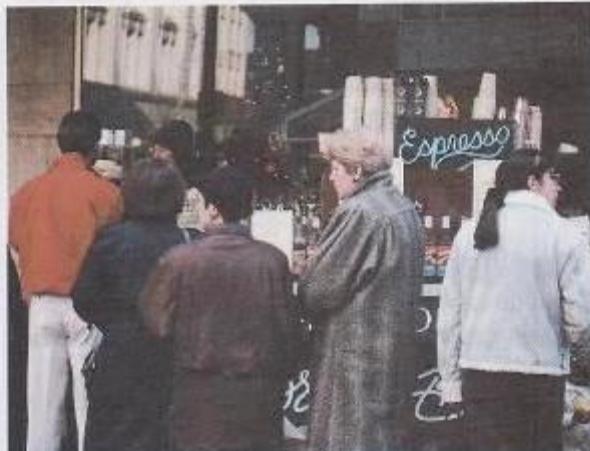
- o coeficiente de dilatação volumétrica aparente do líquido; $15 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
- o coeficiente de dilatação volumétrica real do líquido. $18 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

CAPÍTULO 16

CALORIMETRIA

INTRODUÇÃO

Para não ficarmos expostos às alterações térmicas que causam desconforto físico, usamos roupas leves quando a temperatura está muito alta e nos agasalhamos quando a temperatura cai.



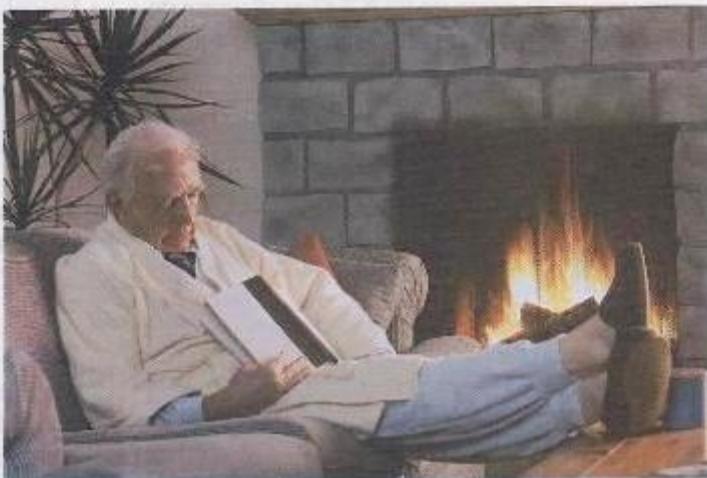
O ar refrigerado nos dá uma agradável sensação de bem-estar porque é controlado para manter o ambiente à temperatura constante, independentemente das alterações climáticas que possam ocorrer. Nas regiões tropicais, o calor do verão é amenizado pelo uso de ventiladores, circuladores de ar etc.

O calor é muito mais importante em nossa vida do que a simples sensação que nos causa: cozinhar os alimentos, aquece a água, seca a roupa etc.

Na indústria, o calor é utilizado para separar os minérios dos metais e na transformação destes em variados utensílios — do arado às armas de guerra —, para preparar a cerâmica, para produzir papel, tecidos, vidro etc.

Nos transportes, o calor produzido na queima de combustíveis em motores movimenta automóveis, navios, aviões e foguetes.

Nas usinas termelétricas e nucleares, o calor faz girar turbinas que movimentam geradores para produzir eletricidade.



Nos lugares mais frios, as casas costumam ser dotadas de lareiras, além de um sistema de aquecimento central.

O calor que o homem utiliza provém de diversas fontes. As principais são o Sol, a Terra, as reações químicas, o atrito e a energia nuclear.



O Sol produz calor devido a reações nucleares em seu interior.



A Terra contém muita energia em seu interior.

Foto: PhotoDisc

O calor é a energia mais útil e indispensável.

Apesar de tão evidente, a natureza do calor só foi definida recentemente pela ciência. Até fins do século XVIII, os cientistas acreditavam que o calor era uma espécie de fluido imponderável (sem massa) e invisível que aquecia ou resfriava os corpos. Deram a essa substância o nome de *calórico*. O equilíbrio térmico era mantido quando os corpos perdiam ou ganhavam calóricos.

Em 1798, o físico inglês Benjamin Thompson, conde Rumford, observou que o atrito aquecia os metais e depois o calor se conservava por algum tempo nas peças atritadas. Logo, o calor seria uma forma de energia obtida também pelo trabalho mecânico. Já o químico inglês Humphry Davy concluiu que essa teoria poderia ser demonstrada esfregando dois blocos de gelo que derretem pelo atrito, sem possuir calóricos. Assim se produziria calor do nada.

Foi o físico alemão Hermann von Helmholtz que, em 1847, estabeleceu a definição de calor como energia mecânica, afirmando que todas as formas de energia equivalem a calor. Isso foi provado logo depois por seu colega inglês, James Prescott Joule. Construindo um aparelho simples, que aproveitava o trabalho mecânico produzido pela queda dos corpos, Joule mediou a quantidade de energia mecânica necessária para elevar por agitação a temperatura de uma certa quantidade de água. Estava demonstrada quantitativamente a equivalência mecânica do calor.

Concluímos que, assim como o movimento produz calor, o calor, por sua vez, produz movimento. Desse modo se uniu a antiga teoria dos calóricos com a nova noção de energia térmica.

O QUE É O CALOR

Quando colocamos em contato dois ou mais corpos que se encontram em diferentes temperaturas, observamos que, após um certo intervalo de tempo, todos atingem uma temperatura intermediária entre as temperaturas iniciais. Durante esse processo ocorreu uma transferência de energia térmica dos corpos que estavam numa temperatura maior para aqueles que se encontravam em temperaturas menores.

Essa energia térmica que se transfere entre os corpos que se encontram em temperaturas diferentes é que se denomina *calor*.

Dessa forma:

Calor é a transferência de energia térmica entre corpos que se encontram em temperaturas diferentes.

UNIDADES DE QUANTIDADE DE CALOR

Antes mesmo que o calor fosse reconhecido como forma de energia, as medidas das quantidades de calor eram feitas por meio das variações de temperatura que os corpos sofriam quando se lhes fornecia energia sob a forma de calor.

Assim, estabeleceu-se a *caloria* (cal) como unidade de quantidade de calor.

Caloria (cal) é a quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura de 1 g de água de 14,5 °C a 15,5 °C, sob pressão normal.

No SI, a unidade de quantidade de calor é o *joule* (J).
A relação entre a caloria e o joule é:

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$$

Podemos utilizar também um múltiplo de caloria chamado *quilocaloria*:

$$1 \text{ kcal} = 1\,000 \text{ cal}$$

CALOR SENSÍVEL E CALOR LATENTE

Um corpo, ao receber ou ceder calor, pode sofrer dois efeitos diferentes: *variação de temperatura* ou *mudança de fase*.

Exemplos:

Se uma tesoura de aço for colocada na chama de um fogo ela sofre um aquecimento, isto é, um aumento de temperatura.



Foto: Silviano Dutra / FOTOFUN / AGIF



Um pedaço de gelo a 0 °C, contido num recipiente colocado sobre o fogo, absorve calor sem aumentar de temperatura, até derreter completamente, quando então a água de fusão se aquece.

A quantidade de calor recebida ou cedida por um corpo, ao sofrer uma variação de temperatura sem que haja mudança de fase, é denominada *calor sensível*.

Se o corpo sofrer apenas uma mudança de fase, sem haver variação de temperatura (permanece constante), o calor é chamado *latente*.

Nos exemplos, o calor recebido pela tesoura é sensível e o recebido pelo gelo é latente.

CALOR ESPECÍFICO

A experiência mostra que cada substância necessita de uma quantidade de calor diferente para que 1 g dessa substância sofra variação de temperatura de 1 °C.

Essa quantidade, característica de cada substância, é denominada *calor específico* e é representada pela letra *c*.

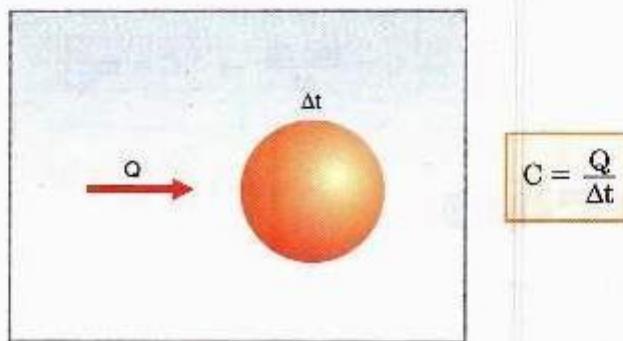
O calor específico do ferro é aproximadamente 0,11 cal/g · °C, isto é, 1 g de ferro necessita de 0,11 cal para elevar sua temperatura de 1 °C.

Da mesma forma, o calor específico da água é 1 cal/g · °C, isto é, 1 g de água necessita de 1 cal para que sua temperatura mude de 1 °C.

O calor específico de uma substância varia com a temperatura, aumentando quando esta aumenta. Entretanto, consideraremos, em nosso curso, que o calor específico não varia com a temperatura.

CAPACIDADE TÉRMICA DE UM CORPO

Capacidade térmica de um corpo é o quociente entre a quantidade *Q* de calor *recebida* ou *cedida* por um corpo e a correspondente variação de temperatura Δt .



A unidade de capacidade térmica é cal/°C.

A capacidade térmica de um corpo representa a quantidade de calor necessária para que a temperatura do corpo varie de 1 °C.

A capacidade térmica de 1 g de água é 1 cal/°C. Isto significa que para elevar de 1 °C a temperatura de 1 ℥ de água (1 kg) são necessárias 1 000 cal de calor.

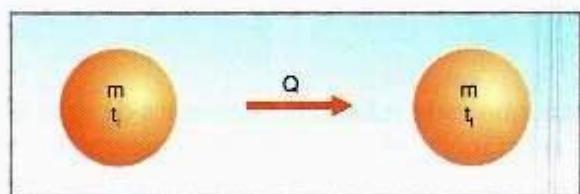
Como a capacidade térmica da água é muito grande, as águas dos mares e rios funcionam como reguladoras de temperatura em locais próximos a eles. A explicação é a seguinte: durante o dia, a água absorve grande quantidade de calor sem se aquecer muito e, durante a noite, libera muito calor sem se esfriar muito.

Com a areia da praia ocorre o oposto: a capacidade térmica da areia é pequena e faz com que, durante o dia, ela se aqueça rapidamente e, durante a noite, esfrie facilmente.

FÓRMULA FUNDAMENTAL DA CALORIMETRIA

Consideremos um corpo de massa m à temperatura inicial t_i .

Fornecendo-se uma quantidade de calor Q a esse corpo, suponha que sua temperatura aumente até t_f .



A experiência mostra que a quantidade de calor Q é proporcional à massa m e à variação de temperatura ($t_f - t_i$). Logo:

$$Q = mc(t_f - t_i) \quad \text{ou} \quad Q = mc \Delta t$$

Temos:

c = calor específico da substância

$\Delta t = t_f - t_i$ = variação de temperatura

Observações:

1º) Se $t_f > t_i$, o corpo recebe calor, isto é, $Q > 0$; se $t_f < t_i$, o corpo cede calor, isto é, $Q < 0$.

2º) O produto mc é a capacidade térmica do corpo.

$$C = \frac{Q}{\Delta t} \rightarrow C = \frac{mc \Delta t}{\Delta t} \rightarrow C = mc$$

APLICAÇÃO

A7

Um bloco de ferro com massa de 600 g está a uma temperatura de 20 °C. O calor específico do ferro é igual a 0,114 cal/g · °C.

- Qual a quantidade de calor que o bloco deve receber para que sua temperatura passe de 20 °C a 50 °C?
- Qual a quantidade de calor que o bloco deve ceder para que sua temperatura varie de 20 °C a -5 °C?

Resolução:

a) Dados: $m = 600 \text{ g}$; $t_i = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $c = 0,114 \text{ cal/g} \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_f = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$Q = mc(t_f - t_i) \rightarrow Q = 600 \cdot 0,114 \cdot (50 - 20) \rightarrow Q = 2\,052 \text{ cal}$$

b) $Q = mc(t_f - t_i) \rightarrow Q = 600 \cdot 0,114 \cdot (-5 - 20) \rightarrow Q = -1\,710 \text{ cal}$

Respostas: a) 2 052 cal; b) -1 710 cal

A 3

Sob uma chama constante, de potência 192,5 W, um corpo sofre um aumento de temperatura de 40 °C em 2 min. Determine, em cal/°C, a capacidade térmica desse corpo. Considere 1 cal = 4,2 J.

Resolução:

A quantidade de calor fornecida ao corpo pela chama é:

$$P_{at} = 192,5 \text{ W}$$

Dados: Tempo = 2 min = 120 s

$$\Delta t = 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Potência} = \frac{\text{Trabalho}}{\text{Tempo}} \rightarrow 192,5 = \frac{\zeta}{120} \rightarrow \zeta = 23\,100 \text{ J}$$

Em calorias, temos:

$$\begin{aligned} 1 \text{ cal} &= 4,2 \text{ J} \\ Q &= 23\,100 \text{ J} \end{aligned} \rightarrow Q = \frac{23\,100}{4,2} \rightarrow Q = 5\,500 \text{ cal}$$

A capacidade térmica do corpo é:

$$C = \frac{Q}{\Delta t} \rightarrow C = \frac{5\,500}{40} \rightarrow Q = 137,5 \text{ cal/}^{\circ}\text{C}$$

Resposta: 137,5 cal/°C

QUESTÕES

Q36 O que é calor sensível?

Q37 O que é calor latente?

Q38 Qual o significado físico da caloria?

Q39 O que é calor específico?

Q40 Defina capacidade térmica de um corpo.

Q41 A tabela mostra o calor específico de algumas substâncias.

Baseando-se nessa tabela explique por que as diferenças de temperatura durante o dia ou durante o ano são maiores nas regiões do interior do que nas regiões costeiras.

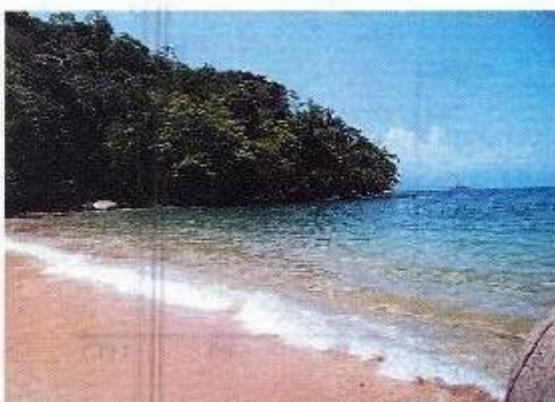
resposta no final do livro

SUBSTÂNCIA	CALOR ESPECÍFICO (EM J/kg · °C)
Ar	1 000
Água	4 200
Cobre	390
Gelo	2 090
Madeira	2 500
Vidro	770
Alumínio	910

Q42 Toque um objeto metálico e um objeto plástico.

- a) Qual deles você sente mais frio? **metal**
- b) Qual deles você considera que está a uma temperatura menor? **resposta no final do livro**

Q43 Nos dias de verão, ao final da tarde, a água do mar fica mais morna do que pela manhã. Usando conceitos físicos, como você explicaria esse fato?



Lorena Moraes/ON/Agência

Como o calor específico da água é muito grande, a água do mar precisa receber muito calor para aumentar de temperatura. Por isso, seu processo de aquecimento é bastante lento. Isso também ocorre no seu resfriamento. Assim, ao final da tarde, mesmo com o sol "fraco", a água ainda possui uma temperatura agradável.

Q44 Sabendo que $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$, transforme:

- a) 20 kcal em joule $83\,600 \text{ J}$
b) $8\,000 \text{ J em caloria}$ $= 1\,913,9 \text{ cal}$

Q45 Um bloco de cobre com 200 g sofre um aquecimento de 25°C para 70°C . O calor específico do cobre é igual a $0,093 \text{ cal/g} \cdot {}^\circ\text{C}$.

- a) Qual a quantidade de calor recebida pelo bloco? 837 cal
b) Determine a capacidade térmica do bloco. $18,6 \text{ cal/}^\circ\text{C}$

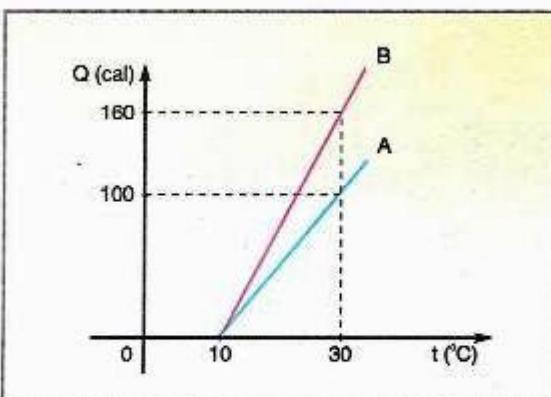
Q46 Sabendo que o calor específico do ferro é de aproximadamente $0,1 \text{ cal/g} \cdot {}^\circ\text{C}$, calcule a quantidade de calor para elevar 15°C a temperatura de um pedaço de 80 g desse material. 120 cal

Q47 Ao apresentar um quadro febril, um recém-nascido de $3,3 \text{ kg}$ tem sua temperatura elevada de $36,5^\circ\text{C}$ para $39,5^\circ\text{C}$. O corpo do recém-nascido é basicamente constituído de água, cujo calor específico é $1 \text{ cal/}^\circ\text{C}$. Qual a variação da energia térmica da criança, devido a essa elevação de temperatura? $9\,900 \text{ cal}$

Q48 Mesmo recebendo calor do Sol durante um dia inteiro, por exemplo, nem o oceano e nem a atmosfera aumentam em excesso a sua temperatura. Usando conceitos físicos, justifique por que essa grande quantidade de calor recebida causa uma pequena elevação de temperatura no oceano e na atmosfera. É que o oceano e a atmosfera possuem grande capacidade térmica.

Q49 (UFPel-RS) O gráfico representa as quantidades de calor sensível recebidas por dois corpos, A e B, em função das temperaturas por eles atingidas.

- a) Calcule a capacidade térmica de cada um dos corpos. $C_A = 5 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ e $C_B = 8 \text{ cal/}^\circ\text{C}$
b) Esses corpos podem ser constituídos do mesmo material? Justifique a resposta.



b) Sim, pois a capacidade térmica depende da massa do corpo; logo, o corpo B pode ter massa maior do que o corpo A.

Q50 Determine quantas calorias perderá 1 kg de água para que sua temperatura varie de 60°C para 10°C . O calor específico da água é igual a $1 \text{ cal/g} \cdot {}^\circ\text{C}$. Perderá $5 \cdot 10^4 \text{ cal}$.

Q51 Como você explicaria fisicamente o fato de obter um resultado negativo ao calcular o calor transferido por um corpo?

O corpo está cedendo calor.

Q52 O calor específico do ferro é igual a $0,110 \text{ cal/g} \cdot {}^\circ\text{C}$. Determine a temperatura final de uma massa de 400 g de ferro à temperatura de 20°C , após ter cedido 500 cal . $= 8,64^\circ\text{C}$

Q53 Um amolador de facas, ao operar um esmeril, é atingido por fagulhas incandescentes mas não se queima. Por que isso acontece?

resposta no final do livro

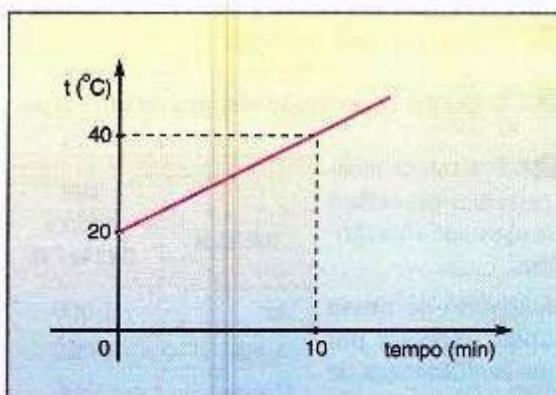
Q54 (UFPel-RS) Uma pessoa pretende construir um termômetro de líquido colorido que acuse rapidamente as variações de temperatura e que o faça de forma facilmente visível.

Analise a situação descrita, responda às questões abaixo e justifique suas respostas.

- a) A pessoa deve escolher um líquido de alto ou baixo calor específico? baixo calor específico
b) A pessoa deve escolher um líquido de alto ou baixo coeficiente de dilatação?

alto coeficiente de dilatação

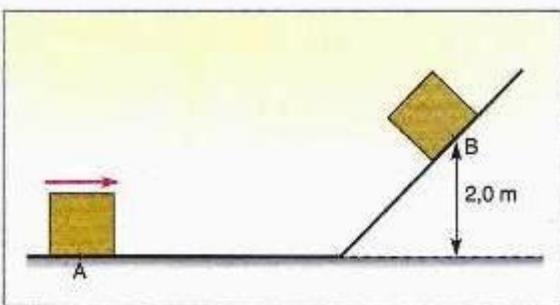
Q55 O gráfico representa a variação da temperatura de um corpo sólido, em função do tempo, ao ser aquecido por uma fonte que libera energia a uma potência constante de 150 cal/min . A massa do corpo é de 100 g . Determine o seu calor específico, em $\text{cal/g} \cdot {}^\circ\text{C}$. $0,75 \text{ cal/g} \cdot {}^\circ\text{C}$



Q56 (UFAL) Sob uma chama constante, de potência 210 W , um corpo A sofre variação de 25°C em $2,0 \text{ min}$. Qual é, em $\text{cal/}^\circ\text{C}$, a capacidade térmica do corpo A? Dado: $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$

$240 \text{ cal/}^\circ\text{C}$

- Q57** (UERJ) Um corpo de massa 2,0 kg é lançado do ponto A, conforme indicado na figura, sobre um plano horizontal, com uma velocidade de 20 m/s. A seguir, sobe uma rampa até atingir uma altura máxima de 2,0 m, no ponto B.



Sabe-se que o calor gerado no processo foi absorvido pelo corpo e que um termômetro sensível, ligado ao corpo, acusa uma variação de temperatura de 1 °C.

- a) Determine o calor específico médio do material que constitui o corpo, em $J/kg \cdot {}^{\circ}C$.
180 J/kg · °C
- b) Indique se a altura máxima atingida pelo corpo, caso não houvesse dissipação de energia, seria maior, menor ou igual a 2,0 m. Justifique sua resposta. **maior**

- Q58** (UFPel-RS) Um médico, após avaliação criteriosa, recomenda a um paciente uma dieta alimentar correspondente a 1 200 cal/dia, fornecendo-lhe uma lista de alimentos com as respectivas "calorias". (Espera o médico que, com esse regime, a pessoa, pelo menos, não engorde!!!) Os médicos utilizam, na realidade a "grande caloria", que vale 1 000 cal utilizadas na Física, ou seja, esse regime é, na verdade, de 1 200 000 cal/dia.

Com base nesses dados e considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, 1 cal = 4,2 J e $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal/g} \cdot {}^{\circ}C$, responda:

- a) Qual a potência média mínima (em watts) que a pessoa mencionada deverá dissipar, ao longo de suas atividades diárias, para, pelo menos, não ganhar peso? **58,3 W**
- b) Se essa energia pudesse ser empregada para aquecer a água de 10 °C a 60 °C, que massa de água (em gramas) seria utilizada? **24 000 g**

- Q59** (FMTM-MG) Uma barra de chocolate de 100 g pode fornecer ao nosso organismo cerca de 470 kcal.

- a) Se essa quantidade de calor fosse transferida à água a 0 °C, na fase líquida, que massa de água poderia ser levada a 100 °C? **4 700 g**
- b) Se uma pessoa de massa 80 kg quisesse consumir essa energia subindo uma escadaria cujos degraus têm 25 cm de altura, quantos degraus ela deveria subir? **9 870 degraus**

Dados: calor específico da água = 1 cal/g · °C; 1 cal = 4,2 J e $g = 10 \text{ m/s}^2$.

VOCÊ SABIA?

Necessidades energéticas diárias expressas em kcal:

IDADE	HOMEM	AMBOS OS SEXOS	MULHER
0 - 1		1 000	
1 - 3		1 300	
3 - 6		1 600	
6 - 9		2 100	
9 - 12	2 400		2 200
12 - 15	3 000		2 300
15 - 18	3 400		2 500

Quantidade de energia (em kcal) que o corpo gasta conforme atividade realizada:

ATIVIDADES REALIZADAS	kcal NECESSÁRIAS POR HORA DE ATIVIDADE
Dormir	70
Escrever	95
Costurar	120
Varrer	170
Caminhar	270
Serrar madeira	470

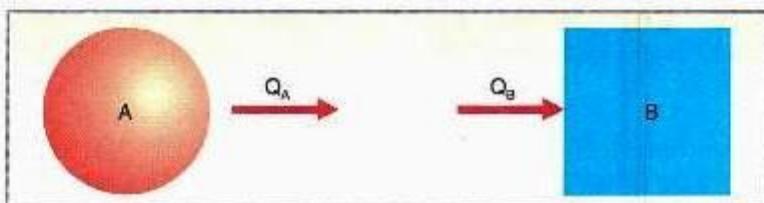
Quantidade de energia (em kcal) fornecida por 100 g de vários alimentos:

ALIMENTO (100 g)	kcal	ALIMENTO (100 g)	kcal
Arroz	364	Pão	307
Feijão	337	Queijo	420
Verduras	13	Chocolate	542
Macarrão	81	Leite	61
Manteiga	791	Ovo	148
Açúcar	384	Cenoura	41
Batata	79	Banana	97
Carne	244	Laranja	32

PRINCÍPIO DA IGUALDADE DAS TROCAS DE CALOR

Quando dois ou mais corpos com temperaturas diferentes são colocados próximos um do outro ou em contato, eles trocam calor entre si até atingir o equilíbrio térmico.

Se o sistema não trocar energia com o ambiente, isto é, se for termicamente isolado, teremos:



✓ $Q_A < 0$ (cede calor)

✓ $Q_B > 0$ (recebe calor)

$$Q_A + Q_B = 0$$

Note que a quantidade de calor cedida por A é igual, em valor absoluto, à quantidade de calor recebida por B .

Se tivermos n corpos, teremos:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = 0$$

A quantidade de calor recebida por uns é igual à quantidade de calor cedida pelos outros.

Quando colocamos água quente em um recipiente, a água perde calor e o recipiente ganha até que a água e o recipiente fiquem com a mesma temperatura, isto é, até que atinjam o equilíbrio térmico.

Se não houvesse troca de calor com o ambiente, a quantidade de calor cedida pela água deveria ser igual à quantidade de calor recebida pelo recipiente.

Havendo troca de calor com o ambiente, a quantidade de calor cedida pela água é igual à soma das quantidades de calor absorvidas pelo recipiente e pelo ambiente.

Os recipientes utilizados para estudar a troca de calor entre dois ou mais corpos são denominados *calorímetros*.

Os calorímetros não permitem perdas de calor para o meio externo, isto é, são recipientes termicamente isolados.

APLICAÇÃO

A 9

Uma xícara de massa de 50 g está a 34 °C. Colocam-se nela 250 g de água a 100 °C. Verifica-se que no equilíbrio térmico a temperatura é 94 °C. Admitindo que só haja troca de calor entre a xícara e a água, determine o calor específico do material de que a xícara é constituída. Dado: calor específico da água = 1 cal/g · °C.

Resolução:

Colocando os dados numa tabela, temos:

	m	c	t _i	t _f
xícara	50	c	94	34
água	250	1	94	100

Utilizando o princípio da igualdade das trocas de calor, obtemos:

$$Q_{\text{xícara}} + Q_{\text{água}} = 0 \rightarrow mc(t_f - t_i) + mc(t_f - t_i) = 0$$

$$50 \cdot c \cdot (94 - 34) + 250 \cdot 1 \cdot (94 - 100) = 0$$

$$50 \cdot c \cdot 60 + 250 \cdot (-6) = 0 \rightarrow c = 0,5 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

Resposta: 0,5 cal/g · °C

A 10

Um calorímetro de capacidade térmica 8 cal/°C contém 120 g de água a 15 °C. Um corpo de massa x gramas e temperatura 60 °C é colocado no interior do calorímetro. Sabendo que o calor específico do corpo é de 0,22 cal/g · °C e que a temperatura de equilíbrio térmico é de 21,6 °C, calcule x .

Resolução:

Formamos a tabela:

	m	c	t _i	t _f
calorímetro	8		21,6	15
água	120	1	21,6	15
corpo	x	0,22	21,6	60

Pelo princípio das trocas de calor, temos:

$$Q_{\text{calorímetro}} + Q_{\text{água}} + Q_{\text{corpo}} = 0$$

$$mc(t_f - t_i) + mc(t_f - t_i) + mc(t_f - t_i) = 0$$

$$8(21,6 - 15) + 120(21,6 - 15) + 0,22x(21,6 - 60) = 0$$

$$x = 100 \text{ g}$$

Resposta: $x = 100 \text{ g}$

QUESTÕES

Q60 Um vaso de latão contém 500 g de água a 20 °C. Imerge-se nessa água um bloco de ferro com 200 g de massa e temperatura igual a 70 °C. Desprezando o calor absorvido pelo vaso, calcule a temperatura do equilíbrio térmico. = 22,18 °C

Dados:

calor específico do ferro = 0,114 cal/g · °C

calor específico da água = 1 cal/g · °C

Q61 (Cefet-MG) Uma garrafa térmica contém 250 g de água a 10 °C. Colocando 100 g de um metal a 100 °C no interior da garrafa térmica, a temperatura de equilíbrio do sistema é de 20 °C. Determine o calor específico do metal, considerando que não há perdas de calor na garrafa térmica. = 0,31 cal/g · °C

Q62 (UFES) A temperatura adequada de um soro fisiológico utilizado para limpeza de lentes de contato é 35 °C. Determine a quantidade de soro, a 20 °C, que deve ser adicionada a 100 g desse soro, a 80 °C, para a mistura atingir a temperatura adequada. 300 g

Q63 Um pequeno cilindro de alumínio, de massa 50 g, está colocado numa estufa. Num certo instante, o cilindro é tirado da estufa e rapidamente jogado dentro de uma garrafa térmica que contém 330 g de água. Observa-se que a temperatura dentro da garrafa eleva-se de 19 °C para 20 °C. Calcule a temperatura da estufa, no instante em que o cilindro foi retirado.

Dados $c_{Al} = 0,22 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ e $c_{água} = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$.

50 °C

Q64 (UNESP) Uma zelosa "mãe de primeira viagem" precisa preparar o banho do recém-nascido, mas não tem termômetro. O pediatra disse que a temperatura ideal para o banho é de 38 °C.



Ela mora à beira-mar e acabou de ouvir, pelo rádio, que a temperatura ambiente é 32 °C. Como boa estudante de Física, resolve misturar água fervente com água à temperatura ambiente, para obter a temperatura desejada.

a) Enuncie o princípio físico em que se baseia o seu procedimento. [resposta no final do livro](#)

b) Suponha que ela dispõe de uma banheira com 10 ℥ de água à temperatura ambiente. Calcule qual é, aproximadamente, o volume de água fervente que deve ser misturado à água da banheira para obter a temperatura ideal. Admita desprezível o calor absorvido pela banheira e que a água não transborde. = 1 ℥

Q65 (FEI-SP) Um calorímetro contém 200 mL de água, e o conjunto está à temperatura de 20 °C. Ao serem juntados ao calorímetro 125 g de uma liga a 130 °C, verificamos que após o equilíbrio térmico a temperatura final é de 30 °C. Qual é a capacidade térmica do calorímetro? (Dados: calor específico da liga = 0,20 cal/g · °C, calor específico da água = 1 cal/g · °C, densidade da água = 1 000 kg/m³.) C = 50 cal/°C

Q66 Quatro corpos cujos calores específicos, massas e temperaturas são respectivamente iguais a 0,20 cal/g · °C, 100 g, 10 °C; 0,09 cal/g · °C, 200 g, 25 °C; 0,05 cal/g · °C, 300 g, 35 °C; x, 400 g, 40 °C, são postos em contato uns com os outros e atingem o equilíbrio térmico à temperatura de 30 °C. Supondo que o sistema seja termicamente isolado, calcule o calor específico x do quarto corpo. = 0,10 cal/g · °C

Q67 (UFJF-MG) Um corpo, de massa 10 kg e calor específico 0,60 cal/g · °C, se encontra à temperatura de 40 °C, no interior de um recipiente termicamente isolado. Para resfriá-lo, introduzimos no recipiente uma certa massa de água (calor específico 1,00 cal/g · °C) inicialmente à temperatura de 25 °C. Despreze as perdas de calor para o ambiente e a capacidade térmica do recipiente.

1 500 g

a) Qual a massa de água que deve ser usada para que a temperatura de equilíbrio seja de 37 °C?

b) Se a água estivesse inicialmente a 20 °C, qual seria a massa necessária? = 1 056,8 g

c) Compare as respostas dos itens a e b e interprete seus resultados. [resposta no final do livro](#)

FASES DA MATÉRIA

Aquecendo-se a água contida num recipiente, ela pode transformar-se em vapor. Se for resfriada, pode transformar-se em gelo.

Esses modos ou formas diferentes de uma substância se apresentar denominam-se *fases da matéria*.

A matéria pode se apresentar em três fases distintas: *sólida*, *líquida* e *gasosa*.

Supondo que a matéria seja formada de moléculas, essas fases são explicadas pelo fato de a ligação entre as moléculas ser feita por forças de atração (forças elétricas) que agem como molas, permitindo que as moléculas vibrem em torno de uma posição de equilíbrio.

Nos sólidos, as moléculas se encontram muito juntas; portanto, as forças de atração são muito intensas. Por isso as moléculas não podem se soltar e têm somente um movimento vibratório, fazendo com que os sólidos tenham volume e forma definidos.

Na fase líquida as forças de atração diminuem porque as moléculas se distanciam mais e têm maior liberdade de movimento. Nessa fase o corpo tem um volume próprio mas não tem forma própria.

Se as moléculas se separam ainda mais, as forças de atração passam a ter intensidade muito pequena. A partir daí, ocorre a expansibilidade, que caracteriza a fase gasosa.

Os gases não têm forma nem volume próprios e ocupam todo o espaço disponível.

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO ESTADO FÍSICO

Quando a temperatura de um sólido aumenta suficientemente, a energia cinética de suas moléculas aumenta tanto que vence as forças de atração e faz com que essas moléculas abandonem as posições fixas que ocupavam, fazendo com que o sólido passe para a fase líquida.

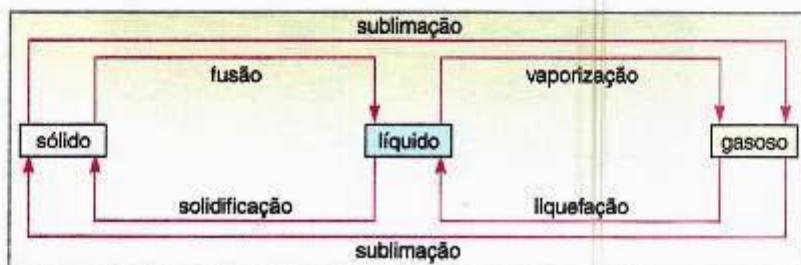
Continuando a aumentar a temperatura dessa substância, a agitação das moléculas aumenta até vencer totalmente as forças de atração, e as moléculas passam a se mover com grande facilidade, isto é, a substância atinge a fase gasosa.

Se diminuirmos a temperatura, os fenômenos se produzem no sentido inverso, isto é, a agitação das moléculas diminui e a substância passa da fase gasosa à líquida e desta à fase sólida.

MUDANÇAS DE FASE

Uma substância pode passar de uma fase para outra através do recebimento ou fornecimento de calor. Essas mudanças de fase são chamadas de:

- ✓ **Fusão:** é a passagem de uma substância da fase sólida para a fase líquida
- ✓ **Solidificação:** é a passagem da fase líquida para a fase sólida
- ✓ **Vaporização:** é a passagem da fase líquida para a fase gasosa
- ✓ **Condensação ou liquefação:** é a passagem da fase gasosa para a fase líquida
- ✓ **Sublimação:** é a passagem direta da fase sólida para a fase gasosa ou da fase gasosa para a fase sólida



Os fenômenos de *fusão* e os de *vaporização* de uma substância acontecem sempre devido ao recebimento de calor, enquanto a *solidificação* e a *liquefação* ocorrem devido à perda de calor.

Na pressão e temperatura média ambiente, podemos citar como exemplo de substâncias que sublimam a naftalina e o gelo-seco.

TIPOS DE VAPORIZAÇÃO

Conforme a maneira de se processar o fenômeno podemos ter os seguintes tipos de vaporização: *evaporação* e *ebulição*.

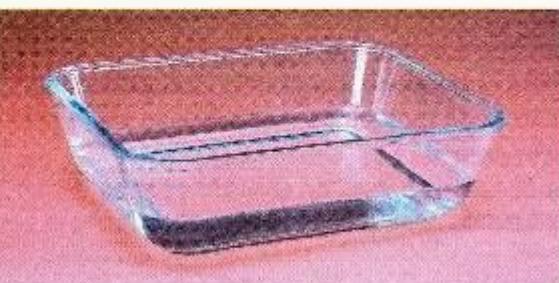
• EVAPORAÇÃO

A passagem de uma substância líquida para a fase gasosa recebe o nome de evaporação quando o fenômeno se processa de uma forma *lenta* e apenas na *superfície do líquido*, podendo ocorrer em qualquer temperatura.

As partículas da superfície do líquido que apresentarem uma energia de agitação um pouco maior do que as outras, encontram grande facilidade em abandonar o líquido, passando para o estado de vapor.

Exemplos:

Sergio Dona Jefte Nogueira



Álcool em uma vasilha sem tampa.



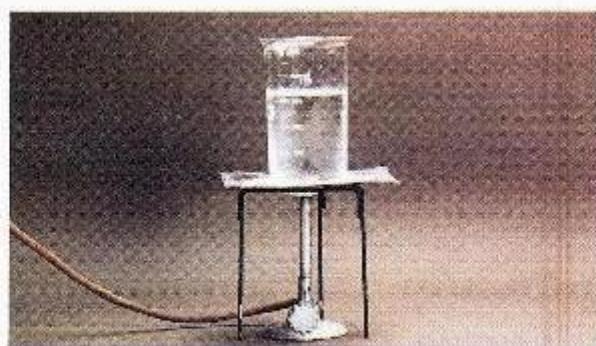
Poça de água.

PhotoDisc

• EBULIÇÃO

É o nome que se dá à passagem de uma substância da fase líquida para a gasosa, quando o fenômeno se processa de uma maneira *tumultuosa* e em todo líquido.

Exemplo:



Água em um recipiente aquecido ao fogo.

PhotoDisc

CALOR LATENTE

O comportamento das substâncias durante as mudanças de fase pode ser interpretado através dos seguintes fatos:

1º fato: para passar da fase líquida para a fase sólida, 1 g de água precisa perder 80 cal. Do mesmo modo, para derreter, 1 g de gelo precisa ganhar 80 cal.

Note que 80 cal representam a quantidade de calor que a água ganha ou perde quando se derrete ou se congela, quando está a 0 °C.

2º fato: se a água está a 100 °C, cada grama precisa de 540 cal para passar à fase gasosa, e cada grama de vapor precisa perder 540 cal para passar à fase líquida.

Outras substâncias também possuem valores fixos de quantidades de calor que 1 g da substância precisa ganhar ou perder para mudar de uma fase para outra. Essa quantidade de calor é denominada *calor latente* e é indicada pela letra *L*.

O calor latente provoca unicamente uma mudança de fase do corpo, sem alterar sua temperatura.

Para calcular o calor latente de uma substância, basta dividir a quantidade de calor *Q* que a substância precisa ganhar ou perder para mudar de fase pela massa *m* da substância.

$$L = \frac{Q}{m} \rightarrow Q = mL$$

Temos que *L* é o calor latente em cal/g.

Usaremos:

- ✓ L_f para calor latente de fusão
- ✓ L_v para calor latente de vaporização
- ✓ L_s para calor latente de solidificação
- ✓ L_c para calor latente de condensação

Em nosso curso, adotaremos:

- ✓ calor latente de fusão do gelo (a 0 °C): $L_f = 80 \text{ cal/g}$
- ✓ calor latente de solidificação da água (a 0 °C): $L_s = -80 \text{ cal/g}$
- ✓ calor latente de vaporização da água (a 100 °C): $L_v = 540 \text{ cal/g}$
- ✓ calor latente de condensação do vapor (a 100 °C): $L_c = -540 \text{ cal/g}$

APLICAÇÃO

A 11

Um bloco de gelo de massa 600 g encontra-se a 0 °C. Determine a quantidade de calor que se deve fornecer a essa massa para que ela se transforme totalmente em água a 0 °C. Dado: $L_f = 80 \text{ cal/g}$.

Resolução:

A quantidade de calor que devemos fornecer ao bloco de gelo é para que ele se transforme totalmente em água a 0 °C; logo:

$$Q = mL_f \rightarrow Q = 600 \cdot 80 \rightarrow Q = 48\,000 \text{ cal ou } Q = 48 \text{ kcal}$$

Resposta: 48 kcal

A 12

Um bloco de alumínio de 500 g está a uma temperatura de 80 °C. Determine a massa de gelo a 0 °C que é preciso colocar em contato com o alumínio para se obter um sistema alumínio-água a 0 °C.

Dados: $\begin{cases} \text{calor específico do alumínio} = 0,21 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C} \\ \text{calor latente de fusão do gelo} = 80 \text{ cal/g} \end{cases}$

Resolução:

A massa de gelo que se funde provoca a diminuição até 0 °C do bloco de alumínio; logo:

$$Q_{\text{gelo}} + Q_{\text{alumínio}} = 0 \rightarrow m_1 L_f + m_2 c (t_f - t_i) = 0 \\ m_1 \cdot 80 + 500 \cdot 0,21 \cdot (0 - 80) = 0 \rightarrow m_1 = 105 \text{ g}$$

Resposta: 105 g

QUESTÕES

Q68 Num certo planeta desconhecido a temperatura durante o dia alcança 450 °C e, à noite, cai para –60 °C. Esse planeta contém os metais indicados na tabela a seguir:

METAL	TEMPERATURA DE FUSÃO (em °C)	TEMPERATURA DE EBULIÇÃO (em °C)
Ouro	1 063	2 600
Prata	960	1 950
Cobre	1 083	2 336
Mercúrio	–39	357
Chumbo	327	1 620

A pressão atmosférica nesse planeta é igual à da Terra. *respostas no final do livro*

- Em que fases se encontram cada um desses metais durante o dia?
- Quantas mudanças de fase sofrem cada um desses metais no decorrer de um dia inteiro?

Q69 Quando o vapor de água se condensa na atmosfera, o ar se aquece. Explique por que isso ocorre. *Quando o vapor de água se condense ele cede calor para o ambiente. Desse modo, o ar se aquece.*

Q70 Um bloco de gelo de massa 200 g encontra-se a 0 °C. Calcule a quantidade de calor que se deve fornecer a esse bloco para que ele se transforme totalmente em água a 0 °C. Dado: $L_f = 80 \text{ cal/g}$. *16 kcal*

Q71 Ache a quantidade de calor que devemos retirar de uma massa de 400 g de água líquida a

0 °C para que ela se transforme em gelo a 0 °C. Dado: $L_s = -80 \text{ cal/g}$. *32 kcal*

Q72 No interior de um forno de microondas de 1 200 W são colocados 900 g de gelo a 0 °C para serem transformados em água também a 0 °C. Admitindo que toda a energia fornecida pelo forno será absorvida pelo gelo, determine por quanto tempo o forno de microondas deve ser programado para funcionar. *4 min*

Dados:
calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g
1 cal = 4 J

Q73 A evaporação ocorre mais rapidamente no alto de uma montanha ou ao nível do mar, à mesma temperatura? Justifique. *resposta no final do livro*

Q74 (UFPel-RS) Numa tabela de um livro de Física obtemos as seguintes informações sobre o mercúrio:

- temperatura de fusão, sob pressão normal: –39 °C
- temperatura de ebulação, sob pressão normal: 357 °C
- calor latente de fusão: 2,8 cal/g
- calor latente de ebulação: 65 cal/g

Responda às seguintes perguntas:

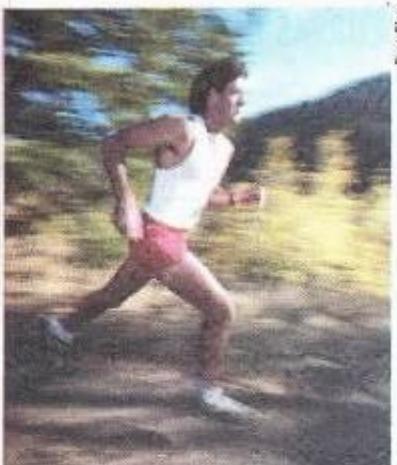
- Como se interpreta a informação “calor latente de fusão: 2,8 cal/g”? *resposta no final do livro*
- Fornecendo uma quantidade de calor igual a 195 cal a uma certa quantidade de mercúrio a 357 °C, e mantendo a pressão normal, que massa de vapor de mercúrio vamos obter? Justifique a resposta. *3 g*

Q75 (Unicamp-SP) Em um dia quente, um atleta corre dissipando 750 W durante 30 min. Suponha que ele só transfira essa energia para o meio externo através da evaporação do suor e que todo seu suor seja aproveitado para sua refrigeração. Adote $L = 2\,500\text{ J/g}$ para o calor latente de evaporação da água na temperatura ambiente.

- a) Qual é a taxa de perda de água do atleta em kg/min? 0,018 kg/min
b) Quantos litros de água ele perde nos 30 min de corrida? 0,54 l

Q76 Quando passamos éter sobre a pele, sentimos o local mais frio. Por que isso acontece?

Porque o éter absorve calor para se evaporar.



Paulo Eise

VOCÊ SABIA?

Ao passar da fase líquida à gasosa e entrar em contato com a pele, o gás de refrigeração CFC (clorofluorcarbono) absorve calor da pele, que se resfria rapidamente. Como o frio age instantaneamente sobre os tecidos, pode ser usado contra dores, inflamações e sangramentos. Esse efeito dura de 10 a 15 minutos.

- **Ação anestésica**

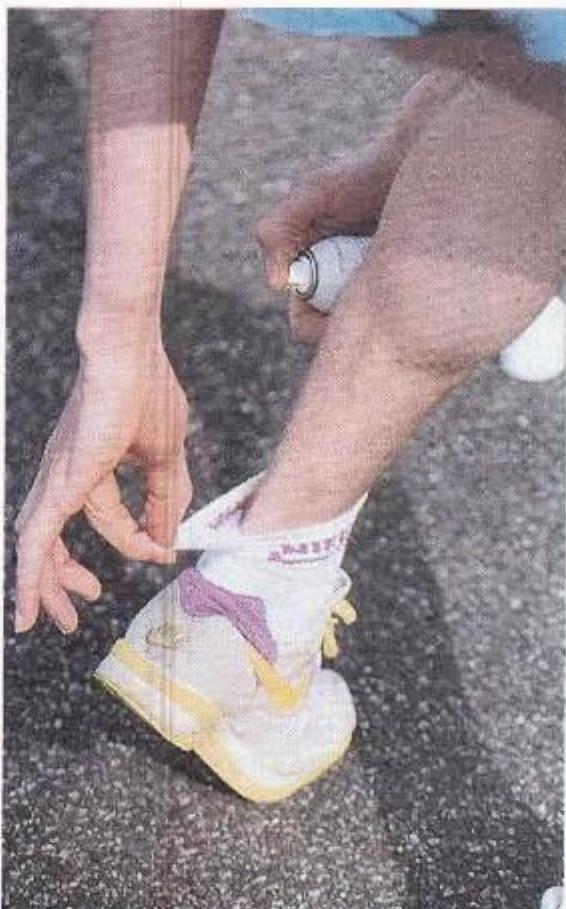
Atuando nas fibras nervosas, o frio reduz a velocidade dos sinais nervosos, bloqueando a transmissão da dor.

- **Ação antiinflamatória**

O frio diminui a atividade das células, impedindo a emissão de substâncias que provocam a inflamação.

- **Ação anti-sangramento**

O frio provoca a contração dos capilares da pele, bloqueando a circulação do sangue.



Keystone

PESQUISE

O que é orvalho? E geada?

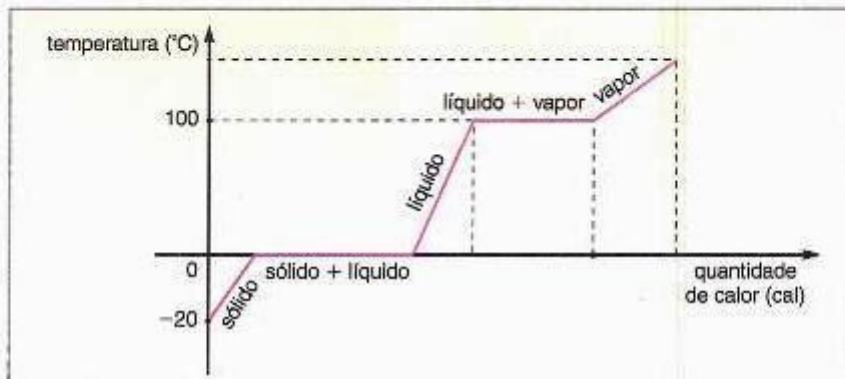
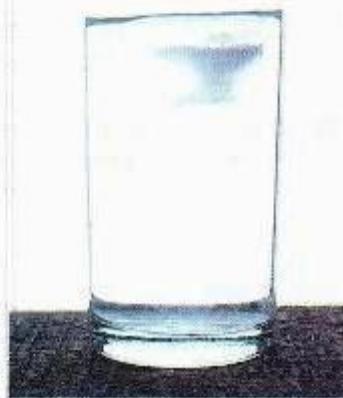
CURVAS DE AQUECIMENTO E DE RESFRIAMENTO

Consideremos um bloco de gelo, à temperatura de -20°C sob pressão normal, contido no recipiente da figura.

Fornecendo calor ao bloco de gelo e, por um processo qualquer, mantendo a pressão constante, verificamos que:

- ✓ A temperatura do bloco de gelo começa a aumentar até atingir o ponto de fusão a 0°C , isto é, passa de -20°C a 0°C .
- ✓ A partir desse instante, começa o processo de transformação do sólido em líquido, isto é, a fusão do gelo. Durante um determinado tempo, a temperatura permanece constante, embora continue o fornecimento de calor, até que o bloco de gelo se transforme totalmente em líquido.
- ✓ Com o término da fusão, o fornecimento de calor volta a produzir um aumento de temperatura do corpo, agora no estado líquido, até atingir a temperatura de ebulação, isto é, 100°C sob pressão normal.
- ✓ A partir desse instante, inicia-se o processo de ebulação do líquido, com transformação deste em vapor. Nesse momento a temperatura torna a permanecer constante, a 100°C , até que toda a massa do líquido se transforme em vapor.
- ✓ Daí, então, o calor fornecido servirá para um maior aquecimento do vapor de água que existe no recipiente.

O gráfico mostra o comportamento do fenômeno descrito e denomina-se *curva de aquecimento*.



Supondo o processo inverso, isto é, a retirada de calor do vapor, ocorrerá, respectivamente, a condensação e a solidificação, e o gráfico será chamado *curva de resfriamento*.

APLICAÇÃO

13

Coloca-se um pedaço de gelo com massa 80 g, à temperatura de -18°C , em um calorímetro que contém 400 g de água a 30°C . A capacidade térmica do calorímetro é $80 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}$. Calcule a temperatura de equilíbrio térmico.

$$\text{calor específico do gelo} = 0,5 \text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

Dados: $\begin{cases} \text{calor específico da água} = 1 \text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C} \\ \text{calor latente de fusão do gelo} = 80 \text{ cal/g} \end{cases}$

Resolução:

Construindo uma tabela, temos:

	m	t	t_i	t_f
calorímetro		80		
água	400	1	x	30°
gelo (sensível)	80	0,5	0	-18
gelo (latente)	80		80	
água (sensível)	80	1	x	0

$$Q_{\text{cal}} + Q_{\text{água}} + Q_{\text{gelo (sensível)}} + Q_{\text{gelo (latente)}} + Q_{\text{água (sensível)}} = 0$$

$$80(x - 30) + 400 \cdot 1 \cdot (x - 30) + 80 \cdot 0,5(0 + 18) + 80 \cdot 80 + 80 \cdot 1 \cdot (x - 0) = 0$$

$$80x - 2400 + 400x - 12000 + 720 + 6400 + 80x = 0 \rightarrow x = 13^{\circ}\text{C}$$

Resposta: 13 °C

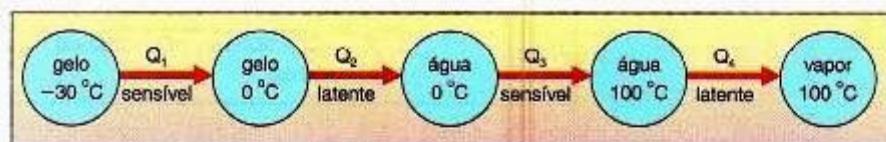
A 14

Um bloco de gelo de massa 400 g está à temperatura de -30°C , sob pressão normal. Dados: $L_f = 80 \text{ cal/g}$, $L_v = 540 \text{ cal/g}$, $c_{\text{gelo}} = 0,5 \text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ e $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$.

- Determine a quantidade de calor necessária para transformar totalmente esse bloco de gelo em vapor a 100°C .
- Construa o gráfico temperatura × quantidade de calor.

Resolução:

a)



Cálculo das quantidades de calor:

$$Q_1 = mc(t_f - t_i) = 400 \cdot 0,5 [0 - (-30)] = 6000 \text{ cal}$$

$$Q_2 = mL_f = 400 \cdot 80 = 32000 \text{ cal}$$

$$Q_3 = mc(t_f - t_i) = 400 \cdot 1 \cdot (100 - 0) = 40000 \text{ cal}$$

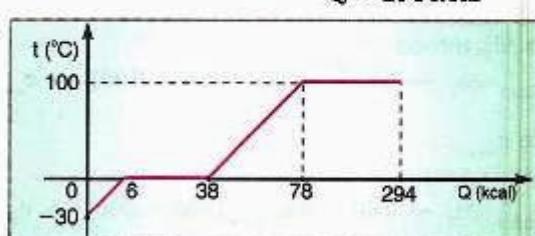
$$Q_4 = m \cdot L_v = 400 \cdot 540 = 216000 \text{ cal}$$

Cálculo da quantidade de calor total:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \rightarrow Q = 6000 + 32000 + 40000 + 216000$$

$$Q = 294 \text{ kcal}$$

b)

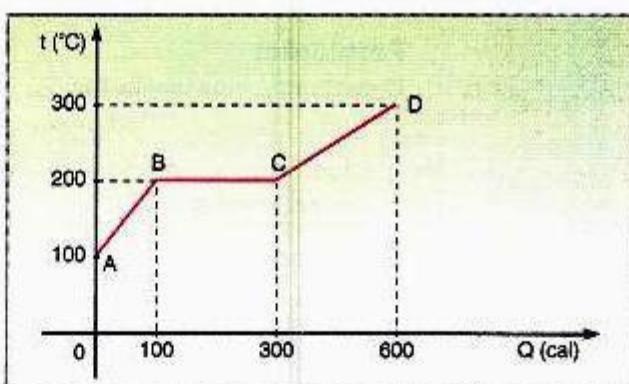
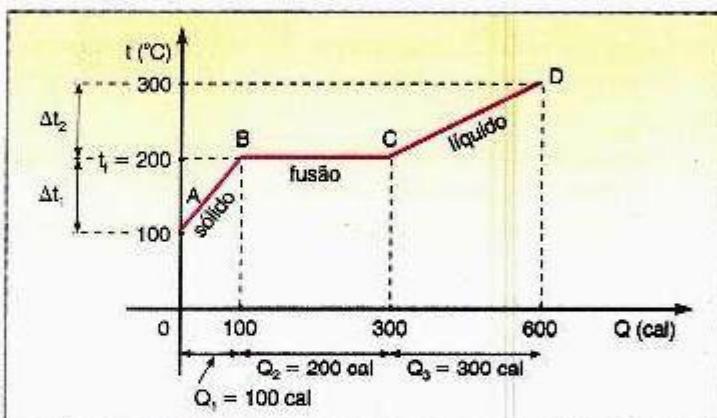


Respostas: a) 294 kcal; b) vide resolução

A 15

Um corpo, inicialmente sólido, de massa 80 g, recebe calor e sofre variação de temperatura conforme indica o gráfico. Pedem-se:

- a temperatura de fusão da substância
- o calor latente de fusão do corpo
- o calor específico do corpo no estado sólido
- o calor específico no estado líquido

**Resolução:**Dado: $m = 80 \text{ g}$ 

- a) Cálculo de t_f :

Efetuando a leitura do gráfico, temos $t_f = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

- b) Cálculo de L_f :

Durante a fusão o corpo absorveu calor:

$$Q_2 = 300 - 100 = 200 \text{ cal}; \text{ portanto,}$$

$$Q = m \cdot L_f \rightarrow 200 = 80L_f$$

$$L_f = 2,5 \text{ cal/g}$$

- c) Cálculo de $c_{\text{sólido}}$:

No trecho AB, temos:

$$Q_1 = mc_{\text{sólido}} \cdot \Delta t_1 \rightarrow 100 = 80c_{\text{sólido}} (200 - 100) \rightarrow c_{\text{sólido}} = 0,012 \text{ cal/g} \cdot {^{\circ}\text{C}}$$

- d) Cálculo de $c_{\text{líquido}}$:

No trecho CD, temos:

$$Q_3 = mc_{\text{líquido}} \cdot \Delta t_2 \rightarrow 300 = 80c_{\text{líquido}} (300 - 200) \rightarrow c_{\text{líquido}} = 0,037 \text{ cal/g} \cdot {^{\circ}\text{C}}$$

Respostas: a) $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$; b) $2,5 \text{ cal/g}$; c) $0,012 \text{ cal/g} \cdot {^{\circ}\text{C}}$; d) $0,037 \text{ cal/g} \cdot {^{\circ}\text{C}}$

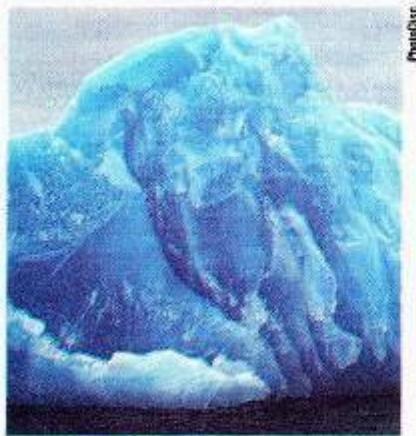
QUESTÕES

Q77 Por que é mais perigosa uma queimadura provocada por vapor de água a 100 °C do que por água líquida àquela temperatura?

resposta no final do livro

Q78 Vários estudos têm concluído que, em virtude do efeito estufa, do comprometimento da camada de ozônio e de outros fatores, há grande possibilidade de fusão das camadas de gelo das calotas polares e, em consequência, o nível das águas dos oceanos se elevará.

Supondo-se que houvesse a fusão da massa total de gelo das calotas polares ($m = 4,0 \cdot 10^8$ ton, a uma temperatura média de -10 °C), qual a quantidade de calor necessária para aquela massa total se liquefazer? Dados: $c_{\text{gelo}} = 0,5 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ e $L = 80 \text{ cal/g}$. $34 \cdot 10^{15} \text{ cal}$



Q79 Um bloco de gelo com massa 8 kg está a uma temperatura de -20 °C, sob pressão normal.

Dados:

calor específico do gelo = 0,5 cal/g · °C

calor específico da água = 1 cal/g · °C

calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g

a) Qual a quantidade de calor para transformar totalmente esse bloco de gelo em água à temperatura de 30 °C? **960 kcal**

b) Construa o gráfico temperatura × quantidade de calor durante esse processo.

resposta no final do livro

Q80 O dono de um pequeno restaurante colocou para ferver 1 ℥ de água a 25 °C numa chaleira para fazer o café. Como foi atender aos clientes, ele se esqueceu da chaleira e, quando se deu

conta, toda a água havia evaporado. Qual o total de energia consumida, em calorias, até o final da ebulição?

Dados: $d_{\text{água}} = 1 \cdot 10^3 \text{ kg/l}$; $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ e $L_v = 540 \text{ cal/g}$ **615 000 cal**



Sergio Braga / iStock

Q81 (UFPel-RS) Para resfriar um copo com água a 30 °C, é mais conveniente utilizarmos uma pedra de 20 g de gelo ou 20 g de água, ambos a 0 °C? Justifique. *resposta no final do livro*

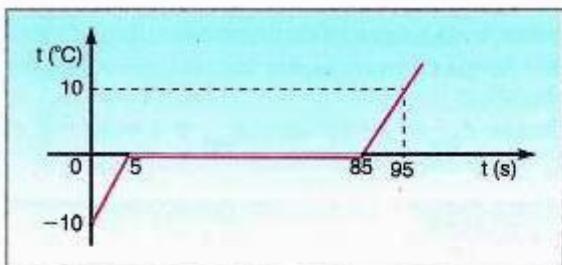
Q82 (UnB) Em um laboratório, um estudante misturou uma certa massa de água, a 30 °C, com igual quantidade de gelo, a -40 °C. Determine, em graus Celsius, a temperatura de equilíbrio da mistura obtida pelo estudante. Considere os dados: calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g, calor específico do gelo = 0,5 cal/g · °C e calor específico da água = 1 cal/g · °C. **-35 °C**

Q83 (EFOA-MG) A temperatura de fusão do chumbo é 600 °C, seu calor específico é 0,03 cal/g · °C e seu calor latente de fusão é 25 cal/g. Suponha que um projétil de chumbo de massa 20 g esteja inicialmente a 20 °C. Dado: 1 cal = 4,2 J.

a) Qual a quantidade mínima de calor necessária para fundi-lo completamente? **= 648 cal**

b) Qual a velocidade mínima com que esse projétil deve chocar-se num alvo rígido para fundir-se completamente? (Admita que toda energia do projétil é transformada em calor e absorvida pelo próprio projétil.) **= 597 m/s**

Q84 (UMC-SP) O gráfico representa a temperatura de uma certa porção de água de massa igual a 500 g, inicialmente a -10°C , em função do tempo.



Dados:

calor específico do gelo: $0,5 \text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$

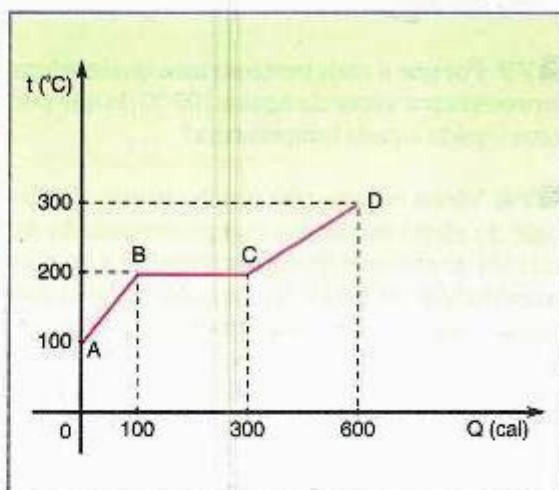
calor específico da água: $1 \text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$

calor de fusão do gelo: 80 cal/g

Descreva:

- a) fusão b) 2500 cal
- a) o estado físico do sistema entre 5 s a 85 s
- b) a quantidade de calor absorvida entre 0 e 5 s
- c) a quantidade de calor absorvida entre 5 s e 85 s $40\,000 \text{ cal}$
- d) a quantidade de calor absorvida para elevar a temperatura do corpo de -10°C até 10°C $43\,000 \text{ cal}$

Q85 Um corpo inicialmente sólido, de massa 80 g, recebe calor e sofre variação de temperatura conforme indica o gráfico a seguir.



Determine:

- a) a temperatura de fusão da substância 200°C
- b) o calor latente de fusão do corpo $2,5 \text{ cal/g}$
- c) o calor específico do corpo no estado sólido
- d) o calor específico no estado líquido

c) $0,012 \text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ d) $\sim 0,037 \text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$

TRANSMISSÃO DE CALOR

Um corpo quente não tarda a pôr-se em equilíbrio de temperatura com o meio exterior. O calor passa, portanto, de um corpo para outro devido a uma diferença de temperatura.

A propagação do calor efetua-se por três modos diferentes: a *condução*, a *convecção* e a *irradiação*.

Condução

É o processo de transmissão de calor através do qual a energia passa de molécula para molécula sem que elas sejam deslocadas.

Exemplo:

Aquecendo-se a extremidade de uma barra metálica, as moléculas passam a vibrar com maior intensidade, transmitindo essa energia adicional às moléculas mais próximas, que também passam a vibrar mais intensamente e assim sucessivamente até alcançar a outra extremidade.

A agitação térmica pode ser transmitida de uma molécula para outra, com maior ou menor facilidade, de acordo com a constituição atômica da substância; substâncias boas ou más condutoras térmicas.

Os metais, por exemplo, são bons condutores e outras substâncias como a cortiça, o ar, a madeira, o gelo, a lã, o algodão etc. são isolantes térmicos.

Nos líquidos e nos gases a condução térmica é baixa. Por esse motivo é que os gases são utilizados como isolantes térmicos.



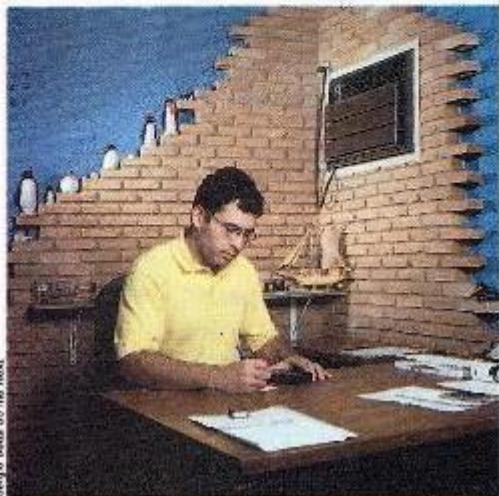
CONVEÇÃO

É o processo de transmissão do calor, nos líquidos ou nos gases, por efeito das camadas aquecidas que se chamam *correntes de convecção*.

Na convecção não ocorre passagem de energia de um corpo para outro, mas movimento de partículas, levando consigo a energia de uma posição para outra.

Portanto, a convecção não pode ocorrer no vácuo.

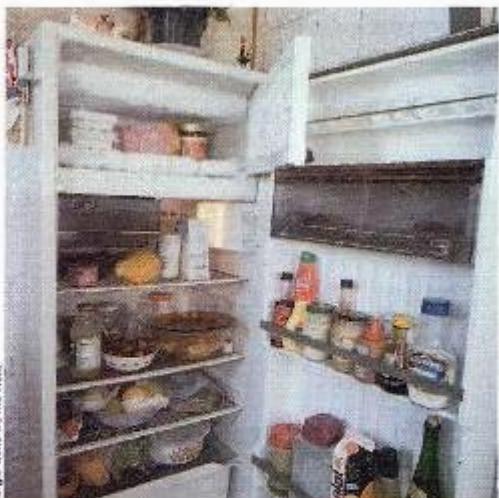
A convecção explica os seguintes fenômenos:



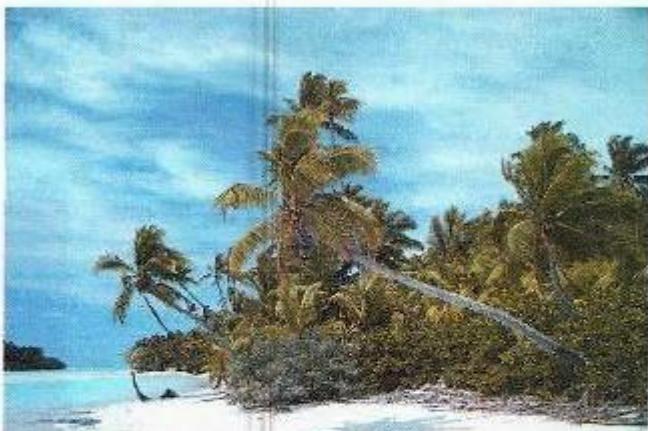
Sergio Datta / Joilhe Net
Os aparelhos de ar-condicionado operam colocando ar frio dentro de um ambiente. Porém, eles causam melhor efeito quando colocados na parede superior de uma sala, porque desta forma provocam a convecção do ar, com a descida do ar frio e a subida do ar quente.



PhotoDisc
A retirada de gases residuais da combustão pelas chaminés é resultado das correntes de convecção. Os gases aquecidos sobem, provocam uma renovação do ar frio em torno da chama e mantêm a combustão.



Sergio Datta / Joilhe Net
Num refrigerador, o congelador fica localizado na parte superior, pois o ar em contato com o congelador sofre um resfriamento, tornando-se mais denso, e desce, provocando a subida do ar menos denso, formando assim correntes de convecção.



PhotoDisc
A formação de brisas nas regiões litorâneas em parte se deve ao fato de o calor específico da areia ser bem menor do que o da água. Durante o dia, a areia se aquece mais rapidamente do que a água, o ar acima da areia se expande, torna-se menos denso, sobe e é substituído pelo ar frio do mar, provocando, portanto, correntes de convecção. De noite o processo se inverte.

IRRADIÇÃO

É o processo de transmissão de energia entre dois corpos que não precisa de um meio material para se propagar.

Exemplo:

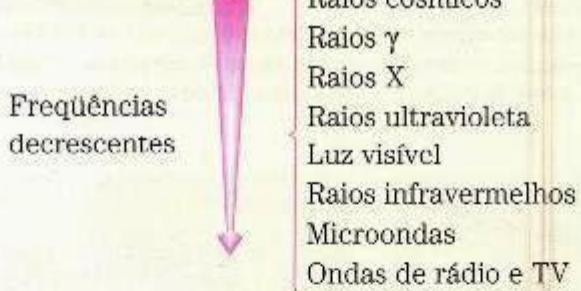


A Terra recebe energia emitida pelo Sol, que passa pelo vácuo, aquecendo-a.

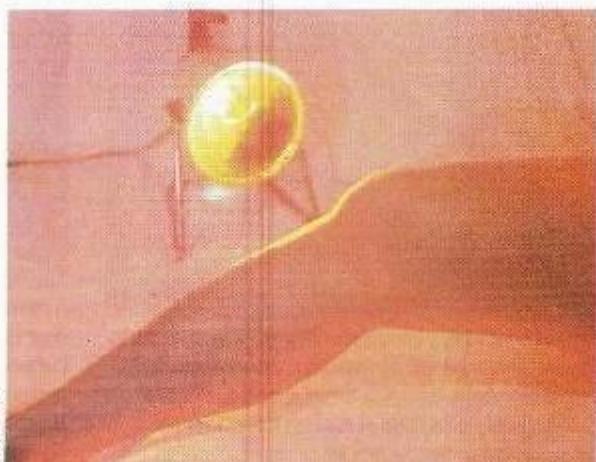
Essa energia que não necessita de um meio material para se propagar denomina-se *energia radiante* e é transmitida através de ondas eletromagnéticas.

O corpo que emite a energia radiante é chamado *emissor*, o que recebe, *receptor*.

As ondas eletromagnéticas são formadas por diversas ondas de freqüências diferentes, chamadas *radiação*. As mais comuns são:



Das ondas eletromagnéticas, as que se transformam mais facilmente em calor quando *absorvidas* pelo receptor são as infravermelhas, também chamadas *ondas de calor*.



O filamento da lâmpada solar emite raios infravermelhos que aquecem a pessoa.

Silvia D'Urso / J. C. R. Est

Quando a energia radiante incide sobre a superfície de um corpo, ela é parcialmente absorvida, parcialmente refletida e parcialmente refratada.

A *energia absorvida* fica no corpo receptor sob a forma de energia térmica.

Podemos definir:

- ✓ *Corpo opaco*: um corpo é dito opaco quando a maior parte da energia incidente é absorvida, isto é, quando são mínimas as parcelas de energia refletida e refratada. Nesses casos, ele também é considerado mau refletor e mau refrator. Os corpos de cor escura são considerados opacos.

Exemplos:

- 1) As panelas usadas para cozinhar devem ter o *fundo preto*, a fim de absorver maior quantidade de calor.
- 2) As roupas escuras são mais absorventes do que as claras. Por isso no inverno usam-se roupas escuras e no verão dá-se preferência às roupas claras.

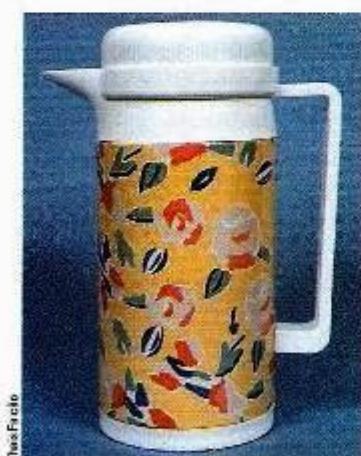
- ✓ *Corpo transparente*: é todo corpo em que grande parte da energia incidente sobre ele é refratada. Um corpo pode ser opaco para certos tipos de radiação e transparente para outros.

Exemplos:

- 1) O corpo humano é opaco para a luz visível e transparente para os raios X.
- 2) O vidro comum é transparente para a luz visível e opaco para as radiações infravermelhas.

- ✓ *Corpo negro*: é um corpo capaz de absorver todas as radiações incidentes sobre ele. Na prática, é impossível conseguir um *corpo negro*, isto é, que absorva totalmente as radiações incidentes.

A garrafa térmica é construída de maneira a evitar as trocas de calor entre o líquido e o meio externo.



A garrafa térmica conserva por longo tempo a temperatura de líquidos frios ou quentes.

Para impedir a condução e a convecção, a ampola interna é feita de vidro (mau condutor) com paredes duplas entre as quais faz-se vácuo, que, pela ausência de moléculas, não conduz o calor. A irradiação é evitada espelhando-se as faces da ampola de vidro.

Quando há líquido quente no interior da garrafa, o calor que seria irradiado para fora é refletido para dentro; caso o líquido seja frio, o calor de fora não penetra na garrafa, pois é refletido pela superfície do vidro.

Finalmente, uma tampa bem ajustada isola a garrafa das possíveis correntes de convecção, pois todas as partes do líquido dentro da garrafa estão à mesma temperatura.

Dentro do forno de microondas há um dispositivo chamado magnetrônico, que converte a energia elétrica em microondas.

As microondas atravessam várias substâncias, como vidro, plástico, porcelana, cerâmica, papel, madeira etc., porém são refletidas pelos metais.

As microondas penetram no interior do forno por uma abertura em geral localizada no tampo superior. Um mecanismo espalha as microondas que, refletidas nas paredes do forno, realizam um cozimento uniforme do alimento.

As microondas penetram a uma profundidade de 2 cm a 5 cm nos alimentos ativando as suas moléculas de água, causando vibrações invisíveis. O atrito de uma molécula contra a outra gera calor, que cozinha os alimentos.



Sergio Datta Jeftha Neto

O forno de microondas utiliza ondas eletromagnéticas de alta freqüência, do mesmo tipo da luz e das ondas de rádio. As ondas eletromagnéticas não produzem calor diretamente e, portanto, não aquecem o forno.

QUESTÕES

Q86 Considere as seguintes proposições:

- Quando o calor se transfere através de um corpo por condução, essa energia se propaga em virtude da agitação atômica no material, sem que ocorra transporte de matéria no processo.
- A transferência de calor nos líquidos é feita sobretudo por meio de correntes de condução, que se formam em virtude da diferença entre as densidades das partes mais quentes e mais frias do líquido.
- A transferência de calor por radiação é feita por meio de ondas eletromagnéticas, que se propagam no vácuo.

Quais delas são verdadeiras? I e III

Q87 Considere as seguintes proposições:

- O calor sempre se propaga da fonte fria para a fonte quente.
- Num termômetro de mercúrio, quanto maior for o comprimento da coluna (de mercúrio) maior será a temperatura indicada.
- Usamos agasalhos nos dias frios porque eles fornecem calor ao nosso corpo.

Quais delas são corretas? II

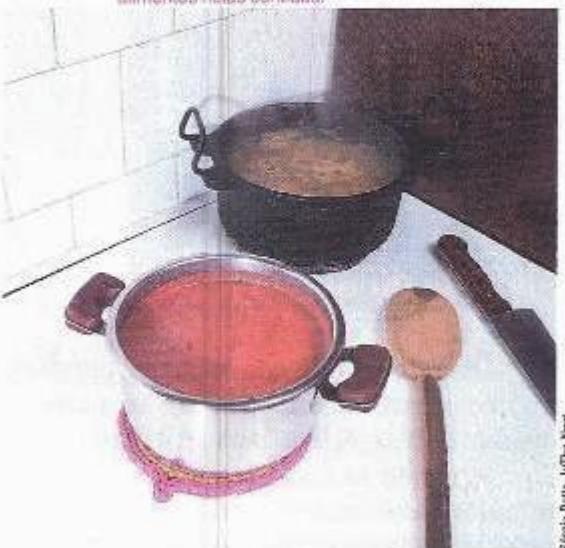
Q88 Por que a carcaça das geladeiras é preenchida com lâ de vidro?

Porque a lâ de vidro é um isolante térmico e dificulta a troca de calor entre o interior da geladeira e o ambiente.

Q89 Usando conceitos físicos, como você explicaria os seguintes fatos:

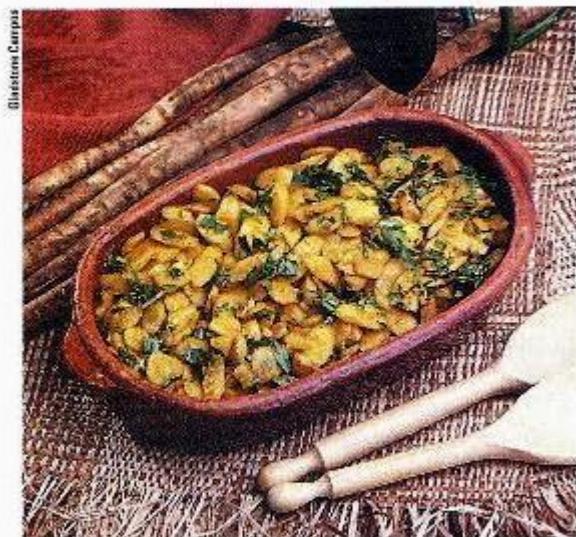
- As panelas são feitas de alumínio, cobre ou ferro.

São feitas desses materiais, pois eles são bons condutores na troca de calor entre a chama e os alimentos nelas contidos.



Sergio Datta Jeftha Neto

- b) Para manter um alimento quente é melhor servi-lo numa travessa de louça do que numa de alumínio. A louça, por ser isolante, mantém o alimento aquecido por mais tempo.



Q90 Retirando uma panela do fogo e colocando a mão embaixo dela ou na sua lateral, sem nela encostar, sentimos um aquecimento na mão. Explique como ocorre esse aquecimento.

resposta no final do livro

Q91 Usando conceitos físicos, explique por que sentimos frio. *resposta no final do livro*

Q92 Por que nos dias frios as penas das aves se eriçam? *resposta no final do livro*



Q93 Uma garrafa e uma lata de refrigerante são retiradas do interior de uma geladeira. Ao pegá-las temos a impressão de que a lata está mais fria que a garrafa. Explique esse fato.

resposta no final do livro

Q94 Por que devemos usar roupas claras no verão? Porque elas absorvem pouca energia do exterior, refletindo a maior parte.

Q95 (UFPel-RS) Ao comprar uma geladeira e ler as instruções de uso, uma pessoa encontrou as seguintes recomendações: *resposta no final do livro*

- 1º) Degelar semanalmente o refrigerador, de modo a evitar o acúmulo de gelo no congelador.
- 2º) Não forrar as prateleiras com chapas de papelão ou outro material.
- 3º) Não colocar roupas para secar atrás da geladeira.

Analise, fisicamente, cada uma das recomendações, dizendo se os fabricantes têm ou não razão.

Q96 A tabela abaixo contém informações sobre quatro panelas:

PANELA	MATERIAL	ESPESSURA (mm)	COEFICIENTE DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA [cal/(s · cm · °C)]
I	alumínio	4	$4,9 \cdot 10^{-2}$
II	alumínio	2	$4,9 \cdot 10^{-2}$
III	cobre	4	$9,2 \cdot 10^{-2}$
IV	cobre	2	$9,2 \cdot 10^{-2}$

As quatro panelas têm o mesmo volume e base com a mesma área. Pretende-se usar uma delas para aquecer água em um fogão comum.

A equação geral para o fluxo de calor por unidade de tempo (ϕ), transmitido por condução térmica através de uma chapa de um material com área de secção transversal S , espessura d e coeficiente de condutividade térmica k , é

$$\phi = k \frac{S \Delta t}{d}$$

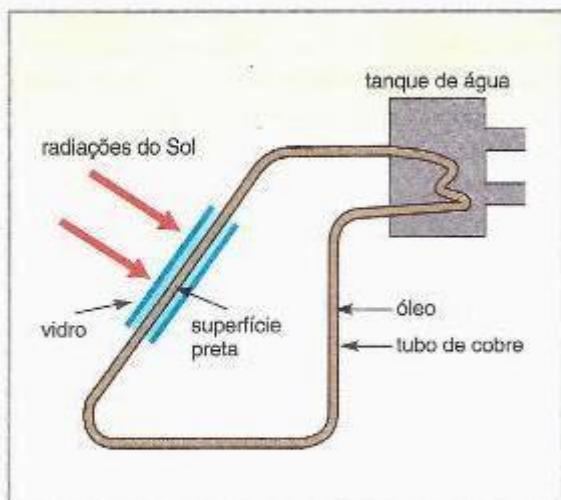
em que Δt é a diferença de temperatura entre as faces da chapa.

Com base na análise dos dados da tabela e da equação, qual a panela que permite fervor mais rápido uma certa quantidade de água? *panela IV*

Q97 Uma pessoa aquece as mãos, colocando-as próximas da lateral de uma caneca com água que está sobre a chama de um fogão. Quais são os processos predominantes de aquecimento da caneca, água e mãos?

condução, convecção e irradiação

Q98 Atualmente, muitas casas possuem sistema de aquecimento por energia solar. Ela é gratuita e não causa poluição. [respostas no final do livro](#)



Alamy Stock Photo

- O que ocorre com a radiação solar que atinge a superfície negra do painel? Por que essa superfície é negra?
- Qual a vantagem de os tubos serem de cobre? Como o óleo que circula nos tubos se aquece? Por que se usa óleo em vez de água? Por que o óleo sobe para passar pelo tanque de água?
- Os tubos de óleo situam-se no fundo da caixa de água e não na parte de cima desta. Por quê?

PESQUISE

- I) O que aconteceria com a Terra se todas as florestas nativas do planeta fossem destruídas? Quais as consequências que o homem sofreria com essa devastação?



Nair Bonet/Estadão/Imagens

- II) Indique algumas medidas que poderiam ser adotadas para acelerar a transferência de energia de um corpo de maior temperatura para um corpo de menor temperatura.

CAPÍTULO 17

ESTUDO DOS GASES

INTRODUÇÃO

Os gases são constituídos de pequenas partículas, denominadas moléculas, que se movimentam desordenadamente em todas as direções e sentidos.

Quando um corpo passa da fase sólida para a fase líquida, dizemos que ocorreu uma mudança de fase ou mudança de estado de agregação. Por outro lado, se o corpo sofrer alteração em uma ou mais de suas grandezas físicas — pressão, volume, temperatura, densidade —, dizemos que houve uma transformação ou mudança de estado.

O estado de um gás é caracterizado pelo valor de três grandezas físicas: o volume V , a pressão p e a temperatura T , que são denominadas *variáveis de estado* de um gás.

Em geral, a mudança de uma dessas variáveis de estado provoca alteração em pelo menos uma das outras variáveis, apresentando o gás uma *transformação* e, consequentemente, um estado diferente do inicial.

A pressão 1 atm e a temperatura 273 K ou 0 °C caracterizam as condições normais de temperatura e pressão, que indicamos CNTP.

LEIS DAS TRANSFORMAÇÕES DOS GASES

Para a simplificação do estudo dos gases adota-se um gás hipotético, o gás *perfeito* ou *ideal*, que segue rigorosamente as leis dos gases e mantém-se sempre no estado gasoso. Os gases reais apresentam um comportamento que se aproxima mais do gás perfeito quanto maior for sua temperatura e menor sua pressão.

LEI DE BOYLE – MARIOTTE

Suponha que uma determinada massa gasosa contida num recipiente de volume V seja submetida à pressão p . Como já foi visto, essa pressão p é devida aos choques das moléculas do gás com as paredes do recipiente. Se diminuirmos o volume V , a freqüência de choques aumenta e, portanto, a pressão também aumenta.

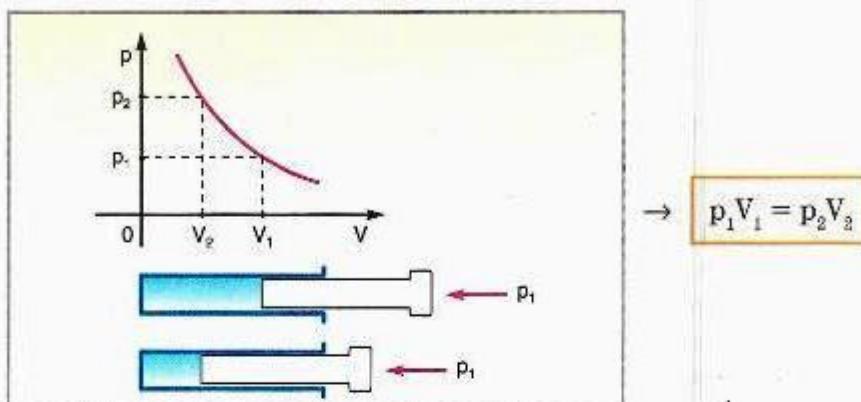
Se, durante o processo, mantivermos a *temperatura T constante* (transformação isotérmica), podemos verificar que a *pressão varia de uma forma inversamente proporcional ao volume*. O físico e químico irlandês Robert Boyle (1627-1691) e o físico e biólogo francês Edmé Mariotte (1620-1684) chegaram a essa conclusão, que representa a lei de Boyle-Mariotte.

Em uma transformação isotérmica, a pressão de uma dada massa de gás é inversamente proporcional ao volume ocupado pelo gás.

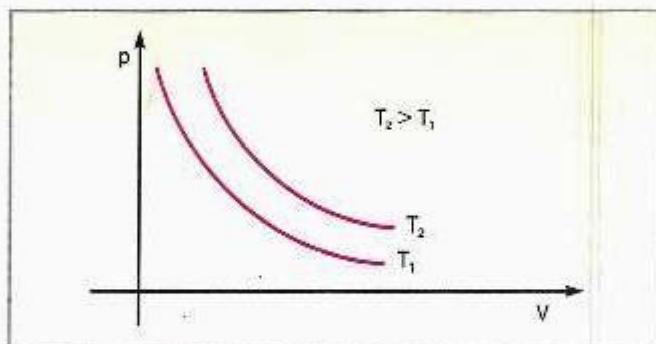
$$p = \alpha \cdot \frac{1}{V} \rightarrow pV = \alpha = \text{constante}$$

A constante α depende da massa e da natureza do gás, da pressão e das unidades usadas.

A representação gráfica da pressão em função do volume é uma hipérbole equilátera chamada *isoterma*.



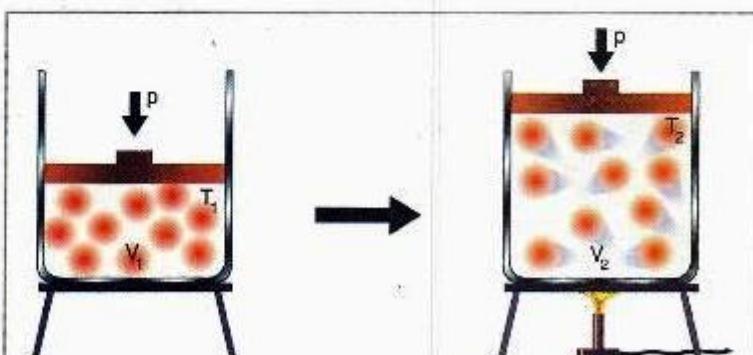
Com o aumento de temperatura, o produto $p \cdot V$ torna-se maior e as isotermas se afastam da origem dos eixos.



LEI DE GAY-LUSSAC

Suponha que uma determinada massa gasosa esteja contida num cilindro provido de um êmbolo móvel, sujeito a uma pressão constante p exercida pela atmosfera.

Com o aquecimento do sistema, as moléculas do gás se agitam mais rapidamente, aumentando o número de choques com as paredes do recipiente, deslocando o êmbolo móvel para cima até que haja um equilíbrio entre a pressão interna e a externa.



Dessa maneira, à medida que *aumentamos a temperatura* do gás, ocorre *aumento do volume* por ele ocupado no cilindro, enquanto a *pressão permanece constante* (transformação *isobárica*).

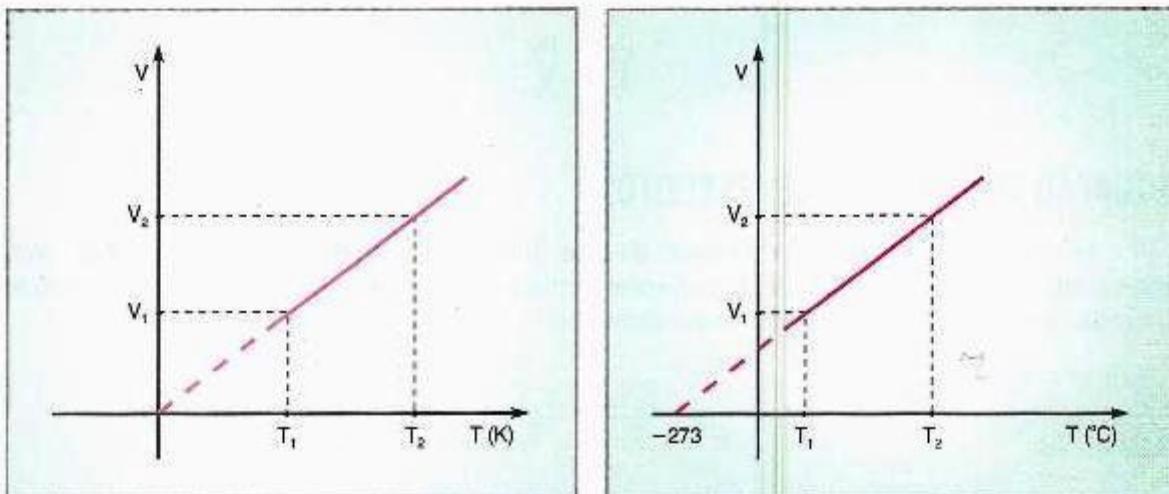
Essa conclusão representa a chamada lei de Gay-Lussac, em homenagem ao físico e químico francês Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850).

Em uma transformação isobárica, o volume ocupado por uma dada massa gasosa é diretamente proporcional à temperatura.

$$\frac{V}{T} = \alpha = \text{constante}$$

Nessa fórmula, a temperatura deve ser dada em graus Kelvin.

A representação gráfica de uma transformação isobárica é uma reta.



$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

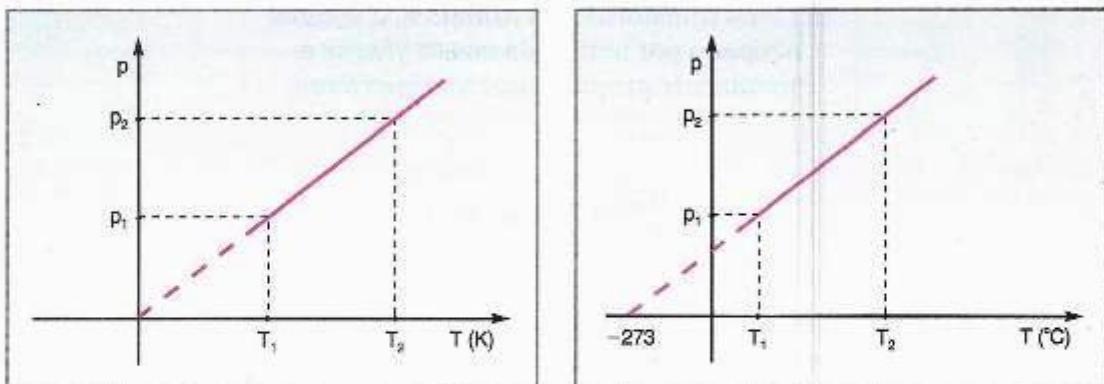
LEI DE CHARLES

Essa lei, do matemático e físico francês Jacques Alexandre C. Charles (1746-1824), diz respeito às transformações *isocóricas* ou *isométricas*, isto é, aquelas que se processam a volume constante.

A volume constante, a pressão de uma determinada massa de gás é *diretamente proporcional* à sua temperatura absoluta.

$$\frac{P}{T} = \text{constante}$$

Dessa maneira, aumentando a temperatura de um gás a volume constante, aumenta a pressão que ele exerce, e, diminuindo a temperatura, a pressão também diminui. Teoricamente, ao cessar a agitação térmica das moléculas a pressão é nula, e atinge-se o zero absoluto.



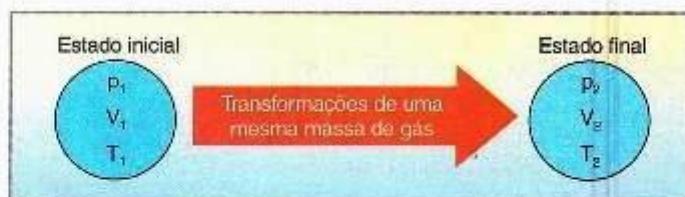
$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

EQUAÇÃO GERAL DOS GASES PERFEITOS

Quando as três variáveis de estado de uma determinada massa de gás — pressão, volume e temperatura — apresentarem variações, utiliza-se a equação geral dos gases, que engloba todas as transformações vistas anteriormente.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

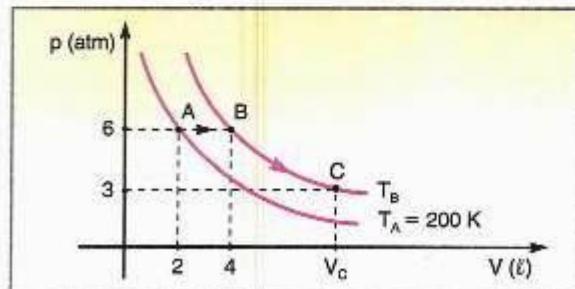
Segundo essa expressão, temos:



APLICAÇÃO

A 16

Determinada massa de gás num estado inicial A sofre a transformação ABC indicada no diagrama.
Determine T_B e V_C .



Resolução:Cálculo de T_B :De $A \rightarrow B$ a transformação é isobárica.

Estado A (inicial)

$$p_A = 6 \text{ atm}$$

$$V_A = 2 \ell$$

$$T_A = 200 \text{ K}$$

Estado B (final)

$$p_B = 6 \text{ atm}$$

$$V_B = 4 \ell$$

$$T_B = ?$$

Pela equação geral dos gases perfeitos:

$$\frac{p_A V_A}{T_A} = \frac{p_B V_B}{T_B} \rightarrow \frac{6 \cdot 2}{200} = \frac{6 \cdot 4}{T_B} \rightarrow T_B = 400 \text{ K}$$

Cálculo de V_C :De $B \rightarrow C$ a transformação é isotérmica.

Estado B (inicial)

$$p_B = 6 \text{ atm}$$

$$V_B = 4 \ell$$

$$T_B = 400 \text{ K}$$

Estado C (final)

$$p_C = 3 \text{ atm}$$

$$V_C = ?$$

$$T_C = T_B = 400 \text{ K}$$

Pela equação geral dos gases perfeitos:

$$\frac{p_B V_B}{T_B} = \frac{p_C V_C}{T_C} \rightarrow \frac{6 \cdot 4}{400} = \frac{3 \cdot V_C}{400} \rightarrow V_C = 8 \ell$$

Resposta: $T_B = 400 \text{ K}$ e $V_C = 8 \ell$

QUESTÕES

Q99 Enuncie as leis das transformações dos gases.

Q100 Por que uma bola de borracha, cheia de ar, sofre contração quando colocada dentro de uma câmara frigorífica? *resposta no final do livro*

Q101 Uma massa de ar que ocupava um volume de 1ℓ quando a sua temperatura e sua pressão eram, respectivamente, iguais a 20°C e 1 atm foi comprimida isotermicamente até passar a ocupar um volume de apenas $0,5 \ell$.

- Qual a temperatura da massa de ar no final do processo? 20°C
- Qual a pressão da massa de ar no final do processo? 2 atm

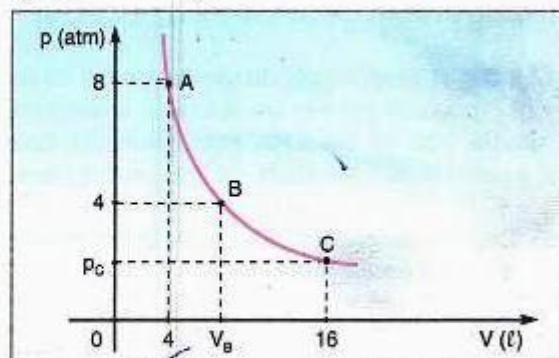
Q102 (Faap-SP) Um recipiente que resiste até a pressão $3,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ contém gás perfeito sob pressão $1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ e temperatura 27°C . Despre-

zando a dilatação térmica do recipiente, calcule a temperatura máxima que o gás pode atingir.

627°C

Q103 O gráfico ilustra a isotermia de uma certa quantidade de gás que é levado do estado A para o estado C. Determine:

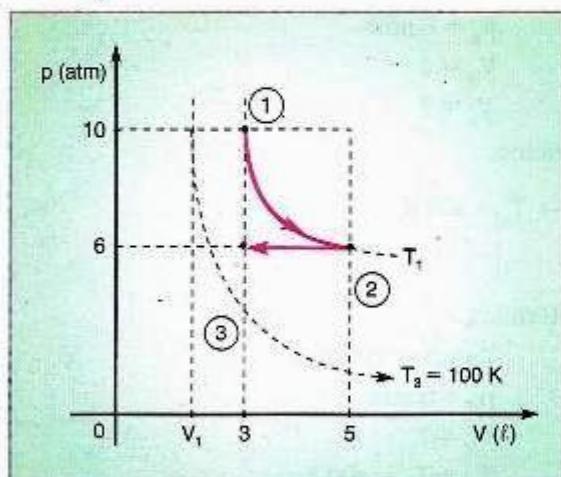
- o volume do gás no estado B 8ℓ
- a pressão do gás no estado C 2 atm



Q104 Certa massa de gás, inicialmente no estado 1, é levada, por transformações sucessivas, até o estado 3, conforme indica o diagrama. Determine:

a) $T_1 = \frac{500}{3} \text{ K}$

b) $V_1 = 1,8 \text{ l}$



Q105 Um *freezer*, recém-adquirido, foi fechado e ligado quando a temperatura ambiente estava a 27°C . Considerando que o ar se comporta como um gás ideal e a vedação é perfeita, determine a pressão no interior do *freezer* quando for atingida a temperatura de -19°C .

$\approx 0,85 \text{ atm}$

Q106 (Fuvest-SP) Um recipiente indeformável, hermeticamente fechado, contém 10 l de um gás perfeito a 30°C , suportando uma pressão de 2 atm . A temperatura do gás é elevada até atingir 60°C .

- Calcule a pressão final do gás. $2,2 \text{ atm}$
- Esboce o gráfico pressão \times temperatura da transformação descrita.

[resposta no final do livro](#)

Q107 (Vunesp-SP) A massa específica do nitrogênio, considerado como gás ideal, nas CNTP, é $1,25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Qual será a massa de 10 l do nitrogênio à pressão de 700 mmHg e a 40°C ?

$\approx 10 \text{ g}$

Q108 (Unesp) O gás de um dos pneus de um jato comercial em vôo encontra-se à temperatura de -33°C . Na pista, imediatamente após o pouso, a temperatura do gás encontra-se a $+87^\circ\text{C}$.

- Transforme esses dois valores de temperatura para a escala absoluta. $240 \text{ K e } 360 \text{ K}$
- Supondo que se trate de um gás ideal e que o volume do pneu não varia, calcule a razão entre as pressões inicial e final desse processo.

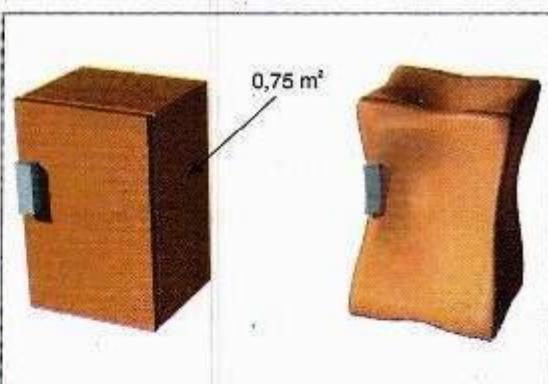
$\frac{2}{3}$

Q109 (UnB) Julgue os seguintes itens:

- Suponha que o volume interno de um pneu sem câmara seja aproximadamente constante e que um motorista calibre os pneus do seu carro a uma pressão de $30 \text{ libras/(polegada)}^2$, ao meio-dia, quando a temperatura ambiente é de 30°C . À noite, a temperatura cai para 15°C , portanto, a pressão dos pneus cai para $15 \text{ libras/(polegada)}^2$.
- Um mergulhador, nadando em águas profundas, libera uma bolha de ar, que sobe à superfície. Assumindo que a temperatura da água seja constante, conclui-se que o volume da bolha diminui continuamente durante seu trajeto em direção à superfície.

[respostas no final do livro](#)

Q110 (UFRJ) Um inventor, preocupado com economia de energia, constrói uma câmara frigorífica que, uma vez fechada a porta, não permite qualquer entrada ou saída de ar. Em seu primeiro teste, a câmara é fechada e seu sistema de refrigeração é ligado; após algum tempo de funcionamento, para decepção do inventor, a câmara frigorífica sofre um colapso, contraindo-se até ficar bastante amassada, conforme ilustrado a seguir:

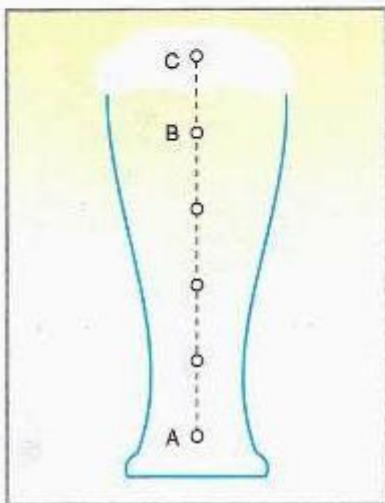


Para entender o fenômeno, considere o ar no interior da câmara frigorífica como um gás perfeito. Considere também que, no instante em que a câmara é fechada, o ar tem pressão igual à pressão atmosférica, de $1,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, e temperatura igual à do ambiente, de 27°C . No instante em que se inicia o colapso a temperatura no interior da câmara é $7,0^\circ\text{C}$. Calcule, nesse instante:

- a pressão do ar na câmara $0,93 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$
- a força que sofre uma das paredes, de área igual a $0,75 \text{ m}^2$, devido à diferença entre as pressões externa e interna; com esse resultado explique o fenômeno do colapso

[resposta no final do livro](#)

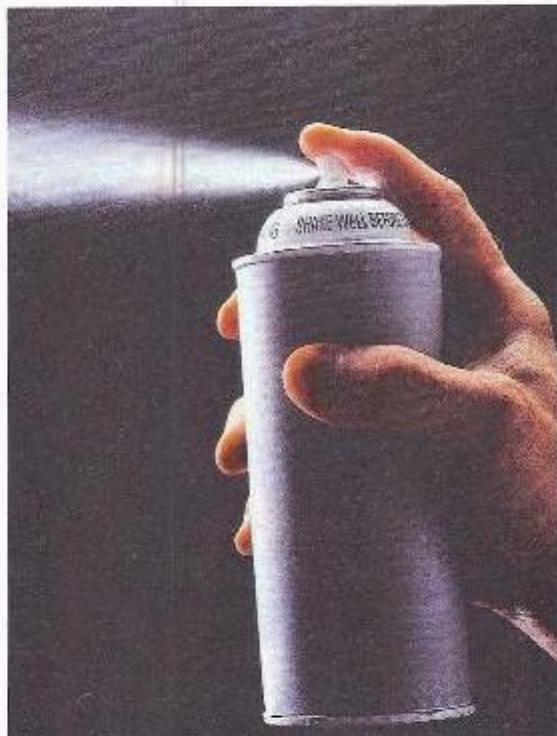
Q111 Um copo de chope contém uma parte de chope e, acima desta, uma parte de espuma (chamada "colarinho"), como representado na figura.



Uma bolha de gás, desprendendo-se do fundo, atravessa a parte líquida (de A para B) e, em seguida, a parte de espuma (de B para C). Observa-se que, nesse percurso, o seu volume aumenta.

Usando conceitos físicos, como você explicaria esses aumentos de volume da bolha de gás de A para B e de B para C? De A para B a bolha aumenta de volume devido à diminuição da pressão e de B para C, devido ao aumento de temperatura.

Q112 O gás contido num recipiente de aerosol não é inflamável mas, mesmo assim, esses recipientes trazem a recomendação que não podem ser levados ao fogo. Por que é feita essa recomendação?



Corbis Stock Photo

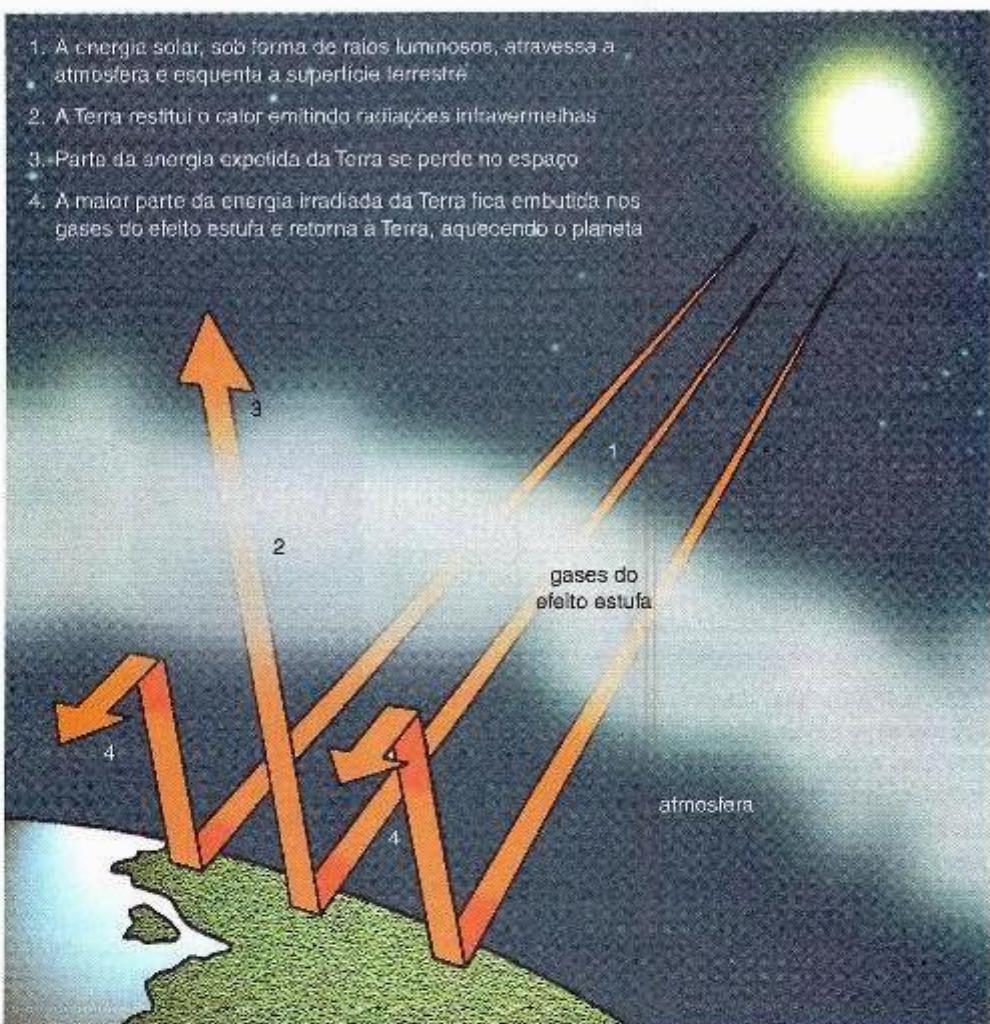
É que o aumento da pressão interna do gás, causada pelo forte aquecimento (transformação isocórica), pode provocar o rompimento do recipiente.

VOCÊ SABIA?

EFEITO ESTUFA

A Terra mais o manto de atmosfera que a envolve constituem, juntos, uma "estufa". Esse fato nunca foi problema. Na verdade, se não fosse a função de estufa do ar, a superfície do nosso planeta seria como a da Lua, extremamente fria à noite ($-167,8^{\circ}\text{C}$) e insuportavelmente quente durante o dia (100°C).

A quantidade de energia solar que atinge a Lua é exatamente a mesma que atinge a Terra, porém, a atmosfera funciona como um filtro. Cerca de 20% da radiação emitida pelo Sol é absorvida pela atmosfera, cerca de 50% atinge a Terra e a esquenta e o restante é refletido de volta para o espaço. À medida que a superfície da Terra esquenta, são emitidos raios infravermelhos. O dióxido de carbono e outros gases presentes na atmosfera absorvem essas longas ondas infravermelhas e produzem o *efeito estufa*. Esse processo é responsável por um aquecimento de cerca de $12,8^{\circ}\text{C}$ do sistema atmosférico da Terra. Sem esse efeito estufa natural seria muito difícil haver vida em nosso planeta.



O dióxido de carbono é o gás que mais contribui para o efeito estufa. Ele provém naturalmente dos processos respiratórios dos seres vivos e da decomposição da vegetação. Atualmente, porém, vem se acumulando em níveis cada vez mais crescentes, proveniente da queima de combustíveis derivados de petróleo e das queimadas das matas. Tal situação pode gerar uma quebra no equilíbrio dinâmico da atmosfera e ocasionar uma elevação da temperatura média na Terra, de consequências imprevisíveis.

Diante de tal perspectiva, é razoável e prova de uma atitude responsável reduzir o mais possível a contribuição do homem para o aumento do CO₂ na atmosfera.

(Extrado de *Ciências: Natureza e Vida, 3ª série*, Demétrio Gondak e Eduardo Martins, Editora FTD, São Paulo.)

PESQUISE

- I) O que é uma frente fria? E massa de ar polar?
- II) O que é inversão térmica?

CAPÍTULO 18

TERMODINÂMICA

INTRODUÇÃO

É a parte da Física que estuda as transformações entre calor e trabalho.

Calor e trabalho estão relacionados entre si por apresentarem em comum a mesma modalidade de energia. Vejamos seus conceitos:

Calor: energia *em trânsito* de um corpo para outro em virtude da diferença de temperatura existente entre eles.

Trabalho: energia *em trânsito* entre dois corpos devido à ação de uma força.

As transformações entre calor e trabalho serão estudadas em *sistemas* formados por recipientes contendo, em equilíbrio térmico, uma determinada massa de gás perfeito.

Exemplos:

- ✓ A água contida num recipiente se aquece quando o recipiente é colocado próximo de uma chama.
- ✓ O ar se aquece quando é comprimido e se esfria ao se expandir bruscamente.

ENERGIA INTERNA

A energia interna de um gás perfeito monoatômico é a soma das energias cinéticas médias de todas as suas moléculas.

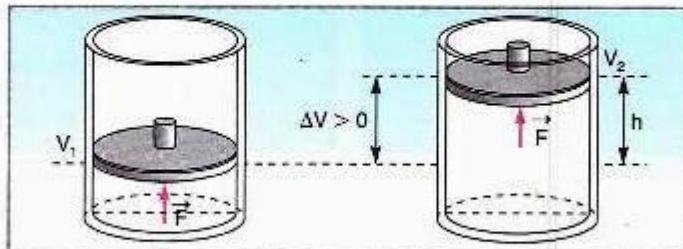
A energia interna de um gás perfeito está diretamente relacionada à sua temperatura.

Quando um sistema (gás) recebe uma determinada quantidade Q de calor, sofre um aumento ΔU de sua energia interna e, consequentemente, um aumento Δt de temperatura. Assim:

- ✓ Se $\Delta t > 0 \rightarrow \Delta U > 0$: energia interna aumenta.
- ✓ Se $\Delta t < 0 \rightarrow \Delta U < 0$: energia interna diminui.
- ✓ Se $\Delta t = 0 \rightarrow \Delta U = 0$: energia interna não varia.

TRABALHO EM UM SISTEMA

Consideremos um gás contido num cilindro provido de êmbolo. Ao se expandir, o gás exerce uma força no êmbolo, que se desloca no sentido da força.



O trabalho dessa força é dado por:

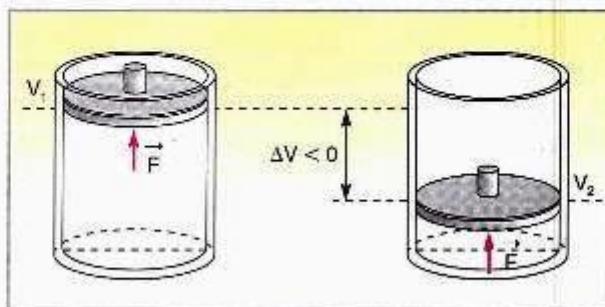
$$\mathcal{W} = F \cdot h \rightarrow \mathcal{W} = p \cdot S \cdot h$$

$$\boxed{\mathcal{W} = p\Delta V \quad \text{ou} \quad \mathcal{W} = p(V_2 - V_1)}$$

Numa expansão, o gás realiza um trabalho positivo sobre o meio exterior.

Numa compressão, o deslocamento do êmbolo tem sentido oposto ao da força que o gás exerce sobre o êmbolo. O trabalho é resistente.

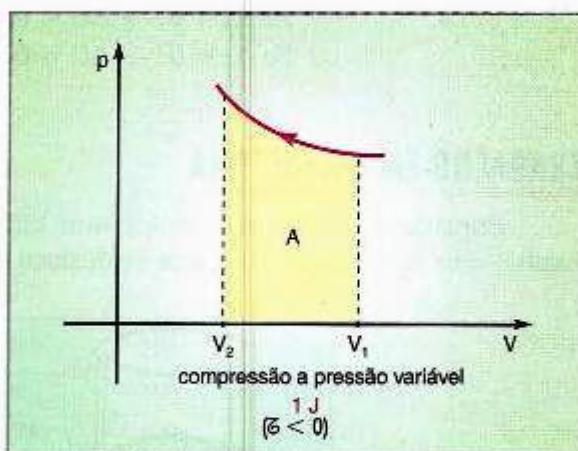
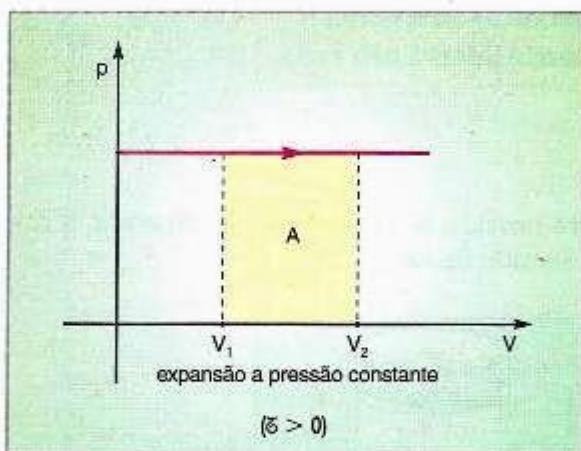
Na compressão, o meio externo realiza um trabalho negativo sobre o gás.



Assim, temos:

- $\Delta V > 0 \rightarrow \mathcal{W} > 0$: o gás realiza trabalho sobre o meio.
- $\Delta V < 0 \rightarrow \mathcal{W} < 0$: o meio realiza trabalho sobre o gás.
- $\Delta V = 0 \rightarrow \mathcal{W} = 0$: o sistema não troca trabalho.

Num diagrama pressão \times volume, o trabalho realizado pela força que o gás exerce sobre o êmbolo é numericamente igual à área sob a curva.



III

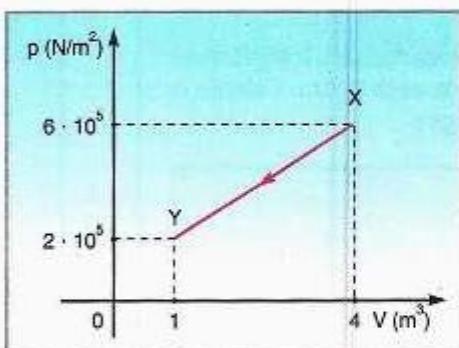
$$\boxed{A \stackrel{?}{=} \mathcal{W}}$$

-5 J

APLICAÇÃO

A17

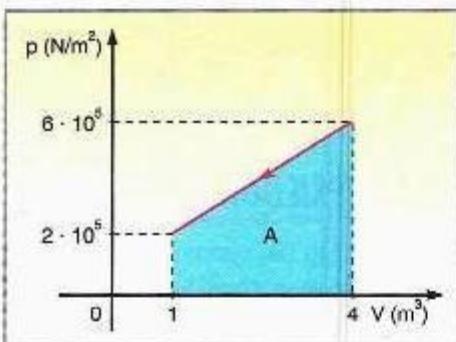
O diagrama mostra a transformação de uma massa gasosa do estado X para o estado Y.



Determine o módulo do trabalho realizado sobre o gás.

Resolução:

A área A da figura é numericamente igual ao trabalho. Logo:



$$\Delta = \bar{\epsilon} \rightarrow \bar{\epsilon} = -\frac{(6 \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^5) \cdot 3}{2} \rightarrow \bar{\epsilon} = -1,2 \cdot 10^6 \text{ J ou } |\bar{\epsilon}| = 1,2 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Resposta: $1,2 \cdot 10^6 \text{ J}$

QUESTÕES

Q113 São feitas três afirmativas sobre os conceitos de temperatura, calor e energia interna.

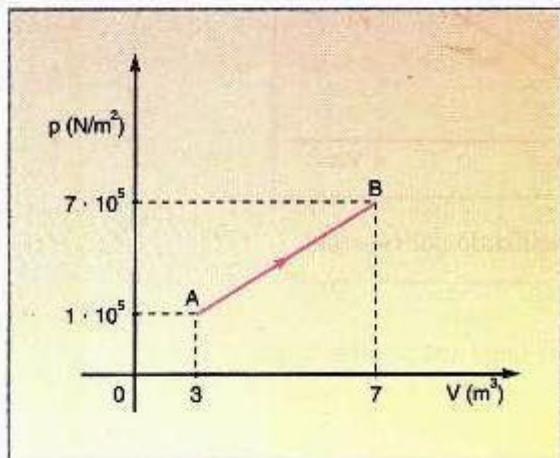
- I) Temperatura é uma medida do calor que um corpo possui.
 - II) Sempre que um corpo recebe calor ele tem sua temperatura aumentada.
 - III) Trabalho e calor são dois processos capazes de variar a energia interna de um corpo.
- Quais delas estão corretas? **III**

Q114 Em um processo à pressão constante de $2,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, um gás aumenta seu volume de $8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ para $13 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$. Calcule o trabalho realizado pelo gás. **1 J**

Q115 Um gás sofre uma transformação isobárica sob pressão de $1\ 000 \text{ N/m}^2$. Determine o trabalho realizado sobre o gás, quando o volume passa de $8\ 000 \text{ cm}^3$ para $3\ 000 \text{ cm}^3$. **-5 J**

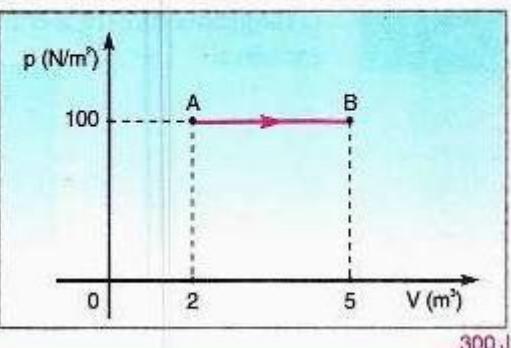
Q116 Numa expansão isobárica, um gás ideal realiza um trabalho mecânico de $1 \cdot 10^4$ J. Sabendo que a pressão é de $2 \cdot 10^5$ N/m² e o volume inicial do gás é 6 m³, determine o volume final do gás após essa expansão. $6,05\text{ m}^3$

Q117 Uma massa gasosa realiza a transformação de A para B indicada pela figura. Calcule o trabalho realizado pelo gás. $1,6 \cdot 10^5$ J

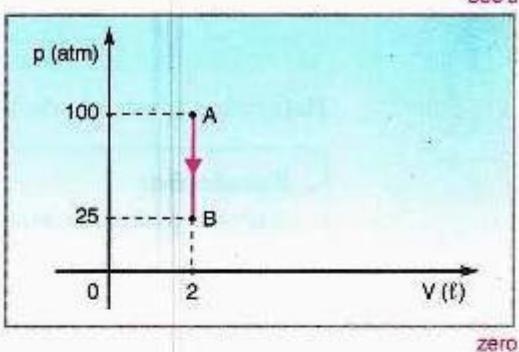


Q118 Um gás ideal sofre transformações conforme indicam os gráficos a seguir. Determine o trabalho realizado em cada um dos casos.

a)



b)



300 J

zero

PRIMEIRO PRINCÍPIO DA TERMODINÂMICA

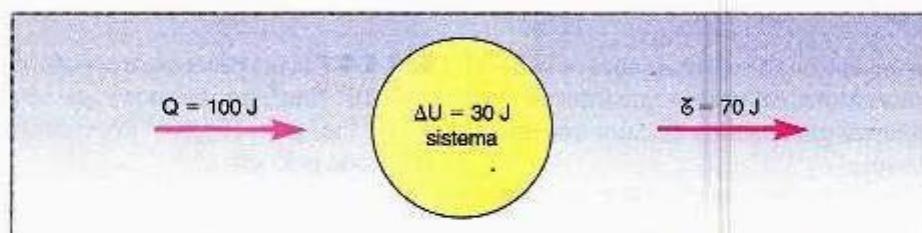
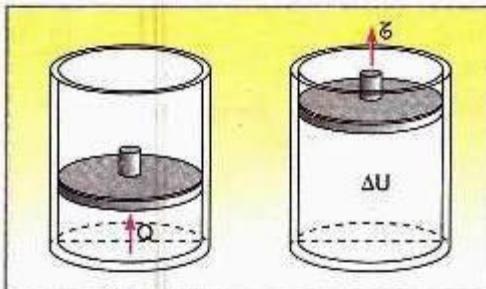
De acordo com o princípio da conservação da energia, a energia não pode ser criada nem destruída, mas somente transformada de uma espécie em outra. O primeiro princípio da Termodinâmica estabelece uma equivalência entre o trabalho e o calor trocados entre um sistema e seu meio exterior.

Consideremos um sistema recebendo uma certa quantidade de calor Q , por exemplo, de 100 J.

Suponhamos que, desse calor recebido, 70 J sejam usados para realizar um trabalho \mathcal{E} . Para onde foram os 30 J restantes?

Esses 30 J ficaram armazenados pelo sistema, aumentando sua energia interna de 30 J.

Esquematicamente, temos:



A correspondência entre essas grandezas é obtida fazendo-se o balanço energético entre calor, trabalho e energia interna.

Portanto, temos:

$$Q = \zeta + \Delta U \quad \text{ou} \quad \Delta U = Q - \zeta$$

Essa expressão representa analiticamente o *primeiro princípio da Termodinâmica*, cujo enunciado pode ser:

A variação da energia interna de um sistema é igual à diferença entre o calor e o trabalho trocados pelo sistema com o meio exterior.

BALANÇO ENERGÉTICO

Para aplicar o primeiro princípio, que envolve as grandezas de calor, trabalho e energia interna, é preciso fazer um balanço energético, isto é, saber quando essas grandezas assumem valores positivos, negativos ou nulos.

Temos as seguintes possibilidades:

- 1º) gás
 - recebe calor $\rightarrow Q > 0$
 - cede calor $\rightarrow Q < 0$
 - não troca calor $\rightarrow Q = 0$ (transformação adiabática, $\zeta = -\Delta U$)
- 2º) gás
 - realiza trabalho $\rightarrow \zeta > 0$ (volume aumenta)
 - recebe trabalho $\rightarrow \zeta < 0$ (volume diminui)
 - não realiza nem recebe trabalho $\rightarrow \zeta = 0$ (volume constante, transformação isométrica, $Q = \Delta U$)
- 3º) gás
 - aumenta a energia interna $\rightarrow \Delta U > 0$ (temperatura aumenta)
 - diminui a energia interna $\rightarrow \Delta U < 0$ (temperatura diminui)
 - não varia a energia interna $\rightarrow \Delta U = 0$ (temperatura constante, transformação isotérmica, $Q = \zeta$)

APLICAÇÃO

A 18

Um sistema gasoso recebe do meio externo 200 cal em forma de calor. Sabendo que 1 cal = 4,2 J, determine:

- o trabalho trocado com o meio, numa transformação isotérmica
- a variação da energia interna numa transformação isométrica

Resolução:

- Numa expansão isotérmica, a temperatura permanece constante ($\Delta U = 0$); o gás, ao receber calor, aumenta seu volume e realiza um trabalho positivo. Transformando a quantidade de calor em joules, temos:
$$Q = 200 \text{ cal} = 200 \cdot 4,2 = 840 \text{ J}$$

Logo:

$$Q = \zeta + \Delta U \rightarrow 840 = \zeta + 0 \rightarrow \zeta = 840 \text{ J}$$

- b) Numa transformação isométrica, o volume permanece constante ($\Delta U = 0$ e $\mathcal{Q} = 0$); o calor recebido é transformado em variação da energia interna.
- $$Q = \mathcal{Q} + \Delta U \rightarrow 840 = 0 + \Delta U \rightarrow \Delta U = 840 \text{ J}$$

Respostas: a) 840 J; b) 840 J

A19

Uma massa de gás ocupa volume de 4 l sob pressão de $2 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$. Após receber 500 J de calor, mantendo constante a pressão, o volume passa a 10 l . Determine a variação da energia interna do gás.

Resolução:

Dados: $V_1 = 4 \text{ l} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$, $V_2 = 10 \text{ l} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$, $p = 2 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ e $Q = 500 \text{ J}$

Como a transformação é isobárica, temos:

$$\mathcal{Q} = p(V_2 - V_1) \rightarrow \mathcal{Q} = 2 \cdot 10^6 (10 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-3}) \rightarrow \mathcal{Q} = 12\,000 \text{ J}$$

Pelo primeiro princípio da Termodinâmica:

$$Q = \mathcal{Q} + \Delta U \rightarrow 500 = 12\,000 + \Delta U \rightarrow \Delta U = -11\,500 \text{ J}$$

Resposta: $-11\,500 \text{ J}$

QUESTÕES

Q119 Numa transformação isobárica, um gás realiza o trabalho de 400 J, quando recebe do meio externo 500 J. Determine a variação de energia interna do gás nessa transformação. **100 J**

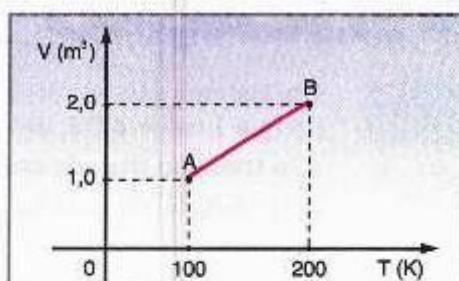
Q120 (Uni-Rio) Um gás ideal é confinado num cilindro, por um pistão. O pistão é empurrado lentamente para baixo, de tal maneira que a temperatura do gás permaneça em 20°C . Durante a compressão, o trabalho realizado sobre o gás foi de 750 J. Calcule:

- a variação da energia interna do gás **zero**
- a quantidade de calor liberada no processo **-750 J**

Q121 (Unesp) Transfere-se calor a um sistema, num total de 200 cal. Verifica-se que o sistema se expande, realizando um trabalho de 150 J, e que sua energia interna aumenta.

- Considerando $1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$, calcule a quantidade de energia transferida ao sistema, em joules. **800 J**
- Utilizando a primeira lei da termodinâmica, calcule a variação da energia interna desse sistema. **650 J**

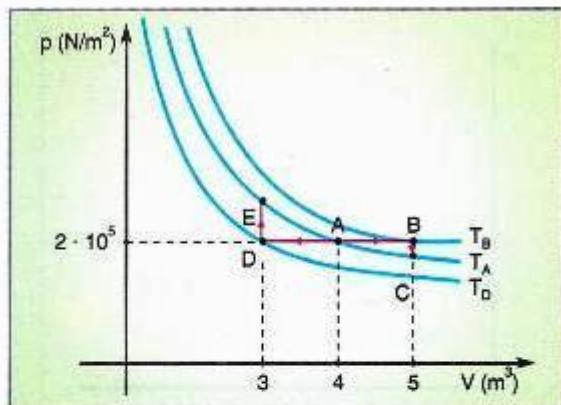
Q122 (UFES) A figura mostra a variação do volume de um gás ideal, à pressão constante de 4 N/m^2 , em função da temperatura. Sabe-se que, durante a transformação de estado de *A* a *B*, o gás recebeu uma quantidade de calor igual a 20 J. Qual a variação da energia interna do gás entre os estados *A* e *B*? **16 J**



Q123 (IME-RJ) Um corpo recebe 40 J de calor de um outro corpo e rejeita 10 J para um ambiente. Simultaneamente, o corpo realiza um trabalho de 200 J. Estabeleça, baseado na primeira lei da termodinâmica, o que acontece com a temperatura do corpo em estudo. **A temperatura diminui.**

Q124 Uma bomba de potência de 200 W compece um gás contido num recipiente durante 30 s. Nesse tempo o gás dispersa para o ambiente externo uma quantidade de calor de 400 cal. De quanto varia a energia interna do gás? Adote 1 cal = 4,18 J. **4328 J**

Q125 (UFCE) Certa mostra de gás ideal está inicialmente no estado *A*, com coordenadas termodinâmicas $p_A = 2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, $V_A = 4 \text{ m}^3$ e $T_A = 300 \text{ K}$. A figura abaixo é um diagrama $p \times V$ que mostra o estado *A* e sua evolução, seja para o estado final *C*, via estado *B*, seja para o estado final *E*, via estado *D*. As curvas marcadas T_A , T_B e T_D são isotermas e todos os estados representados estão em equilíbrio termodinâmico.

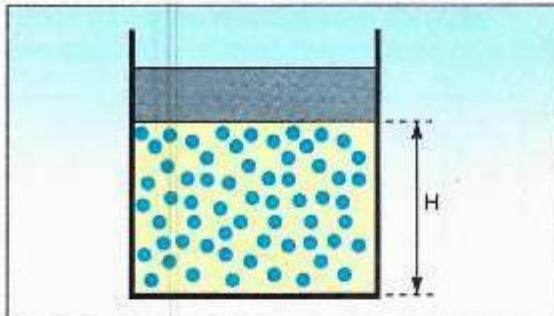


Determine:

- a) as temperaturas do gás nos estados *B*, *C*, *D* e *E* **375 K, 300 K, 225 K, 300 K**

- b) o trabalho realizado pelo gás no processo *A* → *B* → *C* **$2 \cdot 10^6 \text{ J}$**
 c) o trabalho realizado sobre o gás no processo *A* → *D* → *E* **$-2 \cdot 10^6 \text{ J}$**
 d) a variação da energia interna em cada um dos processos acima mencionados *A* → *B* → *C*: zero
A → *D* → *E*: zero

Q126 (UERJ) Um cilindro, de área de seção reta uniforme igual a $0,10 \text{ m}^2$, dotado de um êmbolo que pode se mover sem atrito, contém um gás ideal em equilíbrio. O êmbolo se encontra a uma altura $H = 0,50 \text{ m}$ acima da base do cilindro, como mostra a figura:



O gás sofre uma compressão isobárica, sendo realizado sobre ele um trabalho de $1,0 \cdot 10^3 \text{ J}$. Em consequência, o gás cede ao meio externo uma quantidade de calor correspondente a $1,5 \cdot 10^3 \text{ J}$. No final do processo, o sistema entra em equilíbrio quando o êmbolo atinge uma altura de $0,40 \text{ m}$ acima da base do cilindro. Calcule:

- a) a variação da energia interna sofrida pelo gás
 b) a pressão do gás no interior do cilindro
a) $-0,5 \cdot 10^3 \text{ J}$ b) $1,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

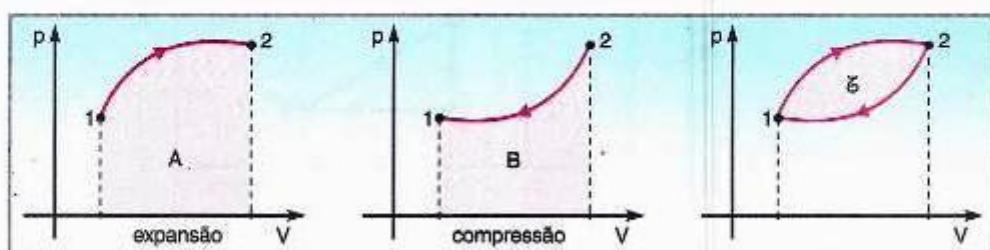
TRANSFORMAÇÃO CÍCLICA

Denomina-se transformação cíclica, ou ciclo de um sistema, o conjunto de transformações sofridas pelo sistema de tal forma que seus estados final e inicial são iguais.

Como a temperatura final é igual à temperatura inicial, a energia interna do sistema não varia ($\Delta U = 0$), havendo uma igualdade entre o calor e o trabalho trocados em cada ciclo.

Nessa transformação, por exemplo, o sistema parte do estado 1 e atinge o estado 2 pelo caminho *A*, retornando, então, ao estado inicial por um caminho diferente, *B*.

O trabalho realizado pelo sistema para passar do estado 1 para o estado 2 é dado pela área abaixada curva *A* (área *A*).



O trabalho recebido pelo sistema para voltar ao estado inicial é dado pela área abaixo da curva B (área B).

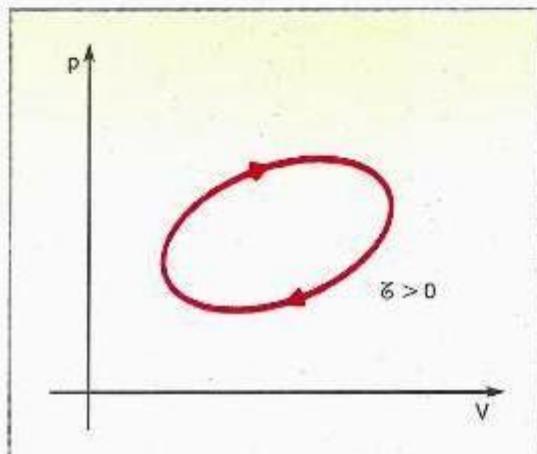
O trabalho total realizado para o sistema percorrer o ciclo completo é dado pela soma algébrica dos trabalhos parciais.

Como: $\zeta_{\text{total}} = \zeta_{1 \rightarrow 2} + \zeta_{2 \rightarrow 1}$
 $\zeta_{1 \rightarrow 2} > 0$ e $\zeta_{2 \rightarrow 1} < 0$

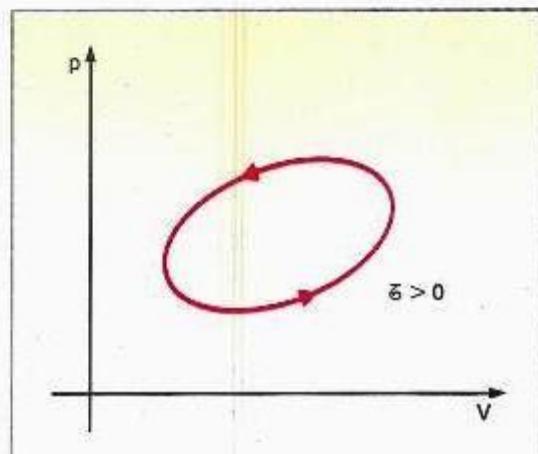
concluímos que o trabalho total, numa transformação cíclica, é dado pela diferença das áreas, ou seja, pela área interna do ciclo:

$$\zeta = A - B$$

Quando o ciclo é percorrido no sentido horário, o sistema recebe calor e realiza trabalho; e no sentido anti-horário o sistema cede calor e recebe trabalho.



Sistema realiza trabalho.

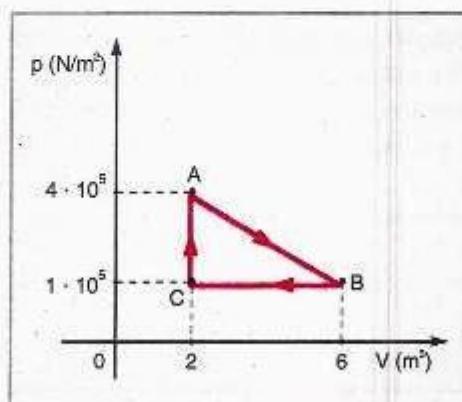


Sistema recebe trabalho.

APLICAÇÃO

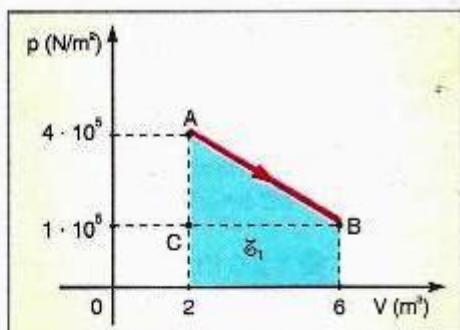
A 20

Certa quantidade de gás sofre um ciclo de transformações, representado no diagrama. Calcule o trabalho realizado pelo gás ao descrever o ciclo ABCA, em joules, e o calor trocado entre o gás e o meio, em calorias. Use 1 cal = 4,2 J.



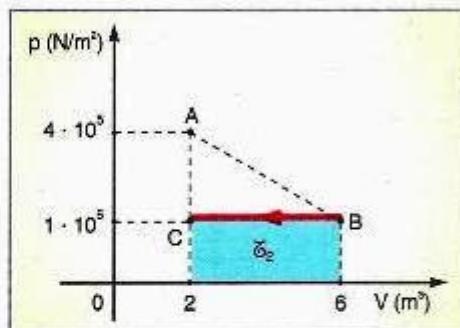
Resolução:

Na transformação AB, com expansão de volume, o trabalho é:



$$\xi_1 = \frac{(4 \cdot 10^5 + 1 \cdot 10^5)4}{2} = 10 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Na transformação BC, com contração de volume, o trabalho é:



$$\xi_2 = -1 \cdot 10^5 \cdot 4 = -4 \cdot 10^5 \text{ J}$$

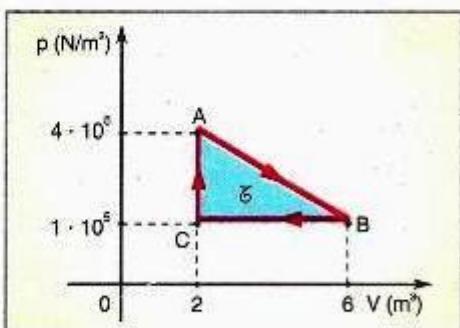
Na transformação CA, isométrica ($\Delta V = 0$), o trabalho é:

$$\xi_3 = p \cdot \Delta V \rightarrow \xi_3 = 0$$

O trabalho total na transformação ABCA é:

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 + \xi_3 \rightarrow \xi = 10 \cdot 10^5 - 4 \cdot 10^5 + 0 \rightarrow \xi = 6 \cdot 10^5 \text{ J}$$

O trabalho total também pode ser obtido pela área interna do ciclo (área do triângulo ABC).



$$\xi = \frac{4 \cdot 3 \cdot 10^5}{2} = 6 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Como é um ciclo ($\Delta U = 0$), logo:

$$Q = \xi + \Delta U \rightarrow Q = 6 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Em calorias, temos:

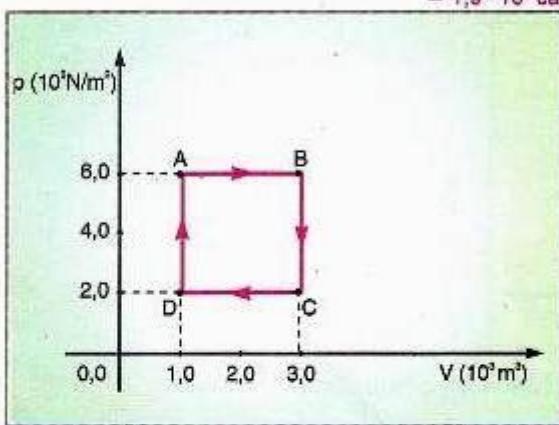
$$Q \rightarrow \frac{6 \cdot 10^5}{4,2} \rightarrow Q \approx 1,43 \cdot 10^5 \text{ cal}$$

Resposta: $6 \cdot 10^5 \text{ J} \text{ e } 1,43 \cdot 10^5 \text{ cal}$

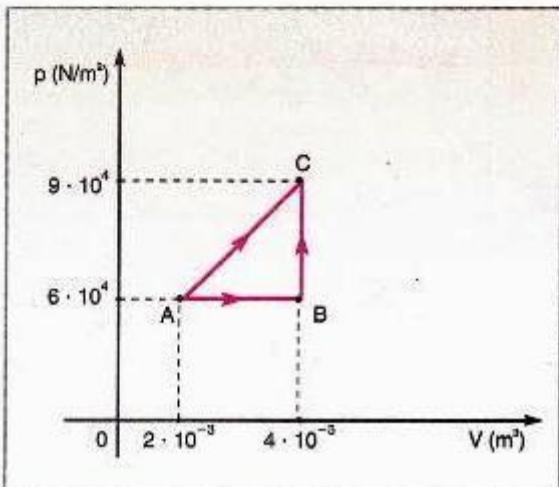
QUESTÕES

Q 127 (ENCE-RJ) Um gás ideal inicialmente sob pressão de $6,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ e ocupando um volume de $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ sofre quatro transformações, duas isobáricas e duas isométricas. Iniciando no estado A, passa pelos estados B, C e D, retornando finalmente ao estado inicial, A, como mostra o esquema. Considerando o ciclo ABCDA, determine, em joules:

- o trabalho realizado pelo gás $8,0 \cdot 10^8 \text{ J}$
- a quantidade de calor trocada com o ambiente $\approx 1,9 \cdot 10^6 \text{ cal}$



Q 128 Um gás perfeito está contido em um cilindro fechado com um pistão móvel. Esse sistema pode ser levado de um estado inicial, A, até um estado final, C, seguindo dois processos distintos, AC e ABC. No processo AC o sistema recebe 300 J de calor e no processo ABC, recebe 270 J.

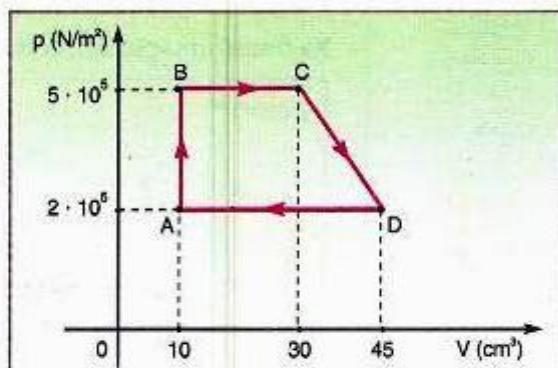


Calcule:

- o trabalho realizado pelo sistema nos dois processos **150 J e 120 J**
- a variação da energia interna do sistema ao ser levado de A para C e para ABC

150 J e 150 J

Q 129 Um gás ideal sofre a transformação cíclica ABCDA, conforme o gráfico.



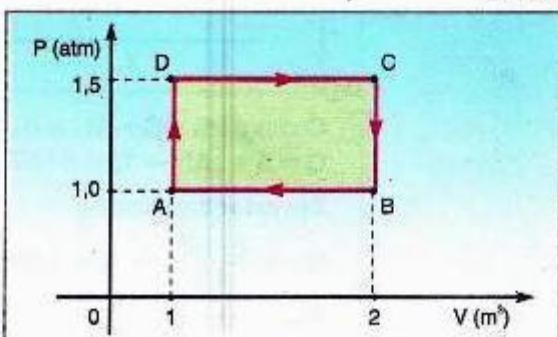
Determine:

- o trabalho realizado pelo gás em cada uma das etapas do ciclo **zero; 10 J; 5,25 J e -7 J**
- o trabalho total realizado pelo gás no ciclo **8,25 J**
- a quantidade de calor, em calorias, trocada com o ambiente e a variação da energia interna no ciclo (Adote 1 cal = 4,2 J.) **= 1,96 cal e zero**

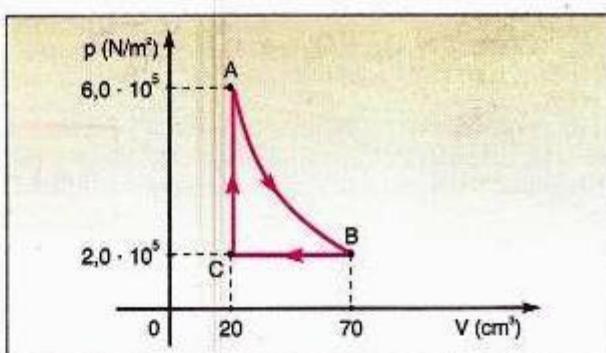
Q 130 (Unicamp-SP) Uma máquina térmica industrial utiliza um gás ideal, cujo ciclo de trabalho é mostrado na figura. A temperatura no ponto A é 400 K. Utilize $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ N/m}^2$.

- Qual é a temperatura no ponto C? **1 200 K**
- Calcule a quantidade de calor trocada pelo gás com o ambiente ao longo de um ciclo.

5 * 10^4 J



- Q131** (UFRPE) Um gás ideal absorve 64 J de calor ao se expandir isotermicamente, de um volume inicial de 20 cm^3 , a $2,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, até um volume final de 70 cm^3 , a $2,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ (trecho AB do diagrama). Qual o trabalho total, em joules, produzido pelo gás durante o ciclo ABCA? 54 J

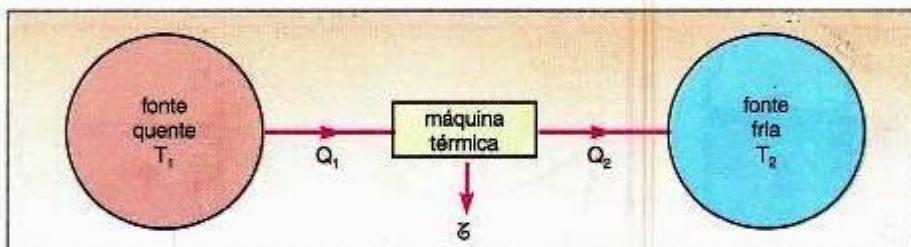


SEGUNDO PRINCÍPIO DA TERMODINÂMICA

O segundo princípio da Termodinâmica estabelece as condições em que é possível a transformação de calor em trabalho, completando, dessa forma, o primeiro princípio, que trata apenas da equivalência entre calor e trabalho.

A conversão de calor em energia mecânica é conseguida por meio de uma máquina térmica. Como exemplo de máquina térmica podemos citar as turbinas a vapor, as turbinas a querosene que impulsionam os aviões a jato, os motores de explosão que queimam gasolina, álcool ou diesel, ou mesmo um reator termonuclear de uma usina atômica.

Basicamente, as máquinas térmicas funcionam seguindo um mesmo esquema.



A máquina térmica operando em ciclos retira uma determinada quantidade de calor da fonte quente, transformando parte desse calor em trabalho. A parte restante é rejeitada à fonte fria.

Numa locomotiva a vapor, a caldeira faz o papel da fonte quente de onde, a cada ciclo, é retirada a quantidade de calor Q_1 . Uma parte desse calor é transformada em trabalho mecânico ϵ (energia útil da locomotiva). A parte restante de calor, Q_2 (não aproveitada), é rejeitada para o meio ambiente, que faz o papel da fonte fria.

O trabalho realizado pela máquina térmica é igual à diferença entre o calor recebido (retirado) e o calor rejeitado.

$$\epsilon = Q_1 - Q_2$$

O rendimento de uma máquina térmica é definido como a razão entre o trabalho que dela pode ser aproveitado e a quantidade de calor recebido da fonte quente.

$$\eta = \frac{\epsilon}{Q_1}$$

$$\text{Como } t = Q_1 - Q_2 \rightarrow \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

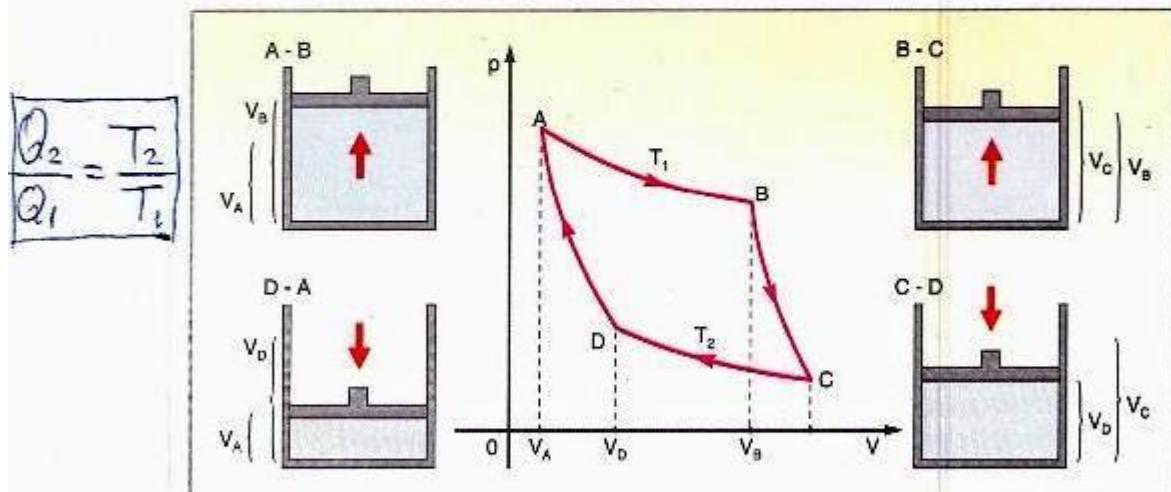
Em que Q_1 e Q_2 estão em módulo.

Como nem todo o calor retirado da fonte quente é transformado em trabalho, o rendimento de uma máquina térmica nunca pode ser 100% ($\eta = 1$); daí o enunciado de Kelvin e Planck para o *segundo princípio da Termodinâmica*.

É impossível construir uma máquina térmica que, operando em ciclo, transforme em trabalho todo o calor recebido de uma fonte.

CICLO DE CARNOT

É constituído por uma expansão isotérmica (AB) seguida de uma adiabática (BC) e por uma compressão isotérmica (CD) seguida de uma adiabática (DA).



O calor provoca a expansão de um gás aquecido e pode ser transformado em trabalho mecânico.

Observe que:

- ✓ na expansão isotérmica AB o gás retira calor ($Q_1 = Q_{AB}$) da fonte quente
- ✓ na expansão adiabática BC o gás não troca calor ($Q_{BC} = 0$)
- ✓ na compressão isotérmica CD o gás rejeita calor ($Q_2 = Q_{CD}$) para a fonte fria
- ✓ na compressão adiabática DA o gás não troca calor ($Q_{DA} = 0$)

Uma máquina térmica, que opera segundo o ciclo de Carnot, é considerada *ideal* por ter o maior rendimento entre as máquinas térmicas, embora ainda seja menor que 1 (100%).

O teorema de Carnot divide-se em duas partes:

1^a parte: a máquina de Carnot (aquele que opera segundo o ciclo de Carnot) tem rendimento maior que qualquer outro tipo de máquina, operando entre as mesmas fontes (mesmas temperaturas).

2^a parte: todas as máquinas de Carnot têm o mesmo rendimento, desde que operem entre as mesmas fontes (mesmas temperaturas).

Em particular, foi demonstrado para o ciclo de Carnot que: as quantidades de calor trocadas com as fontes são proporcionais às respectivas temperaturas absolutas.

O rendimento η dessa máquina é dado pelo quociente entre a energia que se aproveita e a energia total recebida; logo:

$$\eta = \frac{\xi}{Q_1} \rightarrow \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \rightarrow \boxed{\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}}$$

Deve-se notar que é impossível obter rendimento de uma máquina térmica igual a 1 (100%), porque o calor cedido à fonte fria nunca é zero.

Rendimento de Carnot $\rightarrow \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

APLICAÇÃO

A 21

Uma máquina térmica de Carnot recebe de uma fonte quente 1 000 cal por ciclo. Sendo as temperaturas das fontes quente e fria, respectivamente, 127 °C e 427 °C, determine:

- o rendimento da máquina
- o trabalho, em joules, realizado pela máquina em cada ciclo
- a quantidade de calor, em joules, rejeitada para a fonte fria

Use 1 cal = 4,2 J.

Resolução:

a) Dados: $\begin{cases} T_1 = 427 + 273 = 700 \text{ K} \\ T_2 = 127 + 273 = 400 \text{ K} \\ Q_1 = 1\,000 \text{ cal} = 1\,000 \cdot 4,2 = 4\,200 \text{ J} \end{cases}$

O rendimento da máquina é dado por:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \rightarrow \eta = 1 - \frac{400}{700} \rightarrow \eta = 0,43 \text{ ou } \eta = 43\%$$

b) O trabalho realizado em cada ciclo:

$$\eta = \frac{\xi}{Q_1} \rightarrow 0,43 = \frac{\xi}{4\,200} \rightarrow \xi = 1\,806 \text{ J}$$

c) A quantidade de calor rejeitada para a fonte fria é dada por:

$$\xi = Q_1 - Q_2 \rightarrow 1\,806 = 4\,200 - Q_2 \rightarrow Q_2 = 2\,394 \text{ J}$$

Respostas: a) 43%; b) 1 806 J; c) 2 394 J

QUESTÕES

Q 132 Uma máquina térmica recebe 1 000 cal de uma fonte quente e perde 800 cal para uma fonte fria em 2 s. Sabendo que 1 cal = 4,18 J, determine a potência útil da máquina. **418 W**

Q 133 Quando calculamos o trabalho realizado ou recebido por um sistema encontramos um número, que poderá ser positivo, negativo ou nulo. Qual a interpretação física desse resultado?

resposta no final do livro

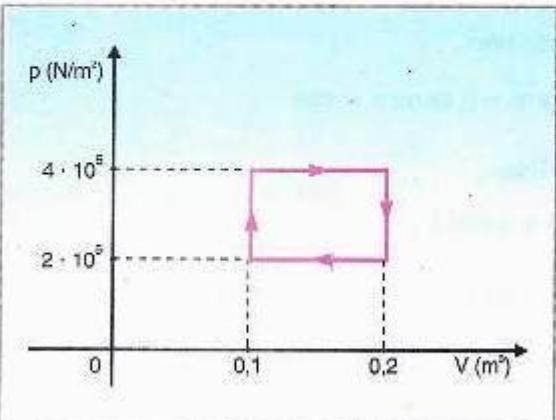
Q 134 Uma máquina térmica funciona realizando o ciclo de Carnot entre as temperaturas 800 K e 400 K. Em cada ciclo a máquina recebe 1 000 J de calor da fonte quente.

- Qual o calor rejeitado em cada ciclo? **500 J**
- Qual o trabalho realizado pela máquina em cada ciclo? **500 J**
- Calcule o rendimento da máquina. **50%**

Q 135 (IME-RJ) Uma máquina térmica, que opera num ciclo termodinâmico, recebe 600 J de uma fonte quente a 527 °C e rejeita 300 J para uma fonte fria. Determine a temperatura da fonte fria para que o rendimento da máquina seja 80% do rendimento do ciclo de Carnot associado. **207 °C**

Q 136 O rendimento de certa máquina térmica de Carnot é de 25% e a fonte fria é a própria atmosfera a 27 °C. Determine a temperatura da fonte quente. **127 °C**

Q 137 Calcule o rendimento de uma máquina térmica que segue o ciclo descrito pelo diagrama.

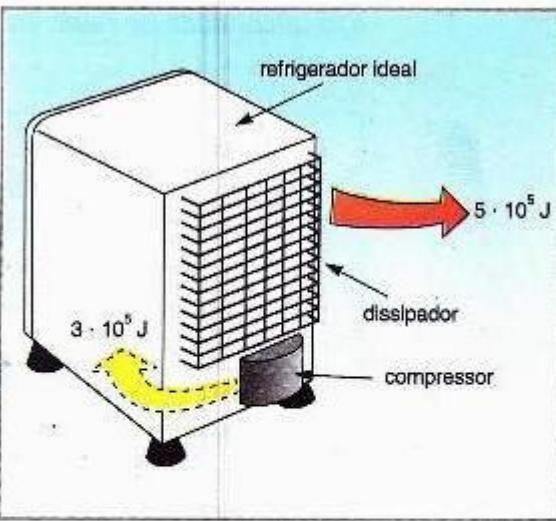


Sabendo que ela absorve $8 \cdot 10^4$ J de energia térmica por ciclo, calcule o rendimento dessa máquina. **25%**

Q 138 (PUC-SP) Um inventor afirmou ter construído uma máquina térmica cujo desempenho atinge 90% daquele de uma máquina de Carnot. Sua máquina, que trabalha entre as temperaturas de 27 °C e 327 °C, recebe, durante certo período, $1,2 \cdot 10^4$ cal e fornece, simultaneamente, um trabalho útil de $1,0 \cdot 10^4$ J.

- A afirmação do inventor é verdadeira? Justifique. Dado: 1 cal = 4,186 J. resposta no final do livro
- Se o trabalho útil da máquina térmica fosse exercido sobre o êmbolo móvel de uma ampola contendo um gás ideal, à pressão de 200 N/m², qual seria a variação de volume sofrida pelo gás, caso a transformação fosse isobárica? **50 m³**

Q 139 (UFV-SP) Em um refrigerador ideal, o dissipador de calor (serpentina traseira) transferiu $5,0 \cdot 10^6$ J de energia térmica para o meio ambiente, enquanto o compressor produziu $3,0 \cdot 10^6$ J de trabalho sobre o fluido refrigerante.



Calcule:

- a quantidade de calor retirada da câmara interna **$8,0 \cdot 10^6$ J**
- a temperatura da câmara interna, supondo que a temperatura ambiente fosse 30 °C **211,8 °C**

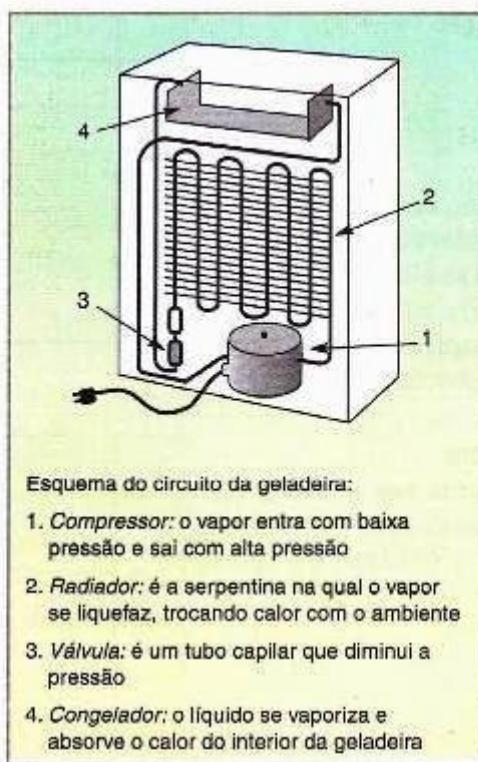
VOCÊ SABIA?

O CICLO DA GELADEIRA

A refrigeração consiste basicamente em provocar, por meio de processos de troca de calor, o resfriamento do interior de uma geladeira. Desse modo, a geladeira funciona como bomba de calor, transferindo-o para o ambiente.

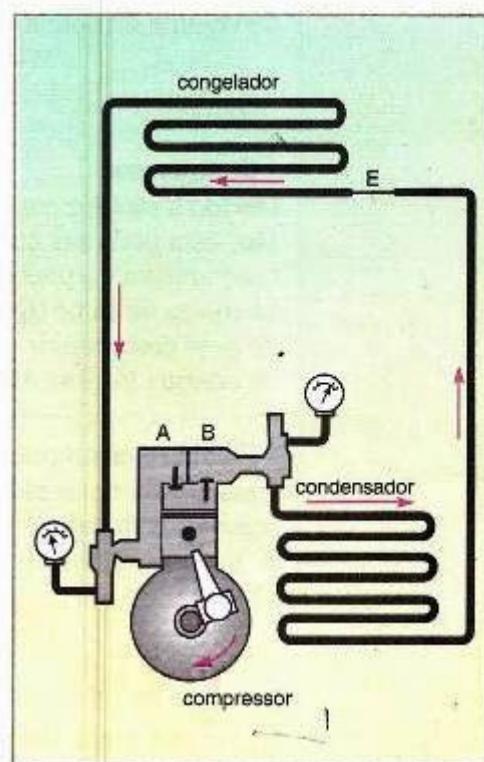
Esse processo não é espontâneo, pois a troca de calor ocorre do mais frio (interior da geladeira) para o mais quente (exterior da geladeira), que é o oposto da troca espontânea.

Na geladeira, o trabalho é realizado por um motor que, em geral, funciona com energia elétrica.



Esquema do circuito da geladeira:

1. *Compressor*: o vapor entra com baixa pressão e sai com alta pressão
2. *Radiador*: é a serpentina na qual o vapor se liquefaz, trocando calor com o ambiente
3. *Válvula*: é um tubo capilar que diminui a pressão
4. *Congelador*: o líquido se vaporiza e absorve o calor do interior da geladeira



A substância de operação dessa máquina é o *freon* (CCl_2F_2), que circula alternadamente como líquido e como gás e possui alto calor latente de vaporização.

O ciclo inicia-se quando o fluido de refrigeração na fase gasosa entra através da válvula A no compressor e é comprimido. À medida que o êmbolo sobe, a válvula A fecha-se e a B abre-se, e o gás entra numa região de alta pressão, o condensador (radiador) onde se liquefaz.

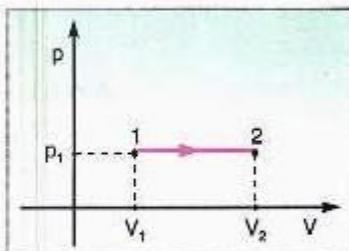
Nessa mudança de fase liberta-se calor para o exterior (ambiente).

Do condensador o fluido de refrigeração entra pela válvula E para uma região de baixa pressão, o vaporizador (congelador).

O quadro a seguir mostra as transformações descritas.

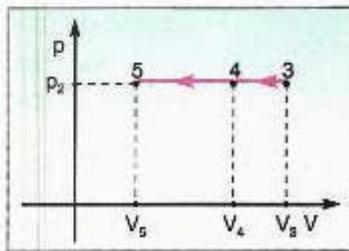
• Congelador

O freon troca calor com o interior da geladeira, à pressão e temperatura constantes, expandindo-se à medida que se vaporiza ($1 \rightarrow 2$).



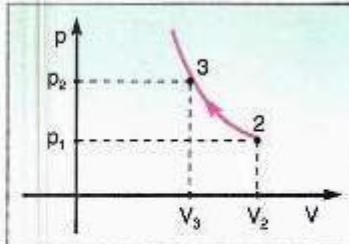
• Radiador

Inicialmente ocorre uma diminuição de temperatura à pressão constante ($3 \rightarrow 4$), seguida de uma diminuição isobárica e isotérmica do volume de condensação ($4 \rightarrow 3$).



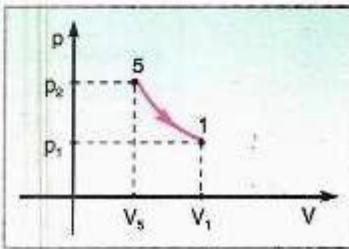
• Compressor

Devido à rapidez com que ocorre a compressão, esta pode ser considerada adiabática. A temperatura e a pressão se elevam. Como não há trocas de calor ($Q = 0$), o trabalho realizado pelo compressor é equivalente à variação de energia interna da substância ($2 \rightarrow 3$).

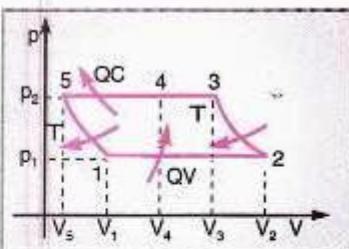


• Válvula descompressora

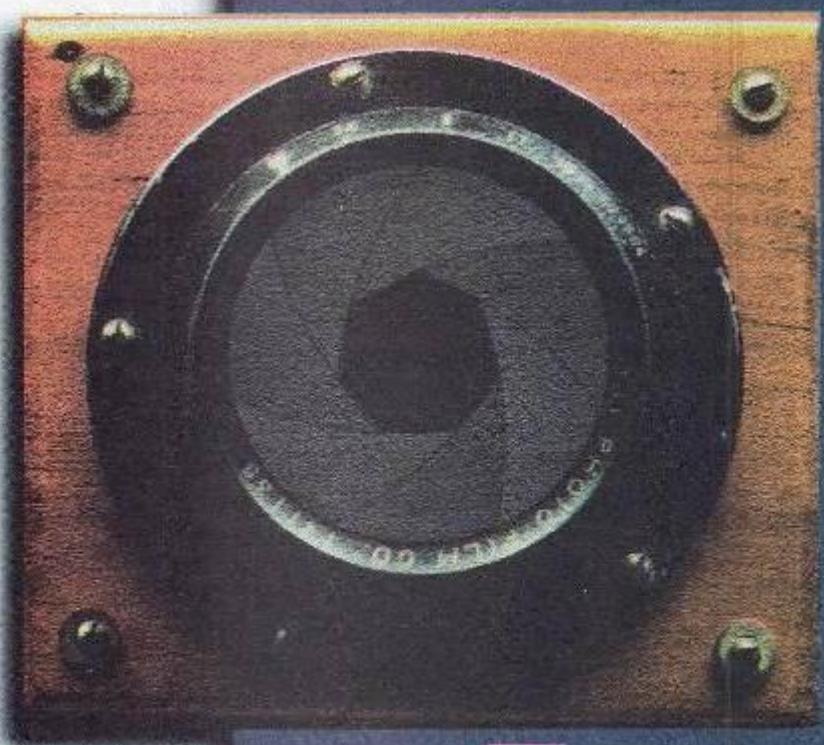
Essa descompressão pode ser considerada adiabática devido à rapidez com que ocorre. A pressão diminui e o volume aumenta ($5 \rightarrow 1$).



Reunindo essas transformações num único gráfico, obtemos o diagrama $p \times V$ para o ciclo da geladeira.



UNDADE VIII



Óptica
Geométrica

CAPÍTULO 19

PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS

TEORIA, SEUS CRIADORES, SUA PRÁTICA

O que é a luz?

Muitos sábios de todas as épocas tentaram responder a essa questão.

Os gregos tinham a idéia de que a luz emanava dos objetos e, ao atingir o olho do observador, permitia vê-los.

Entretanto, coube a Isaac Newton (1643-1727) formular a primeira hipótese sobre a natureza da luz. Sua hipótese se baseava no fato de que a luz era constituída por corpúsculos que saíam do corpo luminoso e que, ao atingirem o olho, permitiam a observação dos objetos. Com essa teoria corpuscular, Newton explicava os fenômenos luminosos de reflexão e refração.

Nessa mesma época, viveu Christiaan Huygens (1629-1695), que apresentou a hipótese de a luz ser um fenômeno ondulatório — hipótese essa que demorou muitos anos para ser aceita devido ao prestígio de que Newton gozava perante a comunidade científica da época. Coube a Fizeau (1819-1896) e a Foucault (1819-1868) mostrar a validade da teoria de Huygens, considerada verdade definitiva até o final do século XIX. Porém, em 1887, Hertz (1857-1894) descobriu o efeito fotoelétrico, isto é, que um corpo carregado eletricamente, ao ser iluminado, desprende cargas elétricas negativas. Esse fenômeno só se explica se considerarmos a luz como de natureza corpuscular, o que foi explicado por Albert Einstein em 1905. É com essa duplidade de comportamento da luz que a Física convive hoje.

Os princípios e as leis da Óptica Geométrica formulados por Descartes (1596-1650) permitem compreender a formação de imagens em espelhos planos, esféricos e em lentes; o funcionamento da lupa, da luneta, da máquina fotográfica, do microscópio etc.

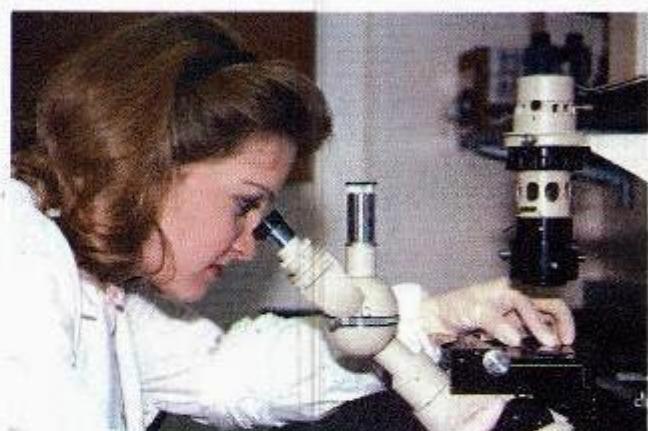
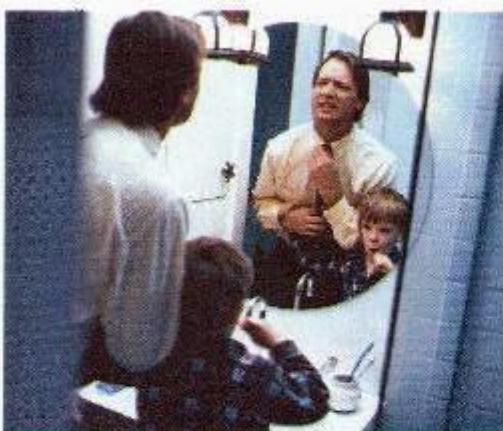


Foto: PhotoDisc

Com o estudo das reflexões luminosas você poderá compreender a fibra óptica, que revolucionou as telecomunicações e as técnicas de microcirurgia com raios *laser*.

Quando estudarmos a refração luminosa, será possível compreender o “efeito estufa”, que tanto preocupa o mundo atualmente, e também o porquê das cores do arco-íris.

Como você vê, as leis e os princípios da Óptica Geométrica vão levá-lo a adquirir novos conhecimentos.

A DIVISÃO DA ÓPTICA

A Óptica tem por objetivo o estudo das propriedades da luz, isto é, como ela é produzida, propagada, detectada e medida.

Para fins de estudo, a Óptica é dividida em duas partes: a Geométrica e a Física.

ÓPTICA	Geométrica	Estuda os fenômenos luminosos sem considerar a natureza da luz.
	Física	Estuda os fenômenos luminosos cuja explicação depende das teorias relativas à natureza da luz.

A Óptica Geométrica dispensa o conhecimento da natureza íntima da luz, baseando-se na sua propagação retilínea e nas leis da reflexão e da refração. Esta parte estuda os fenômenos ópticos baseados na concepção de raios luminosos, com suas aplicações em lentes, espelhos, lunetas, telescópios, projetores, prismas etc.

A Óptica Física estuda precisamente os fenômenos ópticos em que a natureza da luz exerce papel predominante, como a polarização, a difração, a interferência, os espectros etc.

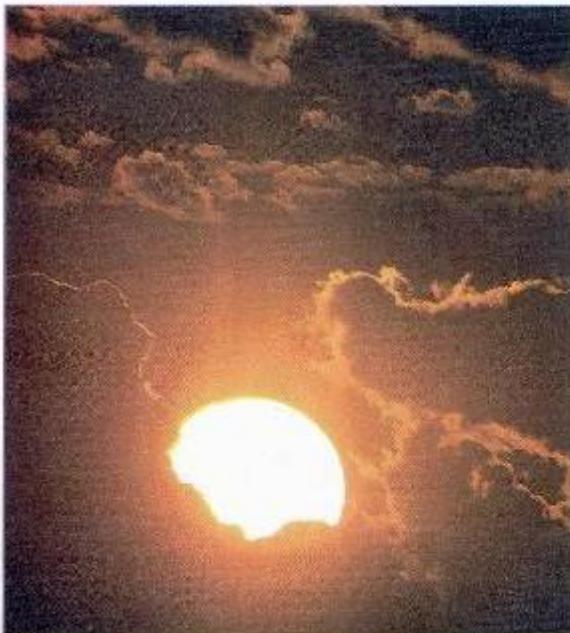
CORPO LUMINOSO E ILUMINADO

Denomina-se *luz* ao agente físico responsável pelas sensações visuais.

Todos os corpos visíveis são fontes de luz e podem classificar-se em:

1º) *Fonte de luz primária ou corpo luminoso*: é aquela que emite luz própria. Como exemplos, podemos citar o Sol, a chama de uma vela, um metal superaquecido etc.

Algumas dessas fontes de luz primária são permanentes, como no caso do Sol, enquanto outras são temporárias, como a chama da vela e o metal superaquecido.



Fotos: Photo 1000/55

2º) *Fonte de luz secundária ou corpo iluminado*: é aquela que reflete a luz recebida de outros corpos. Como exemplo, podemos citar a Lua, pois reflete a luz que recebe do Sol.

No instante em que você acende uma lâmpada num ambiente escuro, os objetos nele contidos passam a receber a luz e também a refleti-la, permitindo que sejam vistos. Portanto, são fontes de luz secundária: a mesa, o vaso, a parede etc.

Se no fenômeno em estudo as dimensões da fonte forem desprezíveis, ela será chamada *fonte pontual*; em caso contrário será denominada *fonte extensa*.



Sergio Della Jr/Tetra Press

TRANSPARÊNCIA, TRANSLUCIDEZ E OPACIDADE

As substâncias ou meios encontrados na natureza se comportam de diferentes maneiras em relação à propagação da luz.

Meio transparente é aquele que permite a propagação da luz através de si por distâncias consideráveis, isto é, permite a visualização nítida dos objetos através dele. Como exemplo, podemos citar o ar, o vidro, a água etc.

Meio translúcido é aquele que permite a propagação da luz através de si, mas a espalha, de modo que os objetos vistos através dele não podem ser identificados, isto é, não permite a visualização nítida. Por exemplo: vidro fosco, papel de seda etc.

Meio opaco é aquele que impede a propagação da luz através de si, não permitindo a visualização dos objetos. Por exemplo: madeira, concreto etc.



Craig Stock Photo

O vidro é um meio transparente.



Sergio Della Jr/Tetra Press

O vidro fosco é um meio translúcido.



Sergio Della Jr/Tetra Press

A madeira é um meio opaco.

Os conceitos de transparência, translucidez e opacidade são relativos. Afinal, uma folha de papel celofane, por exemplo, é um meio *transparente*; algumas folhas desse papel representam um meio *translúcido* e várias folhas, um meio *opaco*.

VELOCIDADE DA LUZ

A luz se propaga no espaço interestelar e também no vácuo, isto é, para a propagação da luz não há necessidade de matéria.

A velocidade da luz num meio material depende do tipo de luz que se propaga, isto é, para cada tipo de luz a velocidade de propagação num meio material é diferente.

Em ordem decrescente de velocidade, temos:



Os cientistas mediram a velocidade da luz no ar e no vácuo e obtiveram os valores:

$$v_{\text{vácuo}} = (299\,793,0 \pm 0,3) \text{ km/s}$$

$$v_{\text{ar}} = 299\,700 \text{ km/s}$$

Com bons resultados práticos podemos admitir:

$$v_{\text{vácuo}} = v_{\text{ar}} = 300\,000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Costuma-se representar a velocidade da luz no vácuo pela letra c . Logo:

$$c = 300\,000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

A velocidade da luz no vácuo é uma das constantes de maior importância na Física e não pode ser ultrapassada por nenhum outro movimento existente na natureza.

APLICAÇÃO

A1

Sabendo que 1 ano-luz é a distância que a luz percorre no vácuo em um ano, calcule, em quilômetros, a distância percorrida pela luz em 2,5 anos. Suponha 1 ano = 365 dias.

Resolução:

Sabemos que:

$$1 \text{ ano} = 365 \text{ dias} = 365 \cdot 24 \text{ h} = 365 \cdot 24 \cdot 60 \text{ min} = 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}$$

$$1 \text{ ano} = 31\,536\,000 \text{ s}$$

$$2,5 \text{ anos} = 31\,536\,000 \cdot 2,5 = 78\,840\,000 \text{ s}$$

Fazendo uma regra de três, temos:

$$\begin{array}{rcl} \text{tempo (s)} & \text{distância (km)} \\ \hline 1 & 300\,000 & \rightarrow x = 2,3652 \cdot 10^{13} \text{ km} \\ 78\,840\,000 & x & \end{array}$$

Resposta: $2,3652 \cdot 10^{13} \text{ km}$

QUESTÕES

Q1 O que é uma fonte de luz primária? Dê exemplos.

Q2 O que é uma fonte de luz secundária? Dê exemplos.

Q3 O que é um meio óptico transparente? É translúcido?

Q4 Em Astronomia, utiliza-se uma unidade de comprimento denominada *ano-luz*, que representa a distância que a luz percorre no vácuo em um ano. Quantos quilômetros tem um ano-luz? $9,46 \cdot 10^{12}$ km

Q5 Ache, em metros, a distância correspondente a 5 anos-luz. A velocidade da luz no vácuo é igual a 300 000 km/s. $4,7304 \cdot 10^{16}$ m

Q6 O planeta Netuno dista $4,5 \cdot 10^{12}$ m do Sol. Quantos minutos a luz emitida pelo Sol leva para chegar em Netuno? A velocidade da luz no vácuo é de $3,0 \cdot 10^8$ m/s. 250 min



Q7 Uma nave espacial, à distância de $1\,404 \cdot 10^8$ km da Terra, envia fotos do planeta Saturno através de sinais que se propagam com a velocidade da luz no vácuo ($3 \cdot 10^8$ km/s). Calcule o tempo, em horas, que um sinal leva para atingir a Terra. 1,3 h



PRINCÍPIOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

O desenvolvimento da Óptica Geométrica foi feito com base num conjunto de proposições admitidas como verdadeiras e conhecidas como Princípios Fundamentais da Óptica Geométrica.

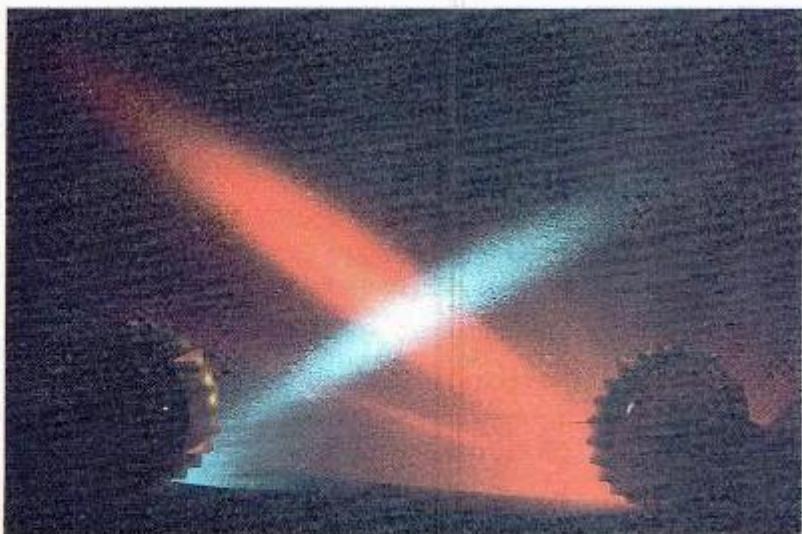
1º) *Princípio da propagação retilínea da luz*

Num meio homogêneo e transparente, a luz propaga-se em linha reta.

2º) *Princípio da independência dos raios de luz*

Um raio de luz, ao cruzar com outro, não interfere na sua propagação.

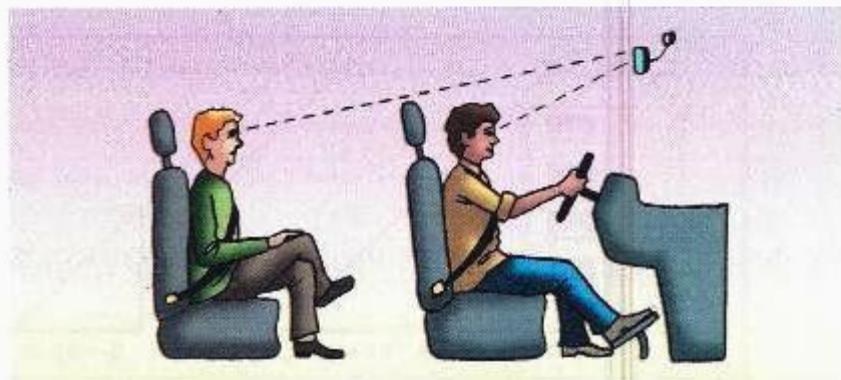
A figura ao lado mostra um feixe de luz cruzando com outro e seguindo seu caminho como se o outro não existisse.



3º) Princípio da reversibilidade dos raios de luz

O caminho seguido pela luz independe do sentido de propagação.

Se através do espelho retrovisor o motorista indicado na figura enxerga o passageiro, este também enxerga o motorista.

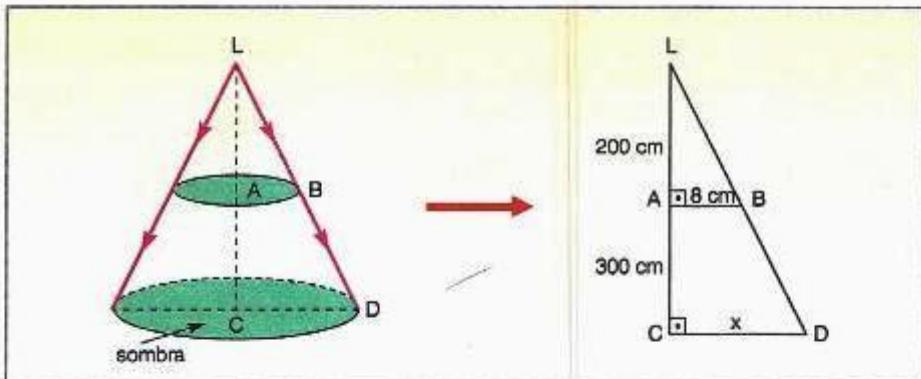


APLICAÇÃO

A2

Uma lâmpada cujas dimensões são desprezíveis está localizada no teto de uma sala de 5 m de altura. Um corpo opaco de forma circular, de raio 8 cm, é colocado a 2 m do teto e paralelamente a ele. O centro do corpo e a lâmpada estão na mesma vertical. Determine a área da sombra projetada no chão da sala.

Resolução:



Por semelhança, temos:

$$\frac{x}{8} = \frac{500}{200} \rightarrow x = 20 \text{ cm}$$

A área da sombra projetada é:

$$S = \pi x^2 \rightarrow S = \pi \cdot 20^2 \rightarrow S = 400\pi \text{ cm}^2$$

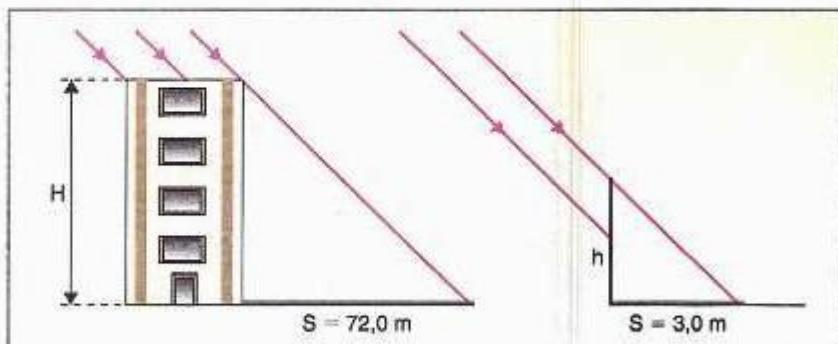
Resposta: $400\pi \text{ cm}^2$

A3

Um edifício iluminado pelos raios solares projeta uma sombra de comprimento $L = 72,0$ m. Simultaneamente, uma vara vertical de 2,50 m de altura, colocada ao lado do edifício, projeta uma sombra de comprimento $\ell = 3,00$ m. Calcule a altura do edifício.

Resolução:

Como os raios solares constituem um pincel cilíndrico e as sombras são proporcionais às alturas, temos:



$$\frac{H}{h} = \frac{S}{s} \rightarrow \frac{H}{2,5} = \frac{72,0}{3,0} \rightarrow H = 60 \text{ m}$$

Resposta: 60 m

QUESTÕES

Q8 Usando conceitos físicos, explique os fatos a seguir.

- a) Quando olhamos uma caneta, somos capazes de vê-la, porque ela é uma fonte de luz.



b) A formação de sombras que um objeto é capaz de projetar. [resposta no final do livro](#)



Foto: Pixabay

Q9 Um poste de rede elétrica projeta no chão horizontal uma sombra de comprimento 9 m. Neste instante os raios solares encontram o chão, formando com ele um ângulo igual a 30° . Calcule a altura do poste. $3\sqrt{3}$ m

Q10 Um estudante curioso e perspicaz deseja saber a altura de um prédio. Num dia ensolarado e munido de uma trena ele mediu o comprimento da sombra do prédio e o comprimento da própria sombra, obtendo os valores 20,0 m e 0,6 m, respectivamente. Sendo sua altura de 1,8 m, qual a altura do prédio? 60 m

Q11 Uma fonte de luz puntiforme projeta sobre uma parede a sombra de um disco de 200 mm de diâmetro. A luz incide perpendicularmente sobre o disco e sobre a parede. A distância entre a parede e o disco é três vezes maior do que entre a fonte de luz e o disco. Calcule a área da sombra projetada. $0,16\pi \text{ m}^2$

Q12 (Vunesp-SP) Em 3 de novembro de 1994, no período da manhã, foi observado, numa faixa ao sul do Brasil, um eclipse solar total. Supondo retilínea a trajetória da luz, um eclipse pode ser explicado pela participação de três corpos alinhados: um anteparo, uma fonte e um obstáculo.



Dafnis Meireles/Papse

- Quais são os três corpos do Sistema Solar envolvidos nesse eclipse? Sol, Terra e Lua
- Desses três corpos, qual deles faz o papel de anteparo? De fonte? De obstáculo?

Terra/Sol/Lua

PESQUISE

- O que é ofuscamento?
- Como o vaga-lume emite luz? Qual a principal função dessa emissão de luz?



Fábio Chiarolla

- Explique como se formam os eclipses da Lua e do Sol.



Cord Stock Photo

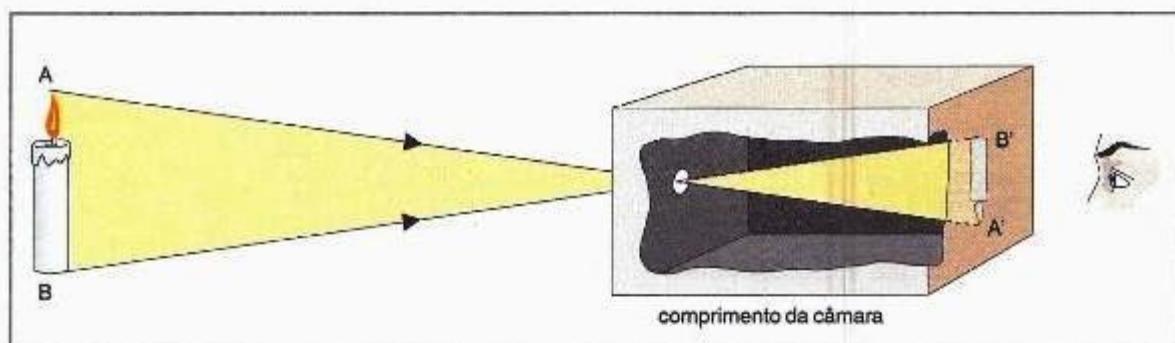
CÂMARA ESCURA

Colocando um corpo luminoso AB diante de um orifício O de uma das faces de uma caixa de paredes opacas, verifica-se que sobre a face oposta à do orifício se forma a imagem A'B' invertida do corpo luminoso.

Este dispositivo é chamado câmara escura de orifício e mostra que a trajetória da luz é retilínea.

Para se observar a imagem com facilidade, substitui-se a face oposta à do orifício por uma folha de papel vegetal sobre a qual se forma a imagem.

O fenômeno descrito é a base de funcionamento das câmaras fotográficas.



APLICAÇÃO

A 4

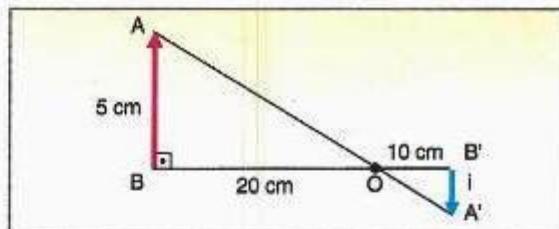
Um objeto luminoso AB, de 5 cm de altura, está a 20 cm de distância de uma câmara escura de profundidade 10 cm.

- Calcule a altura da imagem formada.
- Quanto aumentará a imagem, quando o objeto se aproximar 4 cm da câmara?

Resolução:

- a) Como os triângulos ABO e A'B'O' são semelhantes, temos:

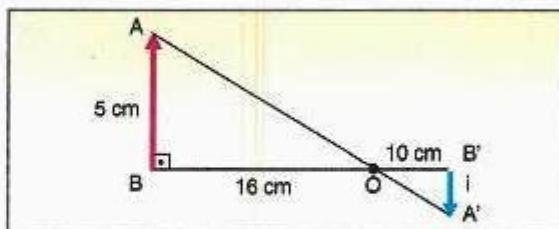
$$\frac{5}{20} = \frac{i}{10} \rightarrow i = 2,5 \text{ cm}$$



b) $\frac{5}{16} = \frac{i}{10} \rightarrow i = 3,125 \text{ cm}$

Logo, o aumento da imagem é de:

$$3,125 - 2,5 = 0,625 \text{ cm}$$



Respostas: a) 2,5 cm; b) 0,625 cm

QUESTÕES

Q13 (ESPM-SP) Uma pessoa de 1,60 m de altura está de pé em frente ao orifício de uma câmara escura, à distância de 2 m. Calcule a altura da sua imagem projetada no anteparo, sabendo que esta tem 40 cm de comprimento. **32 cm**

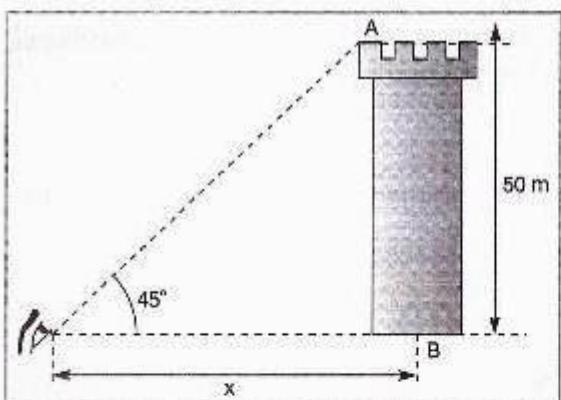
Q14 Mediante uma câmara escura de orifício obtém-se a imagem de um prédio, a qual se apresenta com altura igual a 5 cm. Aumentando em 1 m a distância entre o edifício e a câmara, a imagem reduz-se a 4 cm de altura. Calcule a distância do prédio à câmara em sua primeira posição. **4 m**

Q15 Uma pessoa de 1,80 m de altura encontra-se a 2,4 m do orifício de uma câmara escura de 20 cm de comprimento.

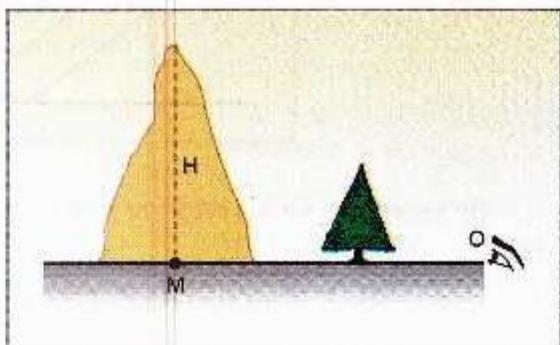
- Qual a altura da imagem formada? **15 cm**
- De quanto diminuirá o tamanho da imagem quando a pessoa se afastar 0,6 m da câmara?

9 cm

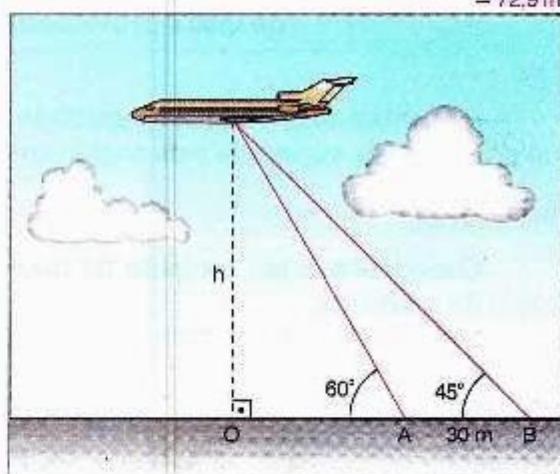
Q16 Quando um observador contempla um objeto extenso, AB, ele está recebendo de cada ponto do objeto um feixe de luz. Considere apenas os raios que partem da extremidade de AB e atingem o olho do observador. O ângulo sob o qual o observador vê o objeto é chamado ângulo visual. O ângulo visual, segundo o qual o observador vê a torre da figura é 45° . Calcule x. **50 m**



Q17 Na figura seguinte estão representados um morro, uma árvore e um observador (O). A altura da árvore é de 50 m e a distância entre ela e o observador, de 300 m. A distância entre o observador e o ponto M é de 800 m. Qual é, aproximadamente, a altura (H) do morro se, do ponto de vista do observador, o topo da árvore e o topo do morro estiverem alinhados? **$\approx 133,3\text{ m}$**



Q18 Dois observadores, A e B , situados do mesmo lado de um avião, em relação à sua perpendicular, baixada ao solo, estão separados pela distância de 30 m. Determine a altura h , sabendo que o avião é observado sob os ângulos de 60° e 45° , respectivamente. Adote $\sqrt{3} = 1,7$. **$= 72,9\text{ m}$**



PESQUISE

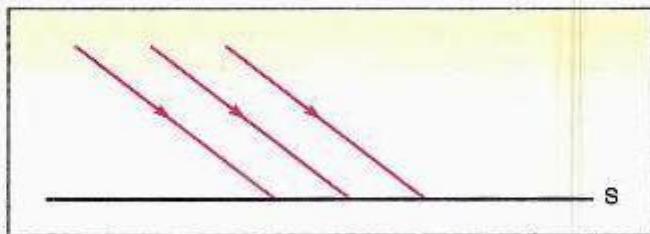
Como as imagens são invertidas numa câmara escura?

CAPÍTULO 20

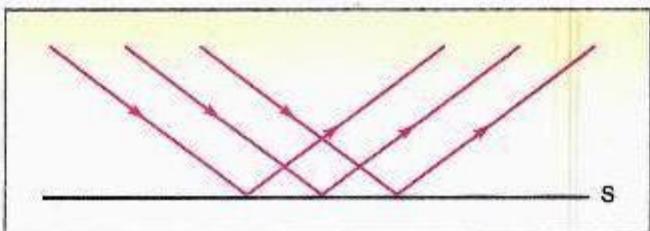
REFLEXÃO DA LUZ

DIFUSÃO E REFLEXÃO REGULAR DA LUZ

Consideremos um feixe de luz propagando-se num meio e atingindo a superfície S .



Se esse feixe de luz retornar para o meio em que estava se propagando, dizemos que a luz sofreu *reflexão*.

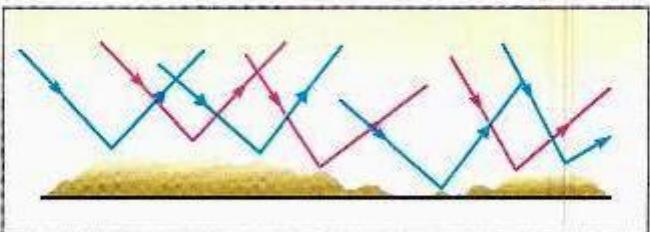


Reflexão é o retorno de um feixe luminoso para o meio do qual é proveniente ao atingir uma superfície.

A quantidade de luz que a superfície reflete depende do material de que é constituída, do polimento da superfície e do ângulo com que a luz a atinge.

DIFUSÃO DA LUZ

Consideremos um conjunto de raios luminosos iluminando um corpo rugoso, isto é, cheio de saliências.



O corpo rugoso reflete os raios luminosos fazendo com que se propaguem em várias direções.

Esse fenômeno é denominado *reflexão irregular* ou *reflexão difusa* ou, simplesmente, *difusão*.

Devido à reflexão difusa é que podemos ver totalmente um corpo.

Se a Terra não tivesse atmosfera para difundir a luz do Sol, o céu seria completamente preto.

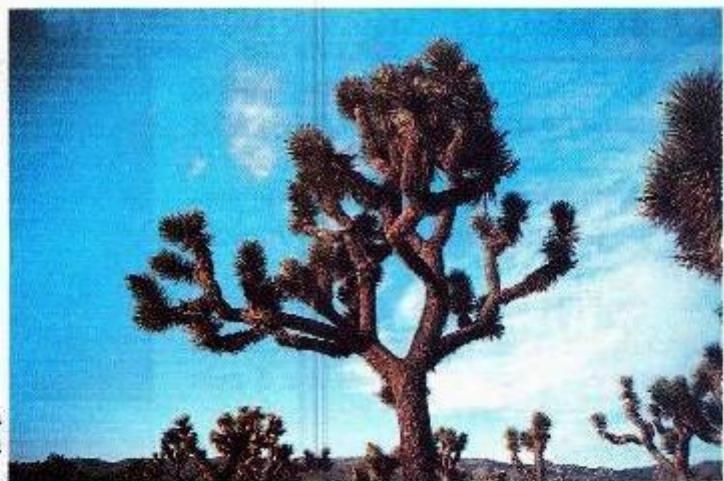
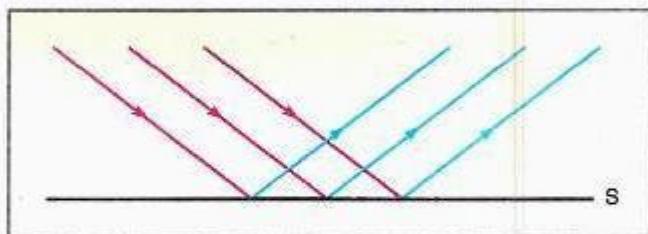


Foto: B. S.

REFLEXÃO REGULAR

Fazendo agora incidir um conjunto de raios luminosos sobre uma superfície S perfeitamente polida, notamos que os raios luminosos são refletidos numa única direção.



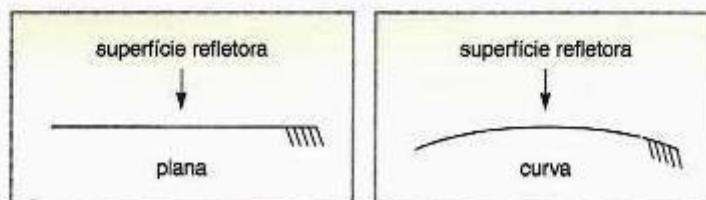
Esse fenômeno é chamado *reflexão regular*.

Os faróis e faroletes usam fontes de luz de alta intensidade e refletores regulares de alto polimento para redirecionarem os raios de luz na direção desejada.

ESPELHO

Toda superfície polida que forma imagens por reflexão regular e tem alto poder refletor é chamada *espelho*.

Os espelhos podem ser planos ou esféricos.



Nos espelhos planos de vidro, a superfície refletora é obtida através do depósito de uma película de prata de um dos lados para refletir melhor a luz (veja as partes raspadas mostrando a película).



Sierra Delta Jr/The Stock

LEIS DA REFLEXÃO

Consideremos uma superfície S perfeitamente polida que separa os meios A e B .

Consideremos também a luz se propagando pelo meio A , atingindo a superfície S .

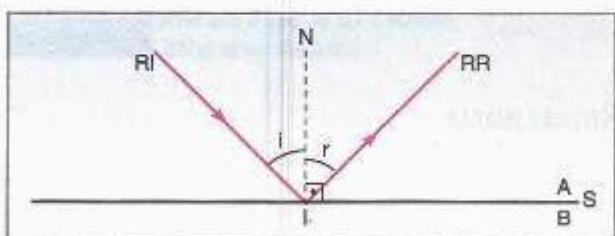
Seja RI um raio de luz incidente, I o ponto de incidência desse raio, RR o raio refletido e N a normal à superfície S pelo ponto de incidência I .

O ângulo i — que o raio incidente forma com a normal — é denominado *ângulo de incidência* e r — ângulo que o raio refletido forma com a normal —, *ângulo de reflexão*.

1^a lei: o raio incidente, o raio refletido e a normal são coplanares.



Silvio Dutra Jr/The Image Bank



RI, RR e N são coplanares.

2^a lei: o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

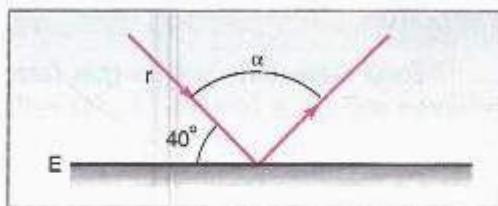
$$i = r$$

APLICAÇÃO

A5

O esquema representa um raio de luz r que incide num espelho plano E sendo refletido.

- Quantos graus mede o ângulo de incidência?
- Qual o valor do ângulo α ?



Resolução:

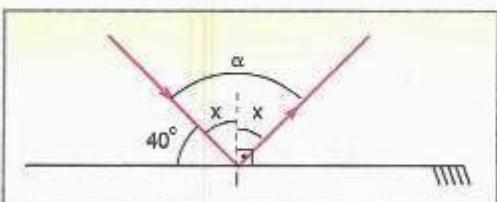
- Da figura, temos: $i = x$ e $r = x$.

Logo:

$$40^\circ + x = 90^\circ$$

$$x = 90^\circ - 40^\circ \rightarrow x = 50^\circ$$

$$\begin{aligned} b) \alpha &= 2x \rightarrow \alpha = 2 \cdot 50^\circ \\ &\alpha = 100^\circ \end{aligned}$$



Respostas: a) 50° ; b) 100°

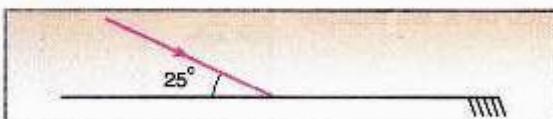
QUESTÕES

Q19 Explique o que é reflexão luminosa.

Q20 Qual a diferença entre reflexão regular e reflexão difusa?

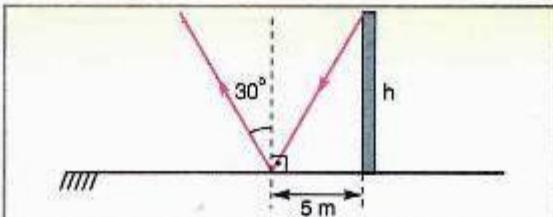
Q21 Quais são as leis da reflexão da luz?

Q22 Dada a figura, calcule:

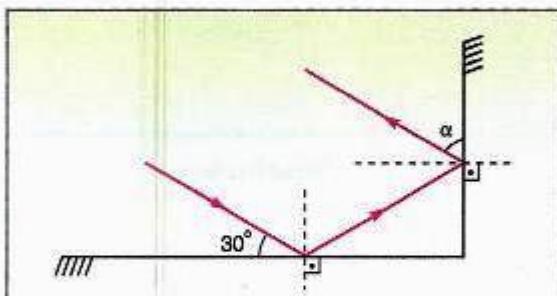


- a) o ângulo de incidência 65°
- b) o ângulo de reflexão 65°
- c) o ângulo formado pelos raios incidente e refletido 130°

Q23 Ache a altura h indicada na figura. $5\sqrt{3}$ m

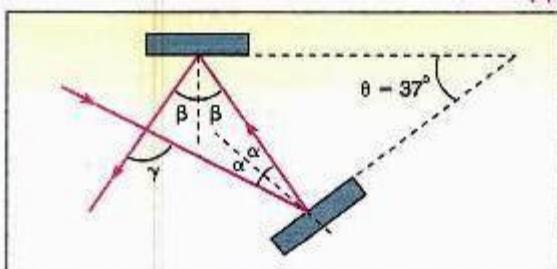


Q24 Ache o ângulo α indicado na figura. 60°



Q25 (UFPE) Considere um raio de luz contido em um plano perpendicular aos dois espelhos planos, conforme a figura abaixo. O raio refletido formará o ângulo γ com o feixe incidente, cujo valor independe do ângulo α . Calcule o valor de γ , em graus, considerando que $\theta = 37^\circ$.

74



FORMAÇÃO DE IMAGENS

Colocando um objeto luminoso A na frente de um espelho, observamos que os raios provenientes dele sofrem reflexão regular.

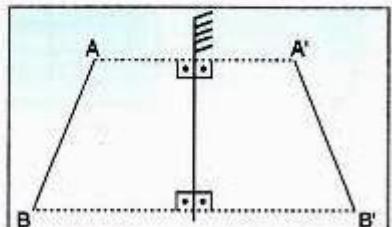
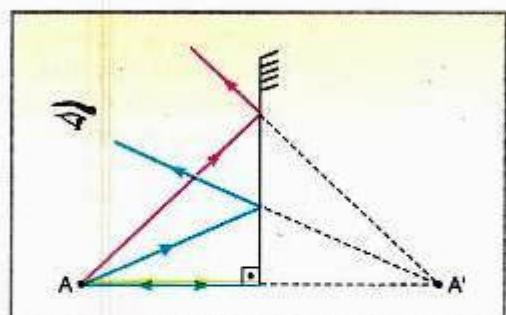
Os prolongamentos dos raios refletidos se cruzam no ponto A' , chamado *imagem virtual* de A .

Note que o objeto e a imagem são simétricos em relação ao espelho, isto é, se encontram à mesma distância dele.

Para um observador na frente do espelho, tudo se passa como se a luz recebida por ele tivesse origem no ponto A' .

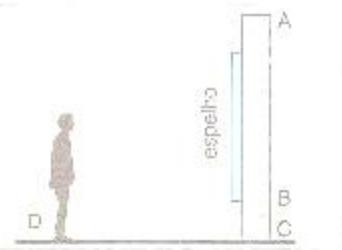
Se o objeto for extenso, seu tamanho é igual ao tamanho da imagem.

Embora a imagem seja idêntica ao objeto, ambos não podem ser superpostos como acontece, por exemplo, com as mãos direita e esquerda de uma pessoa.



Q33 (Med. ABC) Um rapaz de 1,80 m de altura vê todo o seu corpo refletido num espelho plano vertical situado a uma distância $CD = 3\text{ m}$. Os olhos do rapaz encontram-se a 1,70 m do solo. Determine:

- o comprimento AB mínimo que tem esse espelho
- a distância BC da borda inferior do espelho ao solo



ASSOCIAÇÃO DE DOIS ESPERLHOS PLANOS

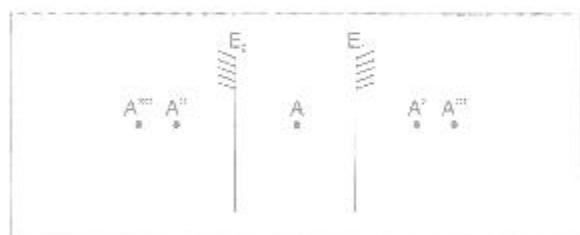
Quando a luz reflectida por um espelho atinge um outro, dizemos que os espelhos estão associados.

Podemos ter dois tipos de associação.

- Associação em paralelo

O número de imagens formadas do ponto A é infinito.

Cada imagem de um espelho faz o papel de um novo objeto para o outro espelho, e assim sucessivamente.

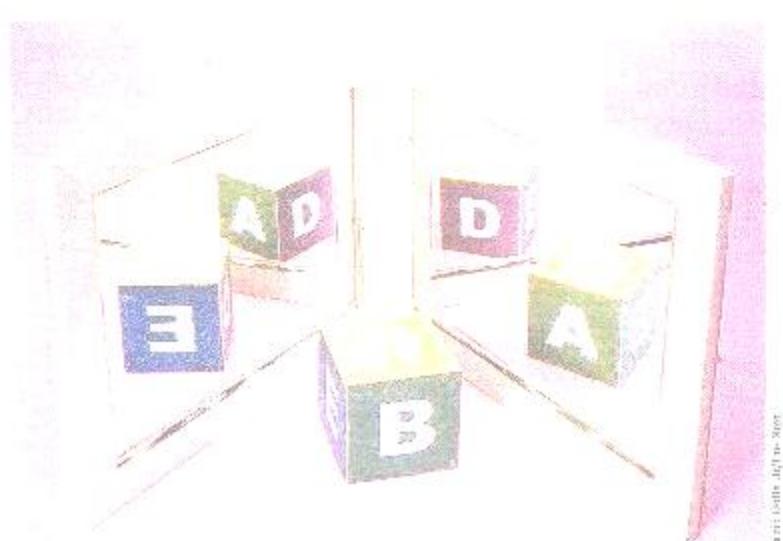
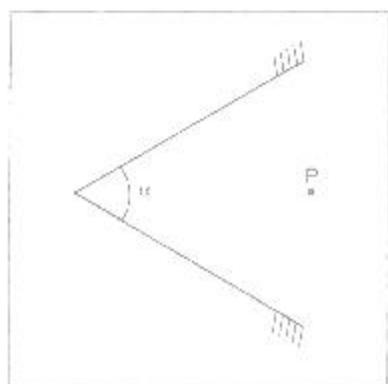


- Associação angular

Seja α o ângulo formado por dois espelhos planos com as superfícies reflectoras se confrontando.

Podemos determinar a quantidade de imagens N de um ponto objeto P colocado entre os dois espelhos pela expressão:

$$N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$$

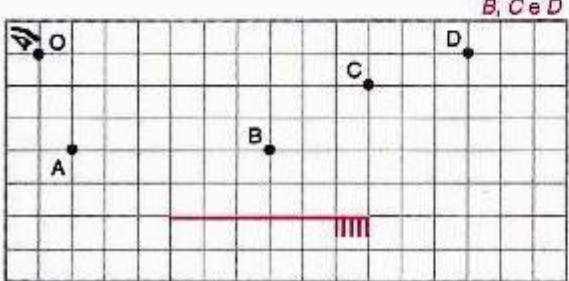


QUESTÕES

Q26 Considere as seguintes afirmações:

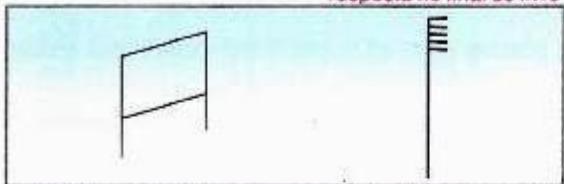
- I. A imagem de um objeto real fornecida por um espelho plano é sempre direita e real.
 - II. Se uma pessoa se aproximar de um espelho plano com uma velocidade de 2 m/s, sua imagem se aproximará desse espelho com uma velocidade de 4 m/s.
 - III. Um espelho plano fornece imagem de mesmo tamanho que o objeto.
- Quais são corretas? **III**

Q27 Determine quais pontos, *A*, *B*, *C* ou *D*, o observador *O* pode ver por reflexão no espelho. ***B, C e D***

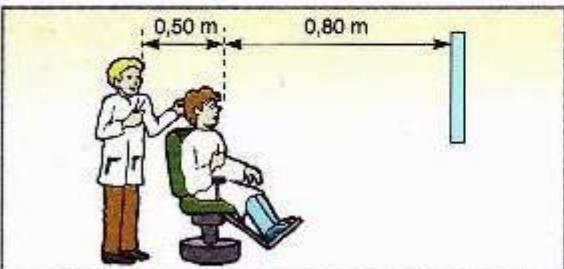


Q28 Construa, por simetria, a imagem do objeto em forma de *A* indicado na figura.

resposta no final do livro



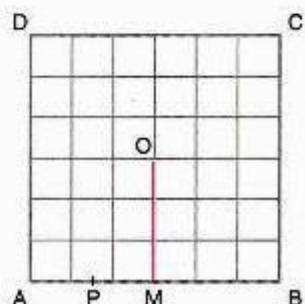
Q29 (Cesgranrio-RJ) Sentado na cadeira da barbearia, um rapaz olha no espelho a imagem do barbeiro, em pé atrás dele. As dimensões relevantes são dadas na figura. A que distância (horizontal) dos olhos do rapaz fica a imagem do barbeiro? **2,10 m**



Q30 (UFPel-RS) Quando você se aproxima de um espelho plano de grandes dimensões, preso a uma parede vertical, tem a impressão de que sua imagem se aproxima do espelho e vai aumentando de tamanho.

- a) Isso realmente acontece? Justifique. **não**
- b) Quais as características da imagem observada num espelho plano? **resposta no final do livro**

Q31 (UFCE) A figura mostra uma sala quadrada, ABCD, de 12 m de lado, com uma parede de 6 m de comprimento, indo do ponto *M* (ponto médio de AB), até o ponto *O* (centro geométrico da sala). Um espelho plano deve ser colocado na parede DC, de modo que uma pessoa situada em *P* (ponto médio de AM) possa ver o máximo possível

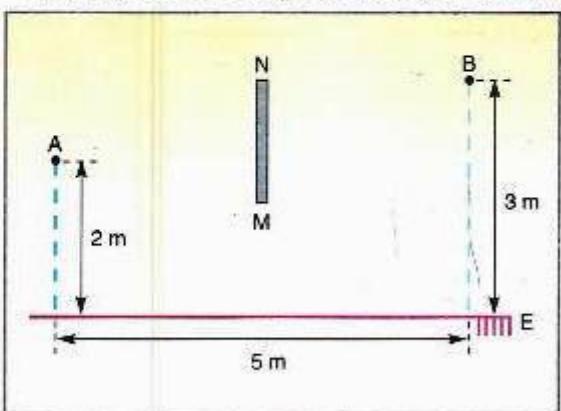


do trecho de parede MB. Determine a largura mínima do espelho, não importando sua altura.

2,5 m

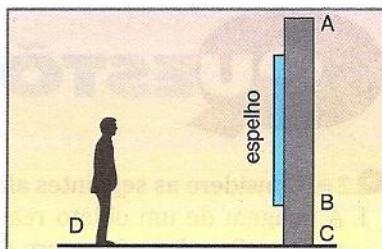
Q32 No esquema, *A* é um ponto de luz, *E* é um espelho plano, *B* é o ponto que deve ser iluminado por luz proveniente de *A*, após reflexão em *E*. MN é um obstáculo que não permite a iluminação direta de *B*.

- a) Sob que ângulo deve incidir um raio que parte de *A*, reflete no espelho e atinge *B*? **45°**
- b) Qual a distância percorrida pelo raio que parte de *A*, reflete no espelho e atinge *B*? **$5\sqrt{2}$ m**



Q33 (Med. ABC) Um rapaz de 1,80 m de altura vê todo o seu corpo refletido num espelho plano vertical situado a uma distância $CD = 3$ m. Os olhos do rapaz encontram-se a 1,70 m do solo. Determine:

- o comprimento AB mínimo que tem esse espelho **0,90 m**
- a distância BC da borda inferior do espelho ao solo **0,85 m**



ASSOCIAÇÃO DE DOIS ESPERLHOS PLANOS

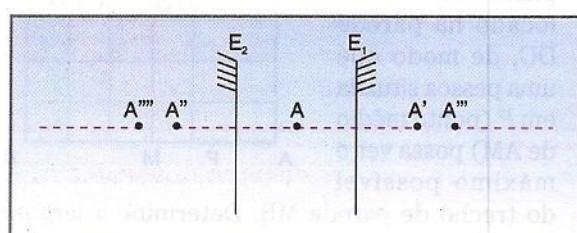
Quando a luz refletida por um espelho atinge um outro, dizemos que os espelhos estão associados.

Podemos ter dois tipos de associação.

a) Associação em paralelo

O número de imagens formadas do ponto A é infinito.

Cada imagem de um espelho faz o papel de um novo objeto para o outro espelho, e assim sucessivamente.



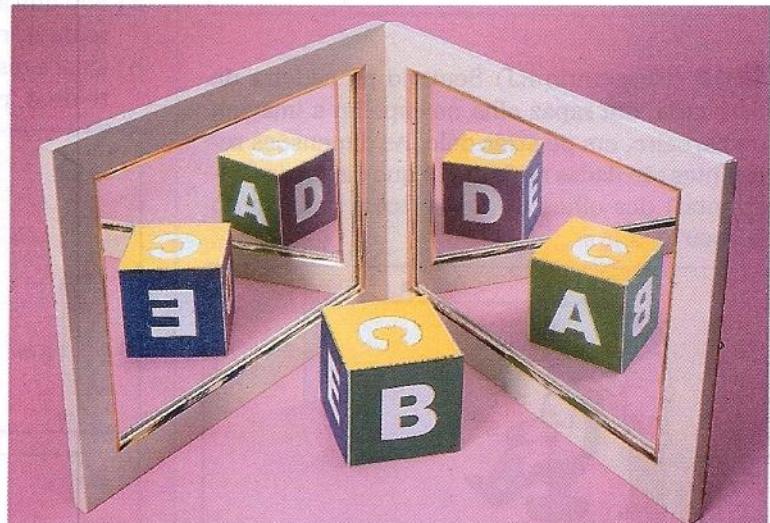
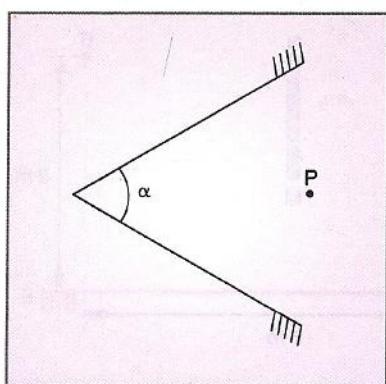
Sérgio Dotta Jr/The Next

b) Associação angular

Seja α o ângulo formado por dois espelhos planos com as superfícies reflectoras se confrontando.

Podemos determinar a quantidade de imagens N de um ponto objeto P colocado entre os dois espelhos pela expressão:

$$N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$$



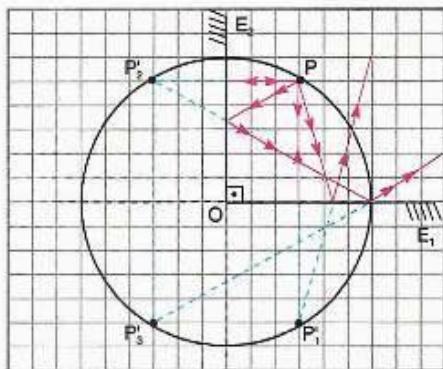
Sérgio Dotta Jr/The Next

O ângulo α deve ser expresso em graus.

Essa expressão é válida nos casos:

- ✓ $\frac{360^\circ}{\alpha}$ é um número par \rightarrow o ponto objeto P pode ficar em qualquer posição entre os dois espelhos
- ✓ $\frac{360^\circ}{\alpha}$ é um número ímpar \rightarrow o ponto objeto P está no plano bissetor de α

Observemos a construção das imagens quando $\alpha = 90^\circ$ (teremos três imagens).



P'_1 : imagem de P em relação a E_1

P'_2 : imagem de P em relação a E_2

P'_3 : imagem de P'_2 em relação a E_1 , que coincide com a imagem de P'_1 em relação a E_2

Essas imagens pertencem a uma circunferência de centro O e raio OP .

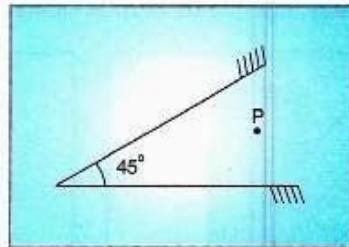
As imagens encerram-se quando elas caem no ângulo formado pelo prolongamento dos dois espelhos.

APLICAÇÃO

A8

Calcule o número de imagens formadas de um objeto colocado no plano bissetor de dois espelhos planos angulares que formam entre si um ângulo de 45° .

Resolução:



$$N = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1 \rightarrow N = \frac{360^\circ}{45^\circ} - 1 \rightarrow N = 7 \text{ imagens}$$

Resposta: 7 imagens

QUESTÕES

Q34 Calcule o número de imagens formadas de um objeto colocado entre dois espelhos planos que formam entre si um ângulo de 60° .

5 imagens

Q35 Ache o ângulo formado por dois espelhos planos angulares, sabendo que o número de imagens formadas de um objeto colocado entre eles é igual a 9. 36°

Q36 (EEM-SP) Dois espelhos planos formam entre si um ângulo de 60° . Um ponto luminoso está à distância $a = 2,00$ cm de um dos espelhos e à distância $b = 4,00$ cm do outro espelho.

a) Quantas imagens do ponto luminoso são formadas pelos espelhos? 5 imagens

b) Calcule a distância do ponto luminoso à sua imagem mais afastada. 12 cm

Q37 Um diretor de cinema deseja obter uma cena com 15 bailarinas espanholas. Para tanto, ele dispõe de três bailarinas e dois espelhos planos. Para a obtenção de tal cena, os espelhos planos devem ser dispostos formando entre si um ângulo α . Determine α . 72°

Q38 Dois espelhos planos formam entre si um certo ângulo. Calcule esse ângulo, sabendo que, reduzindo-o 10° , o número de imagens produzidas pelo sistema de um dado objeto é aumentado de 6. 30°

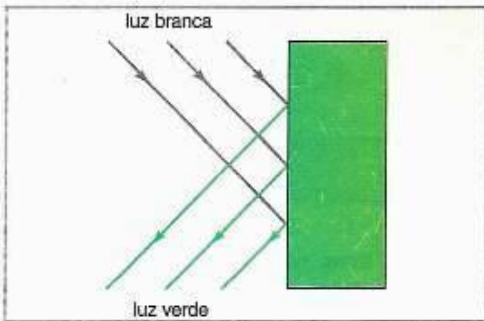
A COR DE UM CORPO

A luz emitida pelo Sol (luz branca) é formada por várias luzes monocromáticas, das quais podemos destacar sete cores principais:

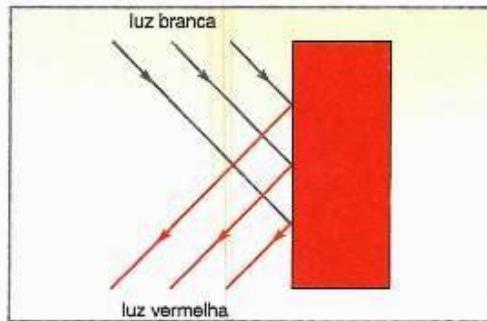


A cor de um corpo iluminado é determinada pela constituição da luz que ele reflete difusamente. Se, por exemplo, um corpo iluminado com luz branca refletir a luz verde e absorver as demais, este corpo terá cor verde; quando iluminado com luz branca, absorvendo-a totalmente, terá cor preta.

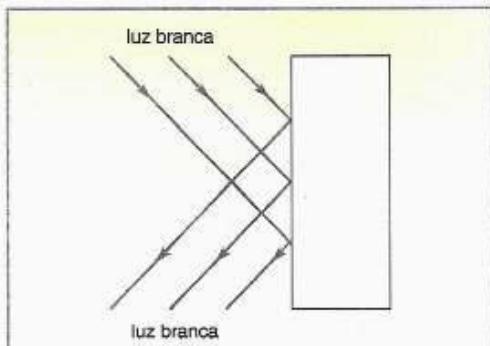
Observe os esquemas, em que os corpos estão iluminados com luz branca:



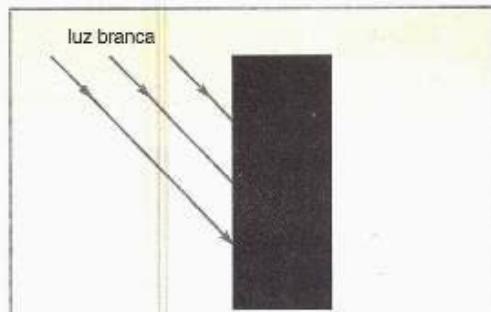
O corpo verde reflete a luz verde.



O corpo vermelho reflete a luz vermelha.



O corpo branco reflete todas as cores.



O corpo preto absorve todas as cores.

Quando um corpo verde (sob luz solar) é iluminado com luz vermelha, ele se apresenta preto. Ele absorve a luz vermelha.

Um filtro de luz é utilizado para deixar passar somente a luz da mesma cor que a do filtro. Então, se o filtro é vermelho ele deixa passar a luz vermelha. As outras cores são refletidas ou absorvidas e não conseguem atravessar o filtro.



QUESTÕES

Q49 Como é determinada a cor de um corpo?

Q50 (UFU-MG) Um objeto que se apresenta amarelo quando exposto à luz solar é colocado num quarto escuro. Qual será a cor desse objeto, se acendermos no quarto uma luz monocromática azul? **preta**

Q51 (PUC-SP) Por que um corpo opaco tem, por exemplo, cor verde? Se esse corpo estiver num ambiente iluminado somente por luz monocromática vermelha, com que aparência será observado por nós? **O objeto parecerá negro.**

Q52 (UFGO) Suponha que a bandeira do Brasil seja colocada num quarto escuro e iluminada com luz monocromática amarela. Diga, justificando suas respostas, com que cor se apresentarão as seguintes partes da bandeira:

- o círculo central **preta**
- o losango **amarela**
- a faixa do círculo central e as estrelas **amarela**
- o restante da bandeira **preta**

Q53 Um avental branco sob a luz solar é visto através de um filtro vermelho. Com que cor se apresentará esse avental? **vermelha**

PESQUISE

O que é o raio *laser*? Quais suas aplicações na medicina?



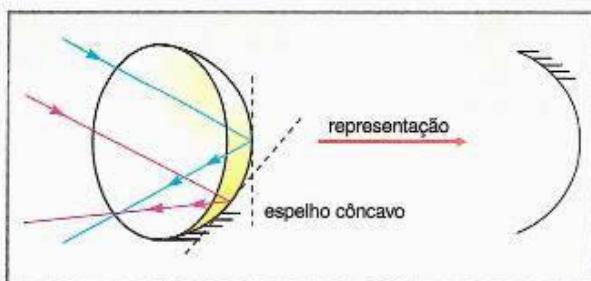
PhotoDisc

ESPELHOS ESFÉRICOS

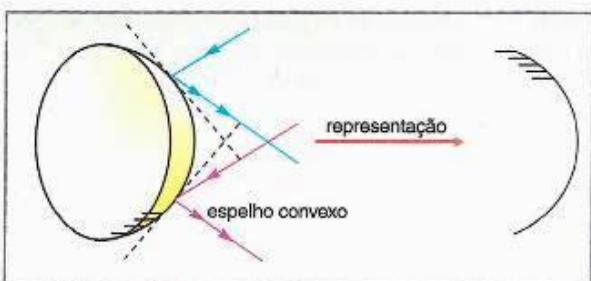
DEFINIÇÃO

Espelho esférico é toda superfície refletora com a forma de uma calota esférica.

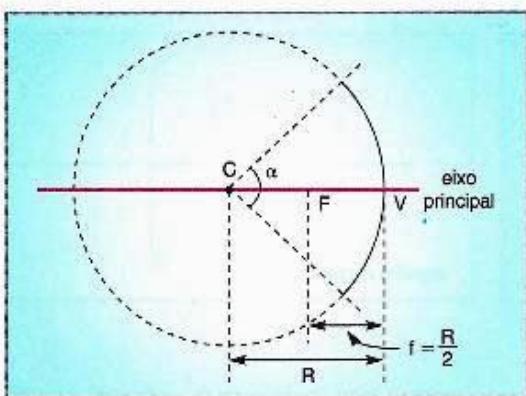
Se a face interna da calota é a refletora, o espelho esférico é dito *côncavo*.



Se a face externa da calota é a refletora, o espelho esférico é dito *convexo*.



Consideremos o espelho esférico indicado na figura.



Principais elementos:

C = centro de curvatura

F = foco principal

V = vértice

R = raio de curvatura

f = distância focal

α = ângulo de abertura do espelho

CONDIÇÕES DE NITIDEZ DE GAUSS

Sabemos que os espelhos planos formam imagens nítidas dos objetos, pois a cada ponto objeto corresponde um único ponto imagem (*sistema estigmático*).

Entretanto isso não ocorre com os espelhos esféricos, pois as imagens se apresentam deformadas, isto é, a cada ponto objeto correspondem vários pontos imagens (*sistema astigmático*) e as imagens não são nítidas.

Dentro de determinadas condições, os espelhos esféricos fornecem imagens cuja falta de nitidez não é percebida pelo olho humano, isto é, os espelhos esféricos nessas condições são quase estigmáticos.

Essas condições, chamadas *condições de Gauss*, são:

- ✓ O espelho deve ter pequeno ângulo de abertura ($\alpha < 10^\circ$).
- ✓ Os raios incidentes devem ser próximos ao eixo principal.
- ✓ Os raios incidentes devem ser pouco inclinados em relação ao eixo principal.

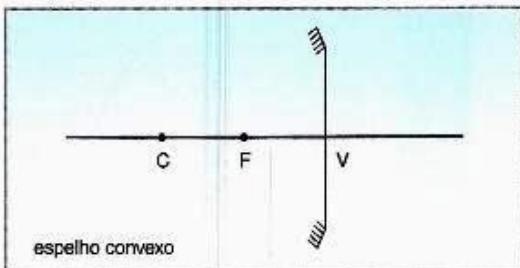
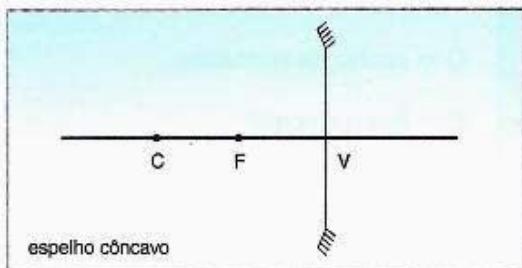
CARL FRIEDRICH GAUSS (1777-1855)

Matemático, astrônomo e físico alemão. Menino precoce, aos três anos de idade já efetuava algumas operações aritméticas. Em 1798 publica as *Disquisitiones arithmeticæ* (*Indagações aritméticas*), uma das grandes obras de matemática já publicadas.

Realizou trabalhos sobre a teoria das superfícies, do traçado de mapas, do eletromagnetismo (da Terra, em particular) e sobre óptica geométrica.

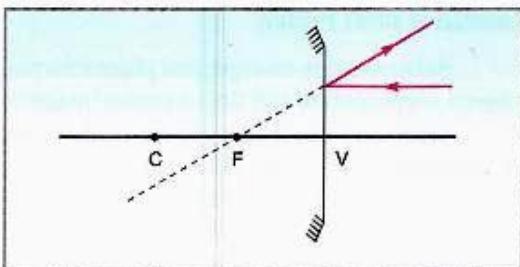
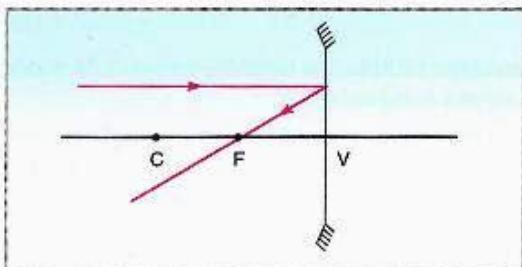


Tendo em vista as condições de nitidez de Gauss, vamos utilizar as seguintes representações para os espelhos esféricos:

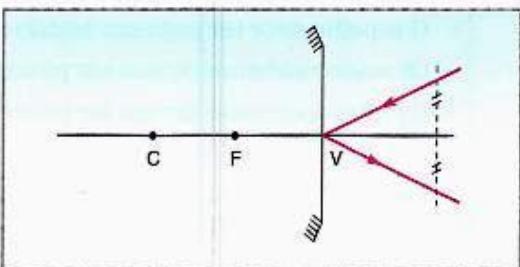
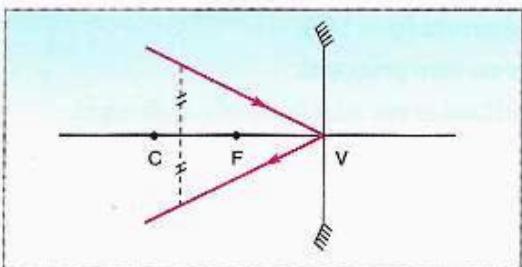


RAIOS PARTICULARES

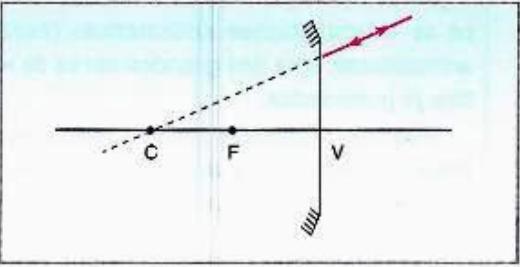
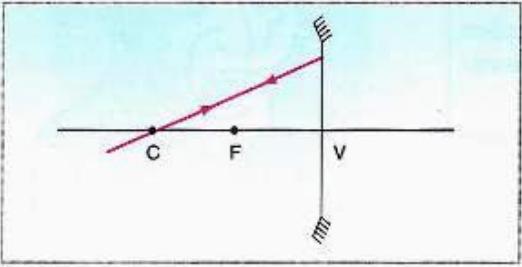
Se um raio de luz incidir paralelamente ao eixo principal, o raio refletido passa pelo foco principal.



Se um raio de luz incidir no vértice do espelho, o raio refletido é simétrico em relação ao eixo principal.

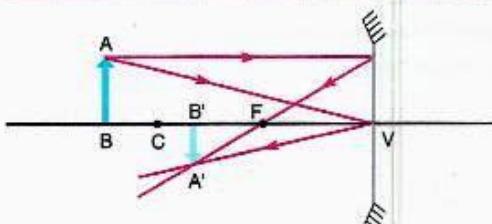
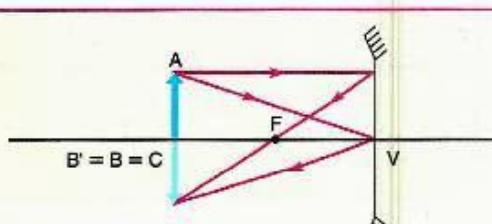
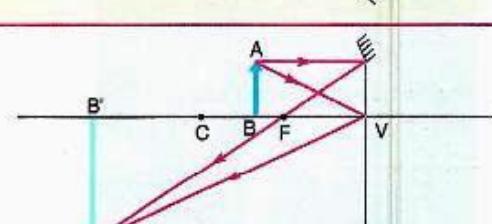
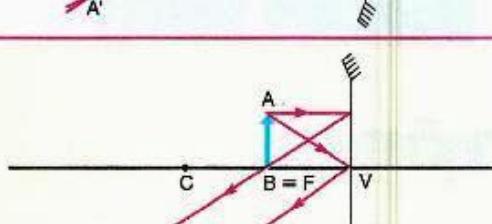
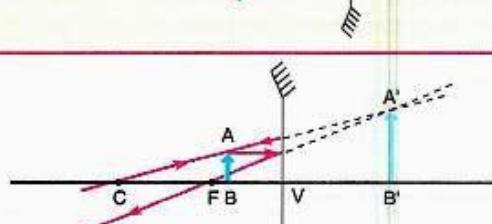


Se um raio de luz incidir passando pelo centro de curvatura, o raio é refletido sobre si mesmo.



CONSTRUÇÃO GEOMÉTRICA DAS IMAGENS

As imagens fornecidas por um espelho esférico podem ser obtidas utilizando-se dois dos três raios particulares.

POSIÇÃO DO OBJETO AB	ESPELHO CÔNCAVO	CARACTERÍSTICAS DA IMAGEM A'B'
Objeto extenso à esquerda do ponto C		Real Menor Invertida
Objeto extenso sobre C		Real Igual Invertida
Objeto extenso entre C e F		Real Invertida Maior
Objeto extenso sobre F		A imagem é denominada imprudente, pois os raios refletidos são paralelos.
Objeto extenso sobre F e V		Virtual Direita Maior

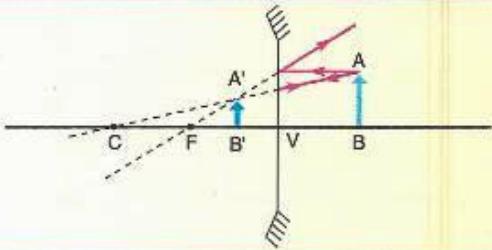
Observe que as características da imagem $A'B'$ para o espelho côncavo dependem da posição do objeto AB sobre o eixo principal.

Note também que a imagem do ponto B do objeto AB está localizada sobre o eixo principal.

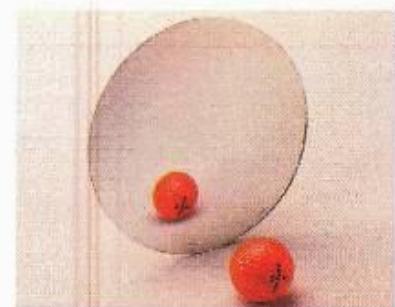
Quando o objeto e a imagem pertencem ao mesmo semiplano (acima ou abaixo) do eixo principal, diz-se que a imagem é *direita* em relação ao objeto. Caso contrário, diz-se que é *invertida* em relação ao objeto.

A imagem é *real* quando é formada pelos próprios raios refletidos e *virtual* quando formada pelos prolongamentos dos raios refletidos.

Vejamos, agora, a construção da imagem por um espelho convexo.

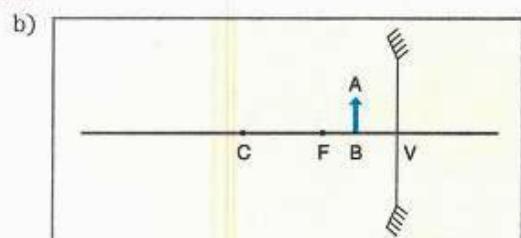
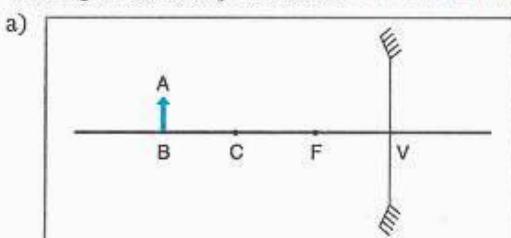
POSIÇÃO DO OBJETO AB	ESPELHO CONVEXO	CARACTERÍSTICAS DA IMAGEM $A'B'$
Objeto extenso localizado na frente do espelho.	 <p>Diagram illustrating the construction of a virtual image by a convex mirror. A horizontal axis represents the principal axis. An object is located to the left of the mirror. Two red arrows represent the path of light rays from the object passing through the mirror. The rays diverge as if they originated from a point behind the mirror, labeled A'. A dashed blue arrow points to this virtual image. Labels include C (center of curvature), F (focal point), V (virtual), and B (real).</p>	Virtual Menor Direita

Para o espelho convexo, a imagem de um objeto AB , colocado na frente do espelho, é sempre *virtual, menor* e *direita*.



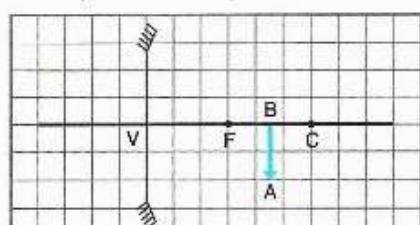
QUESTÕES

Q44 Considere um objeto real AB e um espelho esférico côncavo de centro de curvatura C . Determine graficamente a imagem desse objeto fornecida pelo espelho e diga se a imagem é real ou virtual para as situações abaixo. *respostas no final do livro*

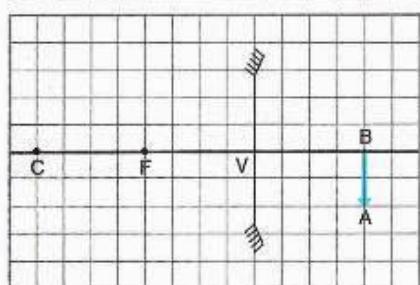


Q45 Construa e dê as características da imagem do objeto AB das figuras. resposta no final do livro

a)



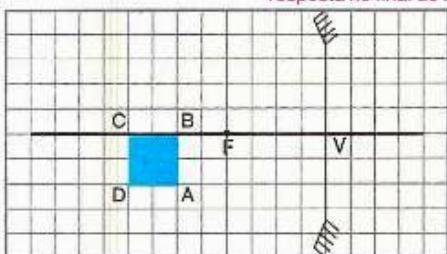
b)



Q46 (UFPel-RS) Um objeto real é colocado diante de um espelho côncavo, numa posição intermediária entre o foco e o vértice do espelho. Quais as características da imagem obtida? Justifique sua resposta por meio de um esboço da situação. Imagem virtual, direita e maior que o objeto

Q47 Construa a imagem do quadrado ABCD indicado na figura. O ponto C representa o centro de curvatura do espelho. resposta no final do livro

resposta no final do livro



Q48 Em lojas, supermercados, ônibus etc. em geral são colocados espelhos que permitem a visão de grande parte do ambiente. Espelhos dessa natureza costumam ser colocados também nos retrovisores de motos e carros, de modo a aumentar o campo de visão. Esses espelhos são côncavos ou convexos? Justifique sua resposta.



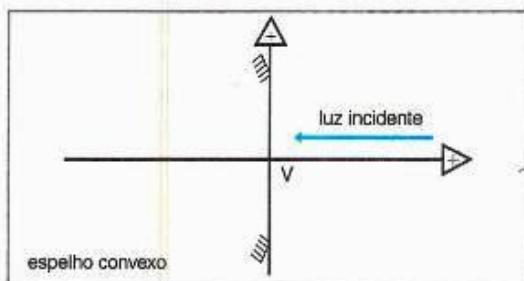
Cesar Onofre/Agif

convexos

ESTUDO ANALÍTICO DOS ESPERLOS ESFÉRICOS

CONVENÇÃO DE SINAIS (REFERENCIAL DE GAUSS)

Consideremos dois eixos ortogonais, com origem no vértice do espelho.



Eixo das abscissas

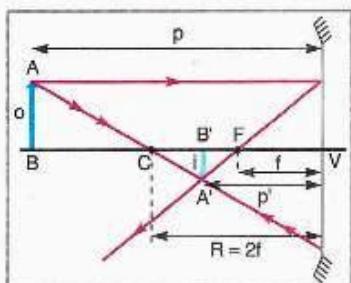
origem: vértice do espelho
direção: a do eixo principal
sentido: contrário ao da luz incidente

Eixo das ordenadas

origem: vértice do espelho
direção: perpendicular ao eixo principal
sentido: de baixo para cima

EQUAÇÃO DE GAUSS E EQUAÇÃO DO AUMENTO LINEAR TRANSVERSAL

Consideremos o espelho da figura:



Em que:

p = distância do objeto ao vértice (abscissa do objeto)

p' = distância da imagem ao vértice (abscissa da imagem)

o = altura do objeto

i = altura da imagem

f = distância focal

R = raio de curvatura ($R = 2f$)

Por semelhança de triângulos podemos demonstrar que:

$$\text{equação de Gauss} \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \quad \text{e} \quad \text{equação do aumento linear transversal (A)} \quad A = \frac{i}{o} + \frac{-p'}{p}$$

Considerando sempre o objeto real ($p > 0$), nestas equações temos:

espelho côncavo $\rightarrow f > 0$
espelho convexo $\rightarrow f < 0$

imagem real $\rightarrow p' > 0$

imagem virtual $\rightarrow p' < 0$

imagem direita $\rightarrow i > 0$

imagem invertida $\rightarrow i < 0$

APLICAÇÃO

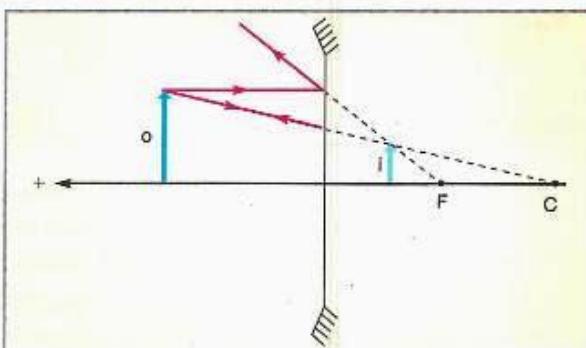
A 9

Um objeto de 8 cm de altura está localizado a 60 cm de um espelho esférico convexo de 40 cm de raio.

- Qual a abscissa da imagem?
- Qual a altura da imagem?
- Calcule o aumento linear transversal.

Resolução:

Dados: $\begin{cases} o = 8 \text{ cm} \\ p = 60 \text{ cm} \\ f = -20 \text{ cm} \end{cases}$



- a) $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \rightarrow -\frac{1}{20} = \frac{1}{60} + \frac{1}{p'} \rightarrow -\frac{1}{20} - \frac{1}{60} = \frac{1}{p'} \rightarrow p' = -15 \text{ cm}$
 b) $\frac{i}{o} = -\frac{p'}{p} \rightarrow \frac{i}{8} = \frac{15}{60} \rightarrow i = 2 \text{ cm}$
 c) $A = \frac{i}{o} \rightarrow A = \frac{2}{8} \rightarrow A = \frac{1}{4}$

Respostas: a) -15 cm ; b) 2 cm ; c) $\frac{1}{4}$

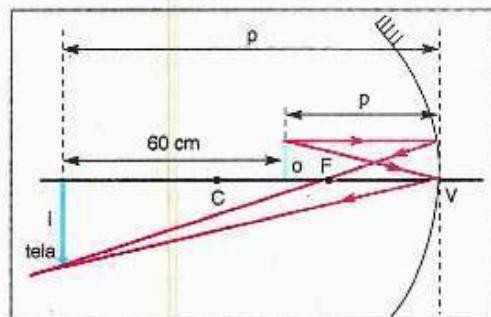
A 10

A distância entre um objeto e a imagem que lhe conjuga um espelho côncavo é de 60 cm. A imagem projetada numa tela é quatro vezes maior que o objeto. Determine o raio de curvatura do espelho.

Resolução:

Somente imagens reais podem ser projetadas numa tela; logo, o espelho é côncavo com o objeto localizado entre C e F .

Dados: $\begin{cases} p' - p = 60 \text{ cm} \\ i = -40 \\ \text{invertida} \end{cases}$



$$\frac{i}{o} = -\frac{p'}{p} \rightarrow \frac{-40}{o} = -\frac{p'}{p} \rightarrow p' = 4p$$

$$p' - p = 60 \rightarrow 4p - p = 60 \rightarrow p = 20 \text{ cm}$$

$$p' = 4p \rightarrow p' = 4 \cdot 20 = 80 \text{ cm}$$

- Cálculo de f :

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{20} + \frac{1}{80} \rightarrow \frac{1}{f} = \frac{4+1}{80} \rightarrow f = 16 \text{ cm}$$

- Cálculo do raio de curvatura:

$$R = 2f \rightarrow R = 2 \cdot 16 = 32 \text{ cm}$$

Resposta: 32 cm

QUESTÕES

Q49 (UMC-SP) Para se maquiar, uma moça se coloca a 20 cm de um espelho côncavo de 60 cm de distância focal. Com base nesses dados:

- determine a posição da imagem **-30 cm**
- determine a distância entre o rosto da moça e a sua imagem **50 cm**
- sendo a altura do rosto da moça 20 cm, determine a altura de sua imagem **30 cm**
- dê as características da imagem

imagem virtual, direita e maior que o objeto

Q50 (Fuvest-SP) A imagem de um objeto forma-se a 40 cm de um espelho côncavo com distância focal de 30 cm. A imagem formada situa-se sobre o eixo principal do espelho, é real, invertida e tem 3 cm de altura.

- Determine a posição do objeto. **120 cm**
- Construa o esquema referente à questão representando objeto, imagem, espelho e raios utilizados e indicando as distâncias envolvidas.

resposta no final do livro

Q51 (ITA-SP) Para fazer a barba de maneira mais eficiente, um jovem estudante resolve comprar um espelho esférico que aumenta duas vezes a imagem do seu rosto quando ele se coloca a 50 cm dele. Que tipo de espelho ele deve usar e qual o raio de curvatura? **côncavo; 200 cm**

Q52 Um objeto é colocado diante de um espelho côncavo de raio de curvatura 24 cm. Determine o aumento linear transversal nos seguintes casos:

- o objeto localiza-se a 36 cm do espelho $\frac{1}{2}$
- o objeto localiza-se a 24 cm do espelho -1
- o objeto localiza-se a 6 cm do espelho 2

Q53 (UFAL) A chama de uma vela, que tem 3,0 cm de altura, está a 24 cm de uma lente convergente delgada. Esta projeta, num anteparo, uma imagem da chama da vela, nítida e invertida, de 6,0 cm de altura. Determine, em centímetros, a distância focal da lente. **16 cm**

Q54 (UFPel-RS) Um espelho esférico projeta sobre uma parede uma imagem três vezes maior do que uma vela colocada diante dele. Sabendo que o vértice do espelho encontra-se a 6 m de parede, responda às seguintes perguntas:

- O espelho é côncavo ou convexo? Por quê?
- Quanto mede o raio do espelho? Justifique sua resposta, apresentando o cálculo do raio.

a) **côncavo** b) **3 m**

Q55 A distância entre um objeto real e a imagem que lhe conjuga um espelho côncavo é 72 cm.

A altura da imagem é $\frac{1}{4}$ da altura do objeto.

- Determine a abscissa do objeto. **96 cm**
- Calcule a distância focal do espelho. **19,2 cm**

Q56 Os espelhos retrovisores usados em motos são convexos.

- Quais as características da imagem que eles formam? **virtuais, direitas e menores**
- Qual a vantagem de usar esses espelhos? Ampliar o campo visual.
- O motociclista vê a imagem de um carro localizado 9 m atrás da moto. Sabendo que a distância focal do espelho é de 3 m, ache a posição e o aumento dessa imagem. **-2,25 m e $\frac{1}{4}$**

Q57 Um objeto de 6 cm de altura está localizado à distância de 30 cm de um espelho esférico convexo, de 40 cm de raio. Calcule:

- a posição da imagem **-12 cm**
- a altura da imagem **2,4 cm**
- o aumento linear transversal **$\frac{2}{5}$**

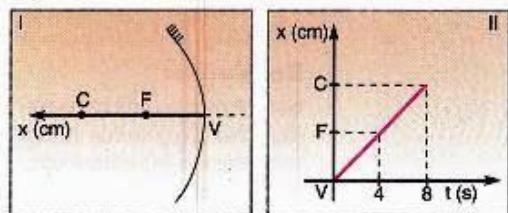
Q58 Em uma experiência de óptica, um estudante relata os seguintes dados sobre um certo objeto e sua imagem fornecida por um espelho:

distância focal do espelho: 20 cm; aumento: 0,1; imagem: direita.

Com base nos seus conhecimentos, calcule:

- o tipo de espelho utilizado **convexo**
- a abscissa da imagem **-18 cm**
- a abscissa do objeto **180 cm**

Q59 (UFU-MG) Na figura I está representado um espelho côncavo de vértice V , foco F e centro C . Um ponto luminoso se desloca ao longo do eixo x , a partir do vértice V , sendo a sua posição em cada instante representada pela reta do gráfico da figura II. O valor da distância focal do espelho é de 20 cm.



- Em que posição está localizada a imagem em $t = 5\text{ s}$? **100 cm**
- Nesse instante, a imagem é real ou virtual? **real**

Q60 (UFPel-RS) Em recente reportagem sobre a violência nas grandes cidades, uma emissora de televisão mostrou o sistema de segurança de uma residência, do qual faz parte um espelho esférico convexo. Esse espelho permite a visão de uma ampla área em torno da residência. A partir do enunciado, responda:

- As imagens fornecidas pelo espelho são direitas ou invertidas em relação aos objetos? **direitas**
- As imagens fornecidas pelo espelho podem ser maiores que os correspondentes objetos? Por quê? **São sempre menores.**
- As imagens fornecidas pelo espelho podem ser projetadas em uma tela, no interior da residência? Por quê? **Não, pois são virtuais.**

Q61 (UERJ) A imagem I de uma fonte puntiforme P foi obtida através de um espelho côncavo colocado à direita da fonte, cujo centro de curvatura se encontra no ponto C .

- Calcule a distância da fonte ao vértice do espelho côncavo. **60 cm**



- Substituindo-se o espelho côncavo por um convexo, cujo vértice se encontra no ponto C , e sabendo-se que a distância entre P e I não se altera, calcule a distância da fonte ao centro de curvatura desse espelho convexo. **60 cm**

CAPÍTULO 21

REFRAÇÃO DA LUZ

DEFINIÇÃO

Refração é a passagem da luz de um meio para outro.

Verifica-se que, quando a incidência for oblíqua, a refração é acompanhada de desvio de direção, o que não acontece se a incidência for perpendicular.

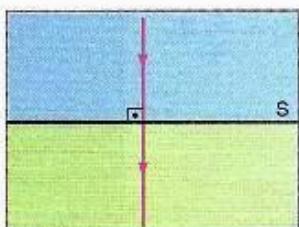
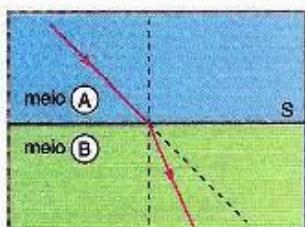
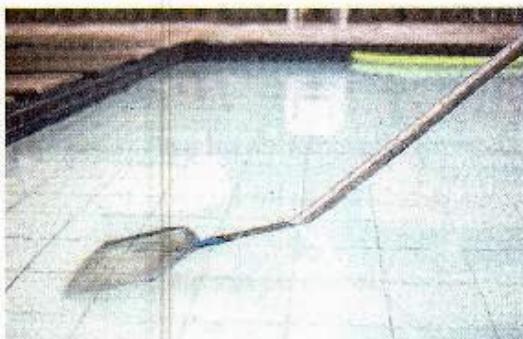


Foto: Sérgio Della Júnior / R7

Por causa da refração, um peixe visto da margem de um rio parece mais perto do que realmente está. A vara, em uma piscina com água, parece estar torta ou quebrada na superfície da água.



ÍNDICE DE REFRAÇÃO ABSOLUTO

Denomina-se *índice de refração absoluto* de um meio para determinada luz monocromática o quociente entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz no meio considerado.

$$n = \frac{c}{v}$$

Em que:

n = índice de refração absoluto

c = velocidade da luz no vácuo

v = velocidade da luz no meio considerado

Para o vácuo, o índice de refração absoluto é igual a 1.

Em qualquer outro meio o índice de refração absoluto é maior que 1. Admitiremos em nosso curso que $n_{ar} = 1$.

O índice de refração é inversamente proporcional à velocidade de propagação da luz, isto é, quanto *maior* for o índice de refração de um meio, *menor* será a velocidade de propagação da luz nesse meio.

O meio que tem maior índice de refração tem maior *refringência* e vice-versa. Refringência, portanto, é a medida do índice de refração absoluto.

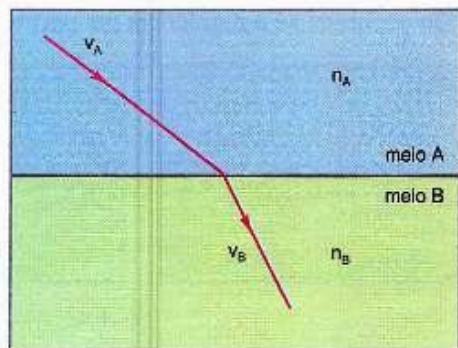
ÍNDICE DE REFRAÇÃO RELATIVO

Consideremos a refração indicada na figura.

$$\text{Sabemos que: } n_A = \frac{c}{v_A} \quad \textcircled{1} \quad \text{e} \quad n_B = \frac{c}{v_B} \quad \textcircled{2}$$

Dividindo \textcircled{1} por \textcircled{2}, temos:

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{\frac{c}{v_A}}{\frac{c}{v_B}} \rightarrow \boxed{\frac{n_A}{n_B} = \frac{v_B}{v_A}}$$



Então:

$\frac{n_A}{n_B} = n_{A,B}$ é o índice de refração relativo do meio A em relação ao meio B

v_A é a velocidade da luz no meio A

v_B é a velocidade da luz no meio B

Essa fórmula mostra que:

$$n_A > n_B, \text{ temos } v_B > v_A$$

APLICAÇÃO

A11

A velocidade de propagação da luz num vidro é de $1,5 \cdot 10^8$ m/s. Calcule o índice de refração desse vidro.

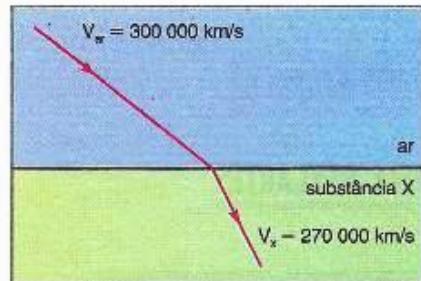
Resolução:

Da definição de índice de refração absoluto de um meio, podemos escrever:

$$n_{meio} = \frac{c}{v} \rightarrow n_{vidro} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,5 \cdot 10^8} \rightarrow n_{vidro} = 2$$

Resposta: $n_{vidro} = 2$

A 12 A figura mostra um raio de luz passando do ar para a substância X. Sabendo que $n_{ar} = 1$, calcule a velocidade da luz nessa substância.



Resolução:

Da figura, temos:

$$\frac{n_{ar}}{n_x} = \frac{V_x}{V_{ar}}$$

$$\frac{1}{n_x} = \frac{270\,000}{300\,000} \rightarrow n_x = 1,11$$

Resposta: $n_x = 1,11$

QUESTÕES

Q62 Defina índice de refração absoluto de um meio.

Q63 Qual é a velocidade da luz em um diamante cujo índice de refração absoluto é 2,42?

$\approx 123\,967 \text{ km/s}$

Q64 A velocidade da luz amarela no benzeno é de 200 000 km/s. Ache o índice de refração absoluto do benzeno. **1,5**

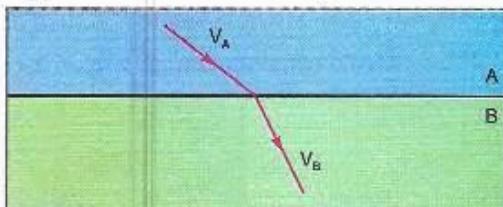
Q65 (Faap-SP) Calcule a velocidade da luz no vidro, sabendo que a sua velocidade na água é $2,2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ e que o índice de refração da água em relação ao vidro é 0,90. **$1,98 \cdot 10^8 \text{ m/s}$**

Q66 A velocidade de propagação da luz em determinado líquido é 80% menor daquela que se verifica no vácuo. Determine o índice de refração absoluto desse líquido. **5**

Q67 A velocidade da luz num meio A é de 200 000 km/s e num meio B, 250 000 km/s. Calcule:

- o índice de refração absoluto do meio A **1,5**
- o índice de refração absoluto do meio B **$\frac{6}{5}$**
- o índice de refração do meio A em relação ao meio B **$\frac{5}{4}$**

Q68 A figura mostra um raio de luz passando do meio A para o meio B. Dados $n_A = 1,2$, $n_B = 1,6$ e $v_A = 250\,000 \text{ km/s}$, calcule v_B . **187\,500 \text{ km/s}**



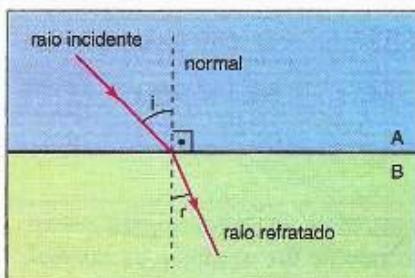
LEIS DA REFRAÇÃO

Consideremos a refração indicada na figura.

Em que:

i = ângulo de incidência

r = ângulo de refração



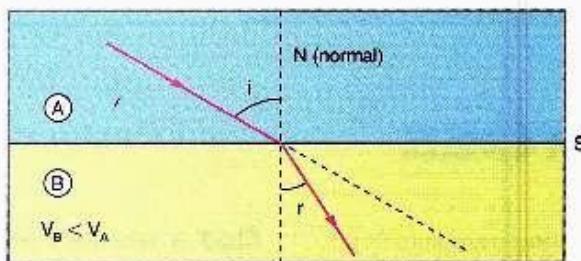
1^a lei: O raio incidente, o raio refratado e a normal pertencem ao mesmo plano.

2^a lei: O produto do seno do ângulo formado com a normal pelo índice de refração desse meio é igual a uma constante (lei de Snell-Descartes).

$$n_A \cdot \sin i = n_B \cdot \sin r$$

CONCLUSÕES A PARTIR DA LEI DE SNELL-DESCARTES

a) Considere o esquema, no qual $n_A < n_B$:

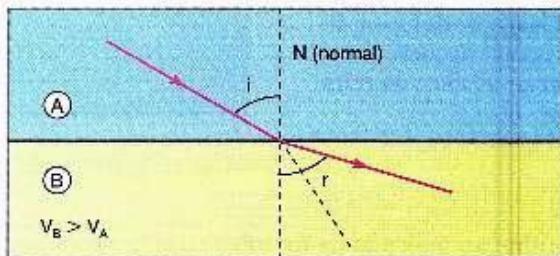


$$\sin i > \sin r$$

Se $n_A < n_B$, temos: $n_A \cdot \sin i = n_B \cdot \sin r \rightarrow \sin i > \sin r \therefore i > r$

Ao passar de um meio menos refringente para outro mais refringente, o raio de luz se aproxima da normal.

b) Considere o esquema, em que $n_A > n_B$:



$$\sin i < \sin r$$

Se $n_A > n_B$, temos: $n_A \cdot \sin i = n_B \cdot \sin r \rightarrow \sin i < \sin r \therefore i < r$

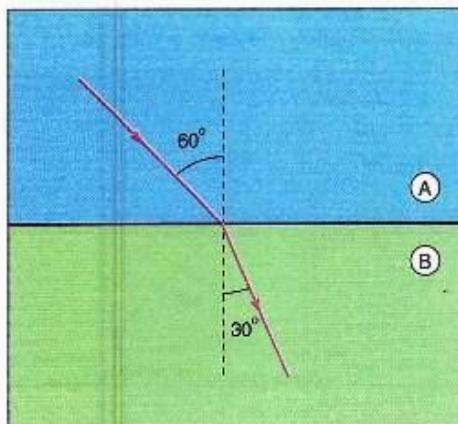
Ao passar de um meio mais refringente para outro menos refringente, o raio de luz se afasta da normal.

APLICAÇÃO

A13

Um raio luminoso monocromático passa de um meio *A* para um meio *B*, conforme indica a figura ao lado. O meio *A* é o ar, onde $n_A = 1$ e $v_A = 300\,000$ km/s.

- Qual o índice de refração absoluto do meio *B*?
- Qual a velocidade do raio luminoso no meio *B*?



Resolução:

a) Utilizando a lei de Snell-Descartes, temos:

$$n_A \cdot \sin 60^\circ = n_B \cdot \sin 30^\circ \rightarrow 1 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = n_B \cdot \frac{1}{2} \rightarrow n_B = \sqrt{3}$$

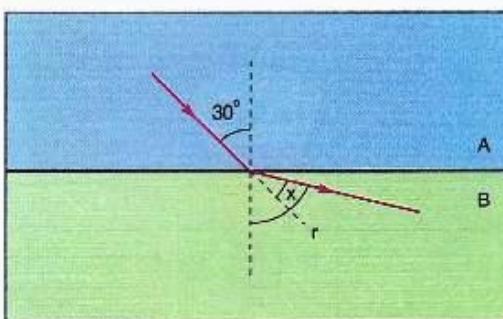
$$b) \frac{n_A}{n_B} = \frac{v_B}{v_A} \rightarrow \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{v_B}{300\,000} \rightarrow v_B = 100\,000\sqrt{3} \text{ km/s}$$

Respostas: a) $\sqrt{3}$; b) $100\,000\sqrt{3}$ km/s

QUESTÕES

Q69 Enuncie as leis da refração.

Q70 Um raio de luz passa do meio *A* para o meio *B*, conforme a figura.



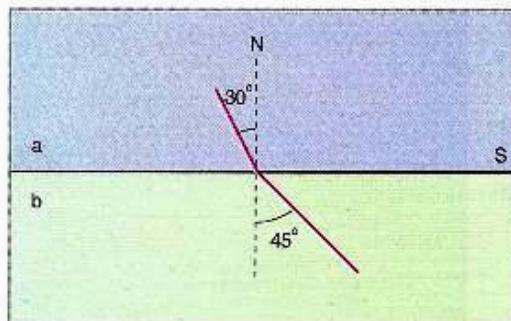
Sabendo que $n_A = \sqrt{3}$ e $n_B = 1$, calcule:

- o ângulo de refração r 60°
- o ângulo de desvio x 30°

Q71 Considere as afirmações acerca da refração da luz.

- Ela ocorre somente com desvio dos raios luminosos.
 - O raio refratado se aproxima da normal no meio mais refringente.
 - A refração somente ocorre do meio menos refringente para o mais refringente.
 - No meio mais refringente a velocidade da luz é menor.
- Quais afirmações são corretas? II e IV

- Q72** (UMC-SP) Um raio de luz atravessa a superfície S de separação de dois meios transparentes, a e b . Na figura, o sentido do raio de luz não está indicado, mas sabe-se que o índice de refração absoluto do meio b vale $\sqrt{2}$.



Dados:

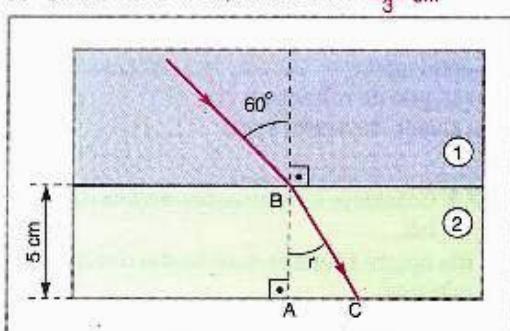
$$\sin 30^\circ = 0,5; \sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2};$$

$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ (velocidade da luz no vácuo)

Perguntamos:

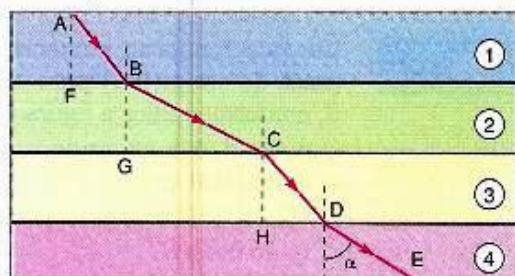
- Qual dos meios é o mais refringente? **meio a**
- Qual o índice de refração absoluto do meio a ? **2**
- Qual a velocidade com que a luz se propaga no meio a ? **$1,5 \cdot 10^8 \sqrt{2} \text{ m/s}$**
- Qual o índice de refração do meio a em relação ao meio b ? **$\sqrt{2}$**

- Q73** Na figura são apresentados um meio $\textcircled{1}$ e um meio $\textcircled{2}$. A luz passa do meio $\textcircled{1}$ para o meio $\textcircled{2}$ seguindo a trajetória indicada. Dados: $n_1 = \sqrt{3}$ e $n_2 = 3$.
- Qual o valor do ângulo r ? **30°**
 - Qual o valor da distância AC ? **$\frac{5\sqrt{3}}{3} \text{ cm}$**



- Q74** (EEM-SP) Um raio de luz percorre a poligonal ABCDE, atravessando quatro meios ópticos diferentes ($\textcircled{1}$, $\textcircled{2}$, $\textcircled{3}$, $\textcircled{4}$), cujas superfícies de separação são planas e paralelas. São dados os comprimentos: $AB = 2,0 \text{ cm}$; $BC = 4,0 \text{ cm}$;

$CD = 2,0 \text{ cm}$; $FB = 1,0 \text{ cm}$; $GC = 2,8 \text{ cm}$ e $HD = 0,70 \text{ cm}$. Os meios $\textcircled{2}$ e $\textcircled{4}$ são o vácuo.



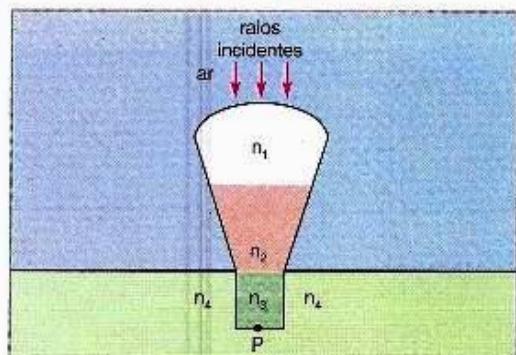
Determine:

- o índice de refração do meio 1 **1,4**
- o seno do ângulo α **0,7**

- Q75** (Vunesp-SP) Quando um feixe de luz, propagando-se no ar, incide sobre a superfície plana de separação entre o ar e um meio transparente como, por exemplo, a água ou o vidro, ocorrem simultaneamente a refração e a reflexão. Nesse caso, dizemos que a luz sofre uma reflexão parcial. Descreva, sucintamente, pelo menos uma situação, presenciada por você no decorrer de sua vida diária, que sirva como uma evidência para isso, ou seja, que nos mostre que nesses casos a luz também sofre reflexão.

resposta pessoal

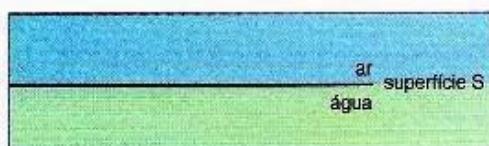
- Q76** (UFJF-MG) Um olho de inseto é composto de unidades chamadas omatídeos, esquematizadas na figura abaixo. Sabendo que os índices de refração (n) dos diversos meios são tais que $n_2 > n_1 > n_{ar}$ e que $n_3 > n_4$ e $n_3 > n_2$, descreva como a luz se propaga do ar até o ponto P . Explique o que ocorre quando a luz incide em cada superfície de separação entre meios distintos (despreze a absorção da luz em qualquer situação). Sugestão: desenhe trajetórias típicas para os raios luminosos, considerando a lei de Snell-Descartes. **resposta no final do livro**



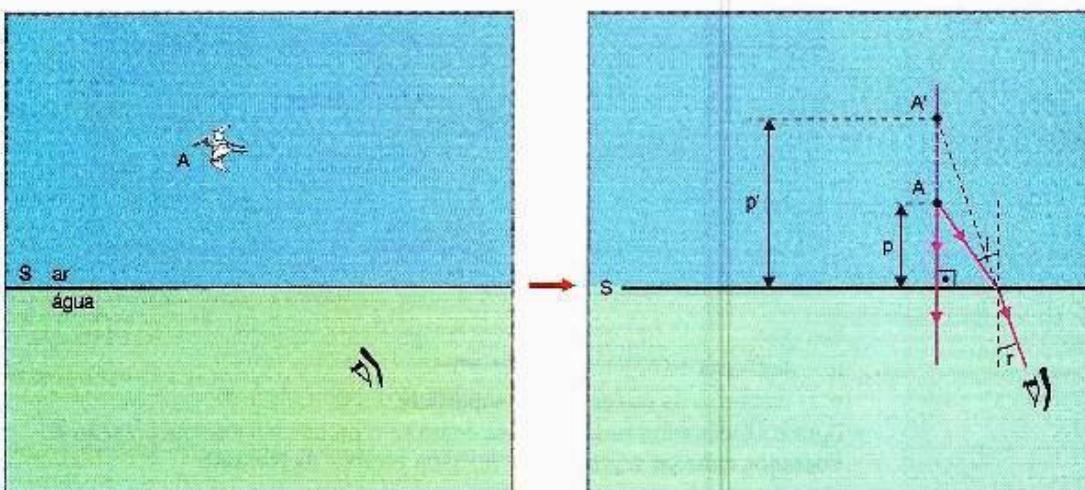
DIOPTRO PLANO

É todo sistema formado por dois meios, homogêneos e transparentes, separados por uma superfície S plana denominada *fronteira*.

Como exemplo, podemos citar o ar e a água de uma piscina.



O esquema a seguir representa uma pessoa dentro da água (observador) enxergando um pássaro A que se encontra no ar.



Para determinarmos a imagem A' do ponto objeto A (pássaro), traçamos dois raios incidentes:

- ✓ O primeiro incide perpendicularmente à superfície S e se refrata sem sofrer desvio.
- ✓ O segundo incide formando um ângulo i com a normal e se refrata com um ângulo r se aproximando da normal.

No cruzamento dos prolongamentos dos raios refratados obtemos a imagem A' do ponto A .

Observa que a imagem A' é *virtual* e mais *afastada* da superfície S .

Para pequenos ângulos de incidência, isto é, quando o objeto é observado em incidência praticamente normal, vale a equação:

$$\frac{n_{\text{observador}}}{n_{\text{objeto}}} = \frac{p'}{p}$$

Em que:

p = distância do objeto à superfície

p' = distância da imagem à superfície

APLICAÇÃO

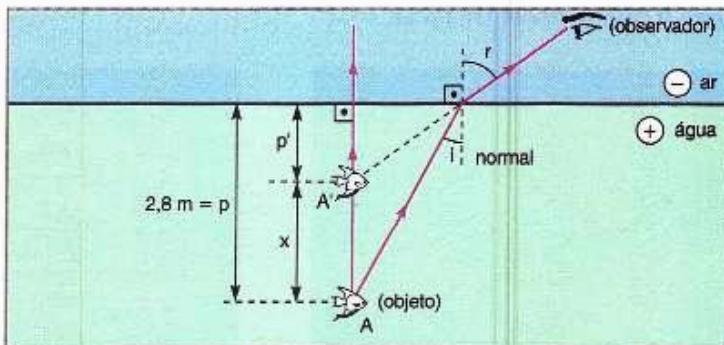
A 14

Um pescador vê um peixe num lago. O peixe encontra-se a 2,8 m de profundidade da superfície livre da água. Sabe-se que o índice de refração absoluto do ar é igual a 1 e o da água, $\frac{4}{3}$.

- Qual a profundidade aparente em que o pescador vê o peixe?
- Qual a elevação aparente do peixe?

Resolução:

- a) Para determinarmos a imagem A' do ponto objeto A (peixe), traçamos dois raios incidentes:



Em que:

p = distância do objeto até a superfície

p' = distância da imagem até a superfície

Para o observador, tudo se passa como se o peixe estivesse na posição A' . Podemos calcular a posição da imagem através da fórmula:

$$\frac{n_{\text{observador}}}{n_{\text{objeto}}} = \frac{p'}{p} \rightarrow \frac{n_{\text{ar}}}{n_{\text{água}}} = \frac{p'}{p} \rightarrow \frac{\frac{4}{3}}{1} = \frac{p'}{2,8} \rightarrow p' = 2,1 \text{ m}$$

- b) A elevação aparente, x , é dada por:

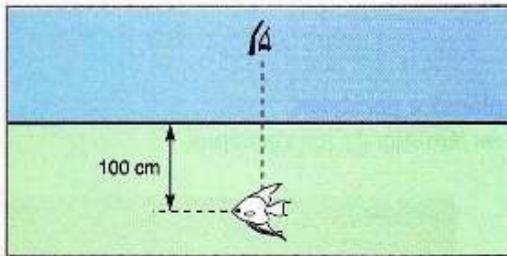
$$x = p - p' \rightarrow x = 2,8 - 2,1 \rightarrow x = 0,7 \text{ m}$$

O tamanho da imagem do peixe é igual ao tamanho dele, pois a água apenas aproxima o peixe de quem está olhando, dando a impressão de que ele é maior.

Respostas: a) 2,1 m; b) 0,7 m

QUESTÕES

Q77 Um peixe encontra-se a 100 cm da superfície da água, na mesma vertical que passa pelo olho do observador, como é mostrado na figura.

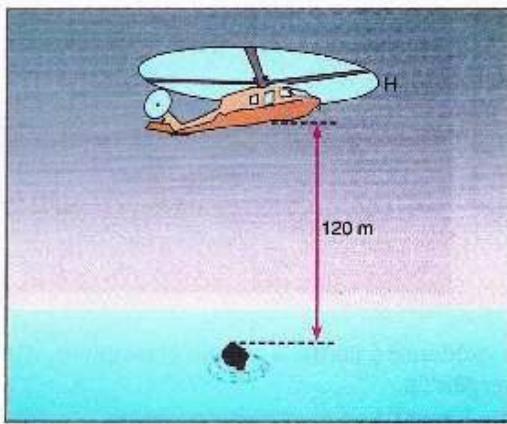


O índice de refração da água é $\frac{4}{3}$.

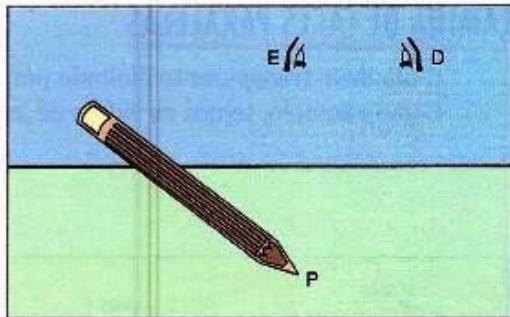
- Calcule a posição da imagem do peixe conjugada pelo dioptrômetro água-ar. 75 cm
- Determine a elevação aparente do peixe. 25 cm

Q78 (FEI-SP) Numa aula de natação, o professor atira uma moeda na água e pede a um de seus alunos que vá buscá-la. O aluno observa a moeda e estima a profundidade da piscina em 1,5 m. Determine a profundidade real da piscina. (Dados: $n_{\text{ar}} = 1$ e $n_{\text{água}} = \frac{4}{3}$) 2 m

Q79 Um helicóptero H está a 120 m do nível do mar. Determine a altura aparente do helicóptero vista por um mergulhador colocado dentro da linha da água. Dado: $n_{\text{água do mar}} = \frac{3}{2}$. 180 m



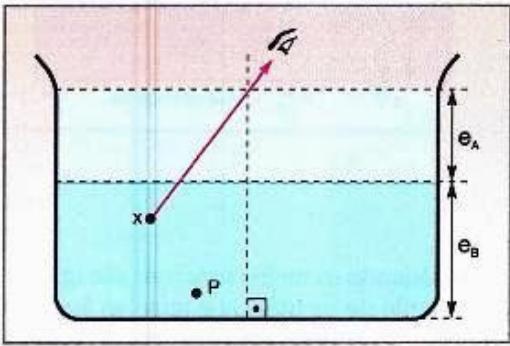
Q80 (Unicamp-SP) Considere um lápis enfiado na água, um observador com o olho esquerdo, E , na vertical que passa pelo ponto P , na ponta do lápis, e o olho direito, D , no plano do lápis e de E . *respostas no final do livro*



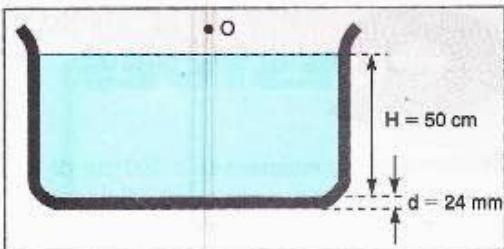
- Reproduza a figura e desenhe os raios luminosos que saem da extremidade P e atingem os dois olhos do observador.
- Marque a posição da imagem de P vista pelo observador.

Q81 (UFBA) Um objeto pontual P encontra-se na base de um recipiente que contém duas camadas de líquidos, A e B , com espessuras $e_A = 28$ cm e $e_B = 39$ cm. Os líquidos são homogêneos, transparentes e imiscíveis. Considere o índice de refração do ar igual a 1 e o dos líquidos A e B , 1,4 e 1,3, respectivamente.

Conforme indica a figura, um observador olhando numa direção aproximadamente perpendicular à base do recipiente, enxergará P na posição x . Determine, em centímetros, a distância entre x e a superfície livre do líquido. $\approx 24,8$ cm



Q82 (UFPE) Um aquário feito de um vidro com 24 mm de espessura e índice de refração igual a $\frac{3}{2}$ está cheio de água (índice de refração $\frac{4}{3}$) até uma profundidade de 50 cm. Qual é a espessura aparente (em milímetros) da parede do fundo do aquário quando vista verticalmente através do ar por um observador em O ? 149\text{ mm}



LÂMINA DE FACES PARALELAS

É um meio transparente limitado por faces planas e paralelas.

Como exemplo, temos os vidros de janela e as lâminas de microscópio.

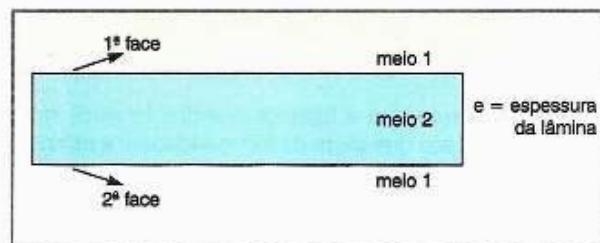
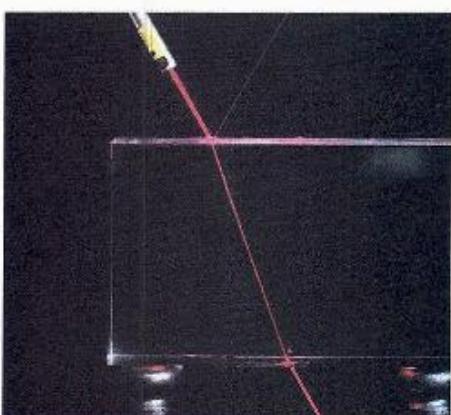
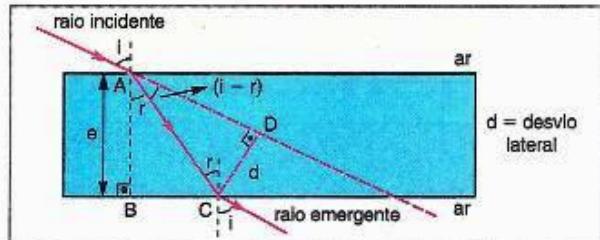


Foto: Sérgio Donato Jr/The West

Para estudar o trajeto de um raio luminoso ao atravessar a lâmina, veja a figura seguinte:



Quando os meios externos são iguais, o raio incidente é paralelo ao raio emergente, isto é, o ângulo de incidência é igual ao ângulo de emergência.

Observe que o raio incidente sofre um desvio lateral d ao atravessar a lâmina.

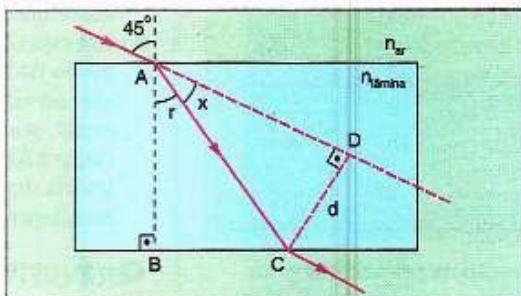
APLICAÇÃO

A 15

Uma lâmina de faces paralelas, de espessura 4 cm, é constituída de um material de índice de refração $\sqrt{2}$. Um raio de luz, propagando-se no ar, incide na lâmina formando ângulo de 45° com a normal. Calcule o desvio lateral sofrido pelo raio de luz incidente. Use $\sin 15^\circ = 0,26$ e $\sqrt{3} = 1,7$.

Resolução:

Desenhando o trajeto do raio de luz, temos:



- Cálculo de r :

$$n_{ar} \cdot \sin i = n_{lamina} \cdot \sin r \rightarrow n_{ar} \cdot \sin 45^\circ = n_{lamina} \cdot \sin r \rightarrow 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \sqrt{2} \cdot \sin r \\ \sin r = \frac{1}{2} \rightarrow r = 30^\circ$$

- Cálculo de d :

$$x + r = 45^\circ \rightarrow x + 30^\circ = 45^\circ \rightarrow x = 15^\circ$$

No $\triangle ABC$, temos:

$$\cos 30^\circ = \frac{\overline{AB}}{\overline{AC}} \rightarrow \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{4}{\overline{AC}} \rightarrow \overline{AC} = \frac{8\sqrt{3}}{3} \text{ cm} \rightarrow \overline{AC} = 4,53 \text{ cm}$$

No $\triangle ADC$, temos:

$$\sin x = \frac{\overline{CD}}{\overline{AC}} \rightarrow \sin 15^\circ = \frac{d}{\frac{8\sqrt{3}}{3}} \rightarrow 0,26 = \frac{d}{4,53} \rightarrow d = 1,18 \text{ cm}$$

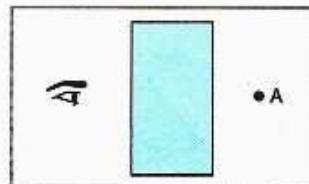
Resposta: 1,18 cm

QUESTÕES

Q83 Um raio de luz monocromática incide, segundo um ângulo de 60° com a normal, em uma lâmina de faces paralelas de espessura 6 cm. Sabendo que a lâmina está imersa no ar e o índice de refração absoluto do material de que é constituído é $\sqrt{3}$, determine o desvio lateral do raio de luz incidente. $2\sqrt{3} \text{ cm}$

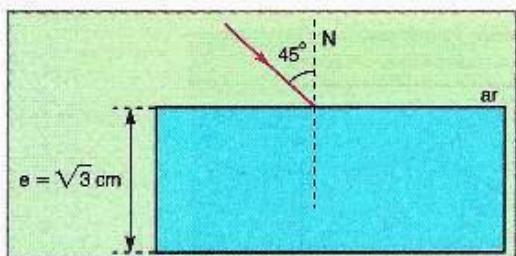
Q84 Construa a imagem do ponto objeto A visto através de vidro indicado na figura.

resposta no final do livro



Q85 (ENCE-RJ) Uma lâmina de faces paralelas de espessura $e = \sqrt{3}$ cm é constituída de material de índice de refração $n = \sqrt{2}$. Um raio de luz propagando-se no ar, índice de refração $n_{ar} = 1,0$, incide na primeira face da lâmina com um ângulo de incidência de 45° .

Dados: $\cos 45^\circ = \sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}$; $\cos 60^\circ = \sin 30^\circ = 0,5$; $\cos 30^\circ = \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$, determine:



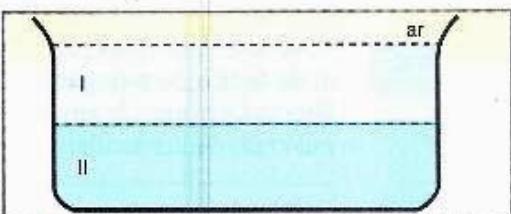
- a) o ângulo de refração na primeira face 30°
- b) o intervalo de tempo que a luz leva para atravessar a lâmina de faces paralelas, considerando-se a velocidade da luz no ar $v = 3,0 \cdot 10^8$ m/s $\approx 0,9 \cdot 10^{-10}$ s

Q86 (VUNESP) Observe a tabela:

SUBSTÂNCIA LÍQUIDA (ORDEN ALFABÉTICA)	MASSA ESPECÍFICA (g/cm³)	ÍNDICE DE REFRAÇÃO EM RELAÇÃO AO AR
água	1,00	1,33
dissulfeto de carbono	1,26	1,63

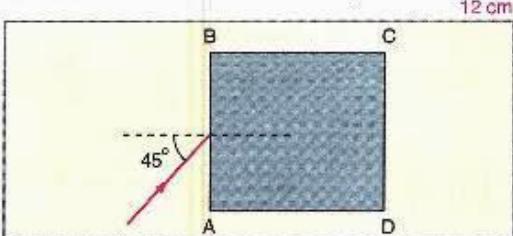
Volumes iguais desses dois líquidos foram colocados cuidadosamente em um recipiente cilíndrico de grande diâmetro, mantido em repouso sobre uma superfície horizontal, formando-se

duas camadas distintas, I e II, de mesma altura, conforme figura:



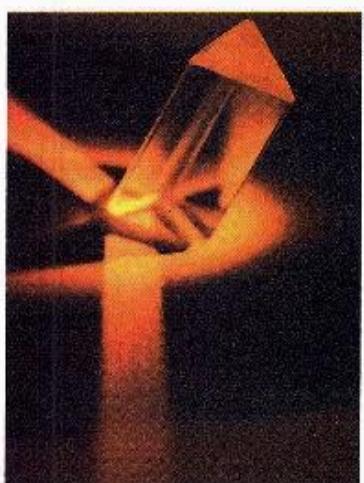
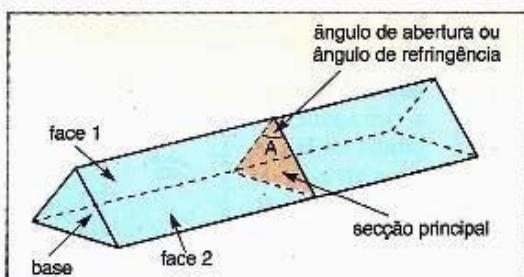
- a) Qual dessas substâncias forma a camada I?
Justifique sua resposta. água: massa específica menor
- b) Um raio de luz incide com ângulo $i > 0^\circ$ num ponto da superfície do líquido I e se refrata sucessivamente, nas das superfícies de separação, atingindo o fundo do recipiente.
Copie a figura e esboce qualitativamente a trajetória desse raio, desde o ar até o fundo do recipiente. resposta no final do livro

Q87 (UFPE-UFRPE) A figura mostra uma lâmina quadrada ABCD de lado igual a 18 cm e espessura constante, colocada sobre uma mesa. A lâmina é transparente e tem índice de refração $\frac{5\sqrt{2}}{6}$. Um feixe de luz, paralelo ao tampo da mesa, incide sobre a lâmina, no meio do lado AB, formando um ângulo de 45° . A quantos centímetros do vértice B o raio refratado atinge o lado BC?

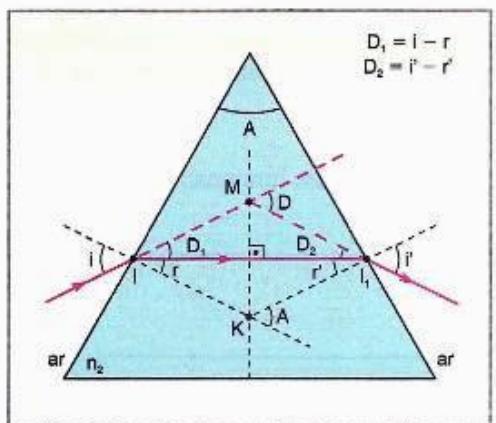


PRISMA ÓPTICO

Denomina-se prisma óptico todo meio homogêneo e transparente limitado por duas faces planas não-paralelas.



O caminho de um raio de luz ao atravessar o prisma é indicado na figura a seguir:



i = ângulo de incidência na 1^a face

r = ângulo de refração na 1^a face

r' = ângulo de incidência na 2^a face

i' = ângulo de refração na 2^a face ou ângulo de emergência

D_1 = desvio angular na 1^a face

D_2 = desvio angular na 2^a face

D = desvio angular total

A = ângulo de abertura ou ângulo de refringência

Como em um triângulo o ângulo externo é igual à soma dos ângulos internos não-adjacentes, o desvio angular total pode ser obtido pela igualdade:

$$\Delta \text{II}_1 K \rightarrow A = r + r'$$

$$\begin{aligned} \Delta \text{II}_1 M &\rightarrow D = D_1 + D_2 \\ &D = (i - r) + (i' - r') \\ &D = i + i' - (r + r') \end{aligned}$$

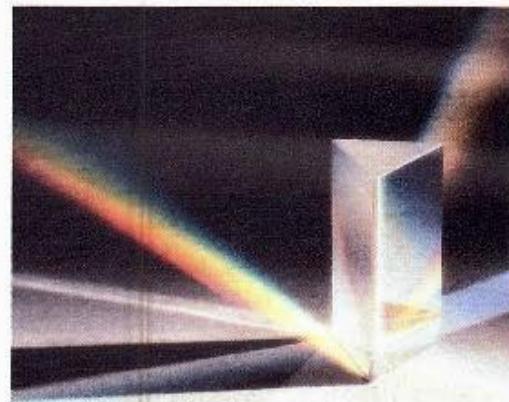
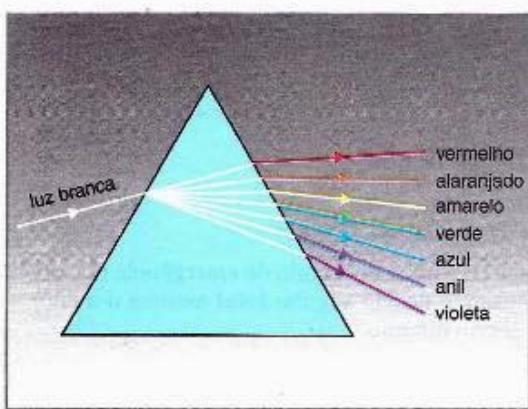
$$D = i + i' - A$$

O prisma pode ser utilizado para fazer a decomposição da luz branca.

Fazendo um feixe de luz branca incidir sobre um prisma, ela se decompõe em vários componentes, conforme mostra a figura a seguir.

Esta experiência mostra que a luz branca é composta de sete componentes coloridos, isto é, ela é policromática. A esse fenômeno dá-se o nome de *dispersão luminosa*.

Observando o fenômeno da dispersão luminosa, verifica-se que o componente que mais se desvia é o violeta e o que menos se desvia é o vermelho.



Eduardo Sampaio/Syntex

APLICAÇÃO

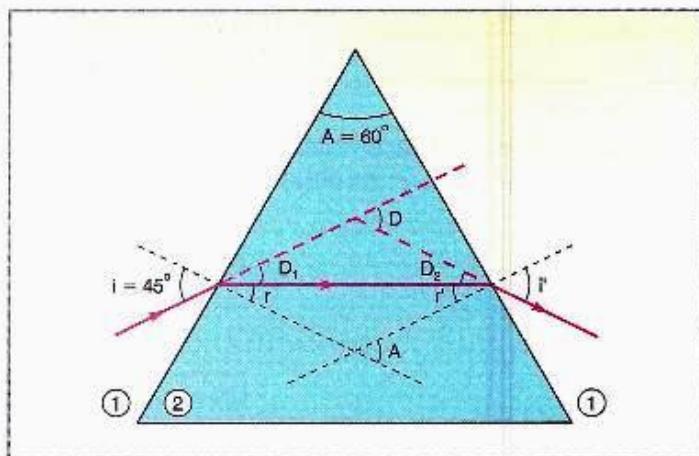
A 16

Um raio de luz incide num prisma imerso no ar sob um ângulo de incidência de 45° . O prisma tem ângulo de abertura 60° e índice de refração absoluto $\sqrt{2}$.

- Calcule o ângulo de refração na 1ª face.
- Calcule o ângulo de refração na 2ª face.
- Determine o desvio angular total sofrido pelo raio luminoso ao atravessar o prisma.

Resolução:

a) Esquema:



• Cálculo de r :

$$n_1 \cdot \sin 45^\circ = n_2 \cdot \sin r \rightarrow 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \sqrt{2} \cdot \sin r \rightarrow \sin r = \frac{1}{2} \rightarrow r = 30^\circ$$

b) Cálculo de r' :

$$A = r + r' \rightarrow 60 = 30 + r' \rightarrow r' = 30^\circ$$

• Cálculo de i' :

$$n_2 \cdot \sin r' = n_1 \cdot \sin i' \rightarrow \sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} = 1 \cdot \sin i' \rightarrow \sin i' = \frac{\sqrt{2}}{2} \rightarrow i' = 45^\circ$$

c) Cálculo de D :

$$D_1 = i - r \rightarrow D_1 = 45^\circ - 30^\circ = 15^\circ$$

$$D_2 = i' - r' \rightarrow D_2 = 45^\circ - 30^\circ = 15^\circ$$

$$D = D_1 + D_2 \rightarrow D = 15^\circ + 15^\circ \rightarrow D = 30^\circ$$

Ou usando a fórmula:

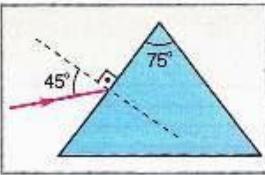
$$D = i + i' - A \rightarrow D = 45^\circ + 45^\circ - 60^\circ \rightarrow D = 30^\circ$$

Quando o ângulo de incidência (i) é igual ao ângulo de emergência (i'), obtemos também $r = r'$. Neste caso, o desvio angular total assume o menor valor possível e é chamado desvio mínimo.

Respostas: a) 30° ; b) 45° ; c) 30°

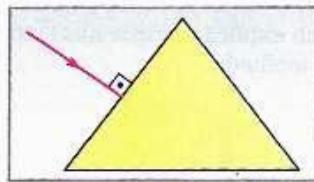
QUESTÕES

Q88 Um prisma de vidro tem índice de refração $\sqrt{2}$ e ângulo de abertura 75° . Um raio de luz monocromática, propagando-se no ar, incide numa das faces do prisma sob ângulo de 45° com a normal. Determine:



- o ângulo de refração na 1ª face 30°
- o desvio angular na 1ª face 15°
- o ângulo de incidência na 2ª face 45°
- o ângulo de refração na 2ª face 90°
- o desvio angular na 2ª face 45°
- o desvio angular total 60°

Q89 O prisma da figura tem índice de refração $\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$ e está imerso no ar.



Sabendo que o ângulo de emergência do raio luminoso é 60° , calcule:

- o ângulo de refringência do prisma 45°
- o desvio angular total 15°

Q90 (EFOA-MG) Um feixe de luz branca ao atravessar um prisma, imerso no ar, sofre dispersão, dando origem a um espectro colorido.

- Faça um esboço gráfico desenhando o prisma e o feixe de luz incidindo, atravessando e emergindo desse prisma.
- Que propriedade do prisma ocasiona a dispersão da luz branca? Por quê?

respostas no final do livro

Q91 Usando conceitos físicos, explique o seguinte fato:

Quando se observa um cristal iluminado por luz branca, é possível perceber cintilações coloridas.

E porque a luz branca sofre dispersão dentro do cristal.

Q92 O desvio mínimo sofrido por um raio de luz ao atravessar um prisma é 30° . O ângulo de abertura do prisma é 90° e ele está imerso no ar. Determine:

- o ângulo de incidência na 1ª face 60°
- o índice de refração do prisma $\frac{\sqrt{6}}{2}$

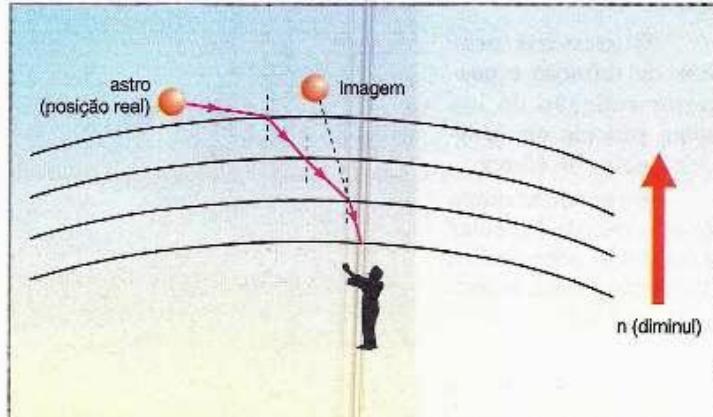
FENÔMENOS QUE OCORREM POR REFRAÇÃO OU REFLEXÃO

ALTURA APARENTE DOS ASTROS

A atmosfera é formada de camadas de ar de densidades diferentes.

O índice de refração dessas camadas de ar diminui com o aumento da altitude.

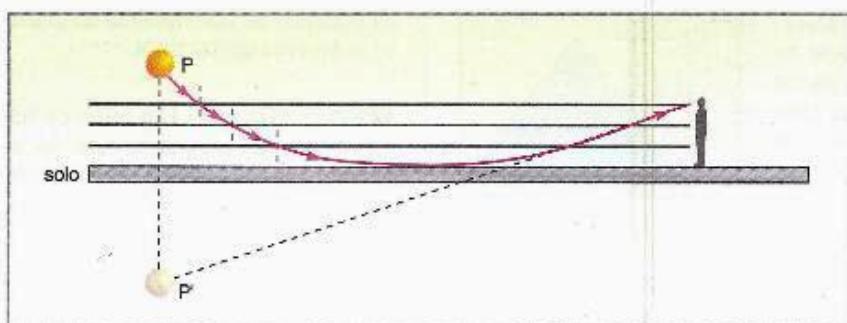
Um raio de luz proveniente do astro sofre sucessivas refrações nas camadas de ar, aproximando-se da normal, e sua imagem se apresenta numa posição mais elevada.



MIRAGEM

A densidade e o índice de refração diminuem com o aumento da temperatura.

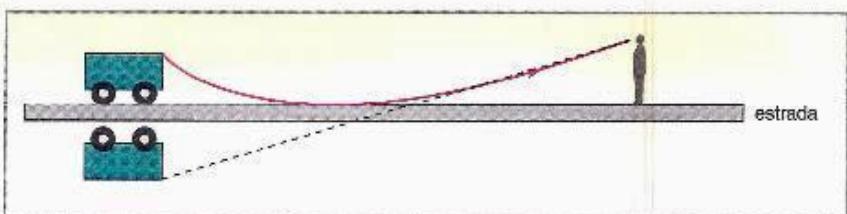
Em dias quentes, as camadas de ar nas proximidades do solo são mais quentes que as camadas superiores. Portanto, os raios de luz provenientes de pontos elevados atravessam camadas de ar de índice de refração cada vez menores, afastando-se das normais.



A incidência alcança o ângulo limite. Para um ângulo de incidência maior que o ângulo limite há reflexão total. Um observador, recebendo os raios refratados, vê o ponto P no simétrico P' e a imagem invertida.

Como o observador vê o objeto e a imagem ao mesmo tempo, ele tem a ilusão de existir água no solo refletindo a luz.

Esse fenômeno ocorre muito nos desertos e também explica por que nas estradas, em dias quentes, temos a impressão de que ela se apresenta molhada.



ARCO-ÍRIS

O arco-íris provém de refração e posterior reflexão da luz solar, quando ela atravessa gotas de chuva.

Ao penetrar numa gota, o raio de luz solar é refratado, ocorrendo a dispersão da luz e posterior reflexão.



Eric Stock Photo

QUESTÕES

Q93 (UFRJ) A figura mostra uma estrela localizada no ponto O , emitindo um raio de luz que se propaga até a Terra. Ao atingir a atmosfera, o raio desvia-se da trajetória retílinea original, fazendo com que um desvio do raio de luz deva-se ao fato de o índice de refração da atmosfera variar com a altitude. Exemplifique por que o desvio ocorre do modo indicado na figura, respondendo se o índice de refração cresce ou diminui à medida que a altitude aumenta. (Na figura, a espessura da atmosfera e o desvio do raio foram grandemente exagerados para mostrar com clareza o fenômeno.)

resposta no final do livro



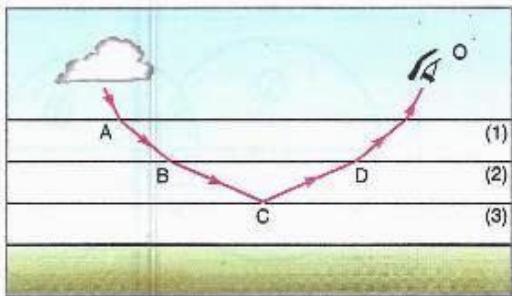
Q94 Um raio luminoso proveniente de uma nuvem atinge a vista do observador O , seguindo a trajetória indicada.

Analise as afirmações:

- O índice de refração do ar é crescente da região atmosférica (1) para a região atmosférica (3).
- No ponto B o raio luminoso sofre uma reflexão luminosa.
- No ponto C o raio luminoso sofre uma reflexão total.

IV. No ponto D o raio luminoso sofre uma refração.

Quais estão corretas? **III e IV**



Q95 Nas estradas, durante dias quentes, temos a impressão de que ela está molhada. Como podemos justificar esse fato?

Q96 Com respeito ao fenômeno do arco-íris, pode-se afirmar que:

- Se uma pessoa observa um arco-íris à sua frente, então o Sol está necessariamente a oeste.
 - O Sol sempre está à direita ou à esquerda do observador.
 - O arco-íris se forma devido ao fenômeno de dispersão da luz nas gotas de água.
- Das afirmativas mencionadas, quais são corretas? **III**

PESQUISE

- Por que os olhos do bebê mudam de cor durante os primeiros dias de vida?
- O que é e como funciona o CD-ROM?

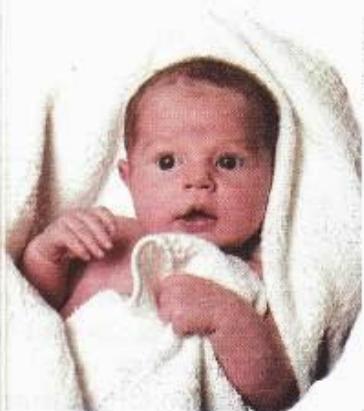
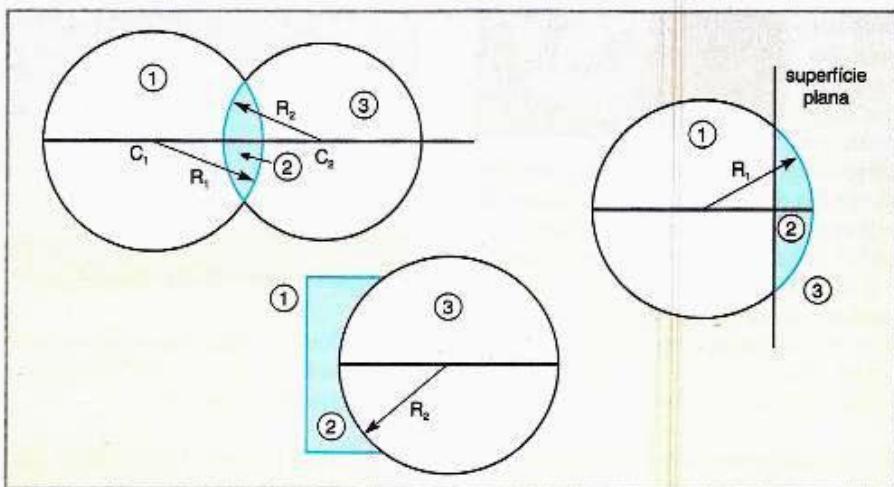


Foto: Photodisc

LENTE ESFÉRICAS

INTRODUÇÃO

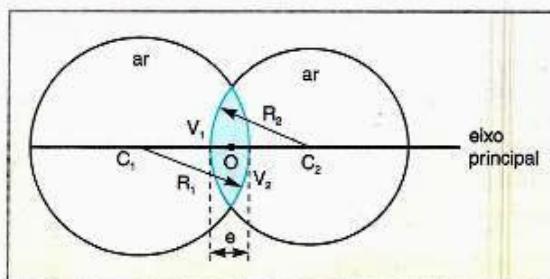
Lente esférica é um sistema óptico constituído por três meios homogêneos e transparentes, separados entre si por duas superfícies esféricas ou por uma superfície esférica e outra plana.



Em nosso curso, consideraremos os meios ① e ③ iguais (geralmente o ar).
As lentes são geralmente constituídas de vidro, acrílico ou cristal.

ELEMENTOS GEOMÉTRICOS

Consideraremos uma lente de índice de refração n_2 imersa no ar.



- ✓ C₁ e C₂ são os centros de curvatura das faces da lente
- ✓ R₁ e R₂ são os raios de curvatura das faces da lente
- ✓ a reta C₁C₂ é o eixo principal
- ✓ V₁ e V₂ são os vértices das faces
- ✓ e é a espessura da lente
- ✓ O é o centro óptico da lente

NOMENCLATURA

Se a espessura da lente diminui do centro para a periferia, ela é dita de *bordos delgados*; em caso contrário, de *bordos espessos*.

Convenciona-se citar, inicialmente, o nome da face que tiver o maior raio de curvatura.

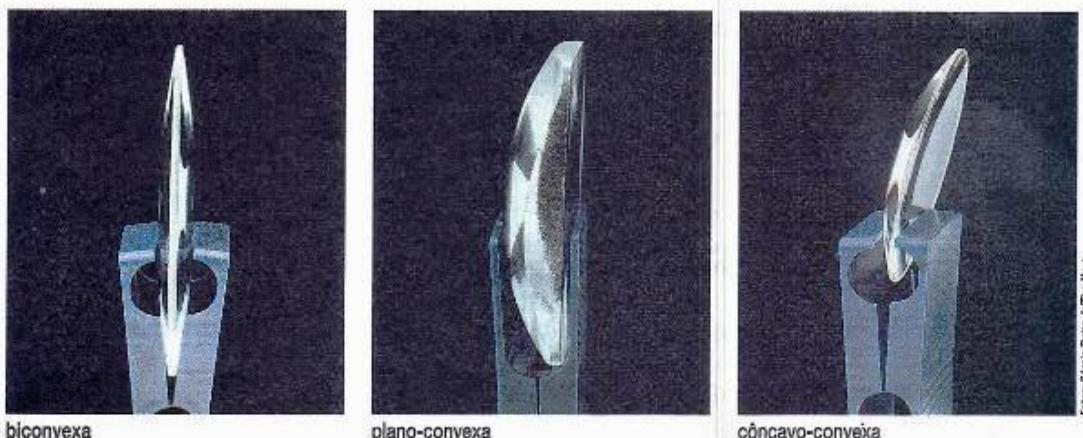
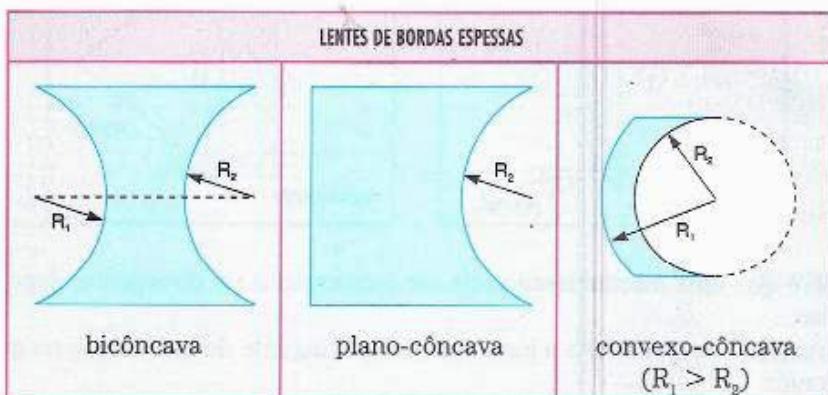
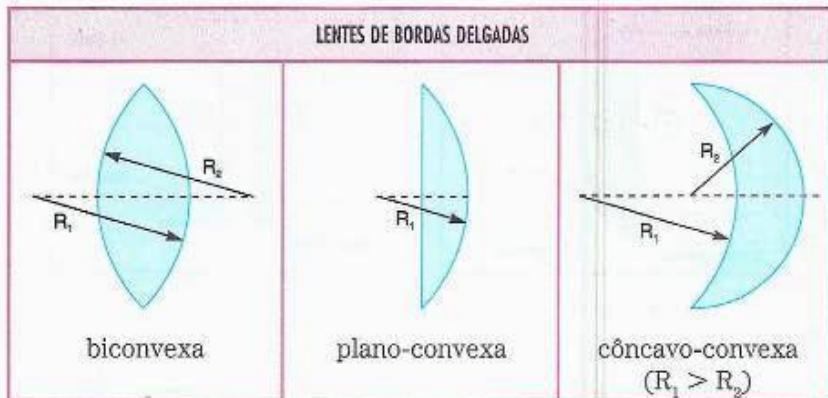
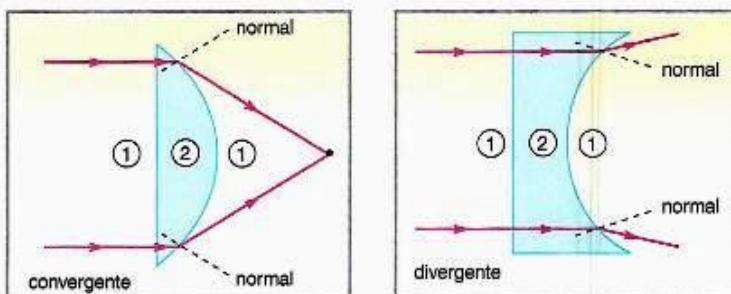


Foto: Sérgio Dantas / W.The Net

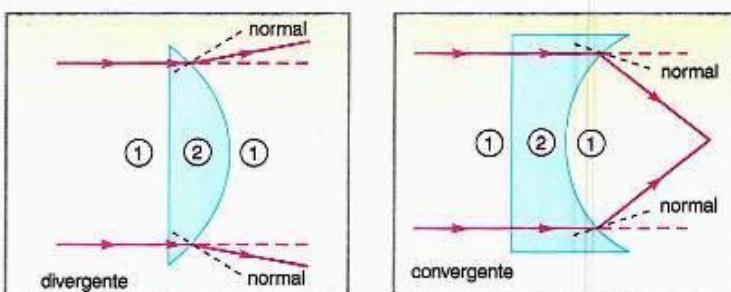
As lentes esféricas se classificam em *convergentes* ou *divergentes*, conforme os raios incidentes paralelos que a atravessam tendam a juntar-se ou separar-se.

Temos dois casos:

1º caso: $n_2 > n_1$



2º caso: $n_2 < n_1$



Observe que uma mesma lente pode ser convergente ou divergente, dependendo do meio externo.

Se o material de que é feita a lente for mais refringente do que o meio no qual ela está imersa, teremos:

- ✓ lente de bordos delgados → convergente
- ✓ lente de bordos espessos → divergente

Como o meio externo, no caso geral, é o ar e, portanto, $n_2 > n_1$, podemos classificar as lentes do seguinte modo:

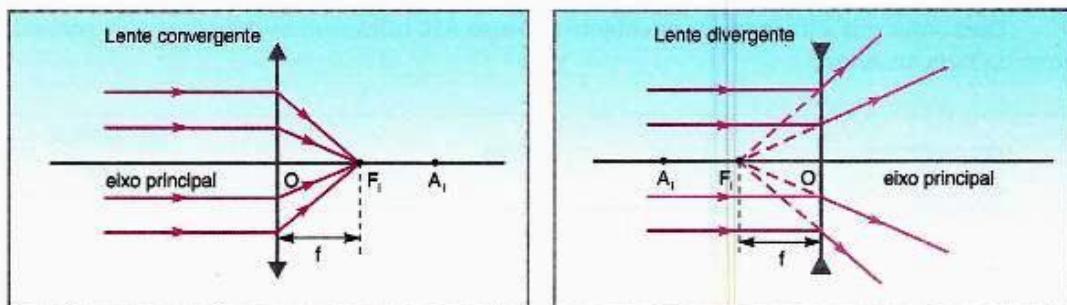


Para que as lentes fornecam imagens nítidas, devem ser obedecidas as seguintes condições de Gauss:

- ✓ espessura desprezível, isto é, lentes finas
- ✓ raios de luz próximos ao eixo principal e pouco inclinados

Focos de uma lente

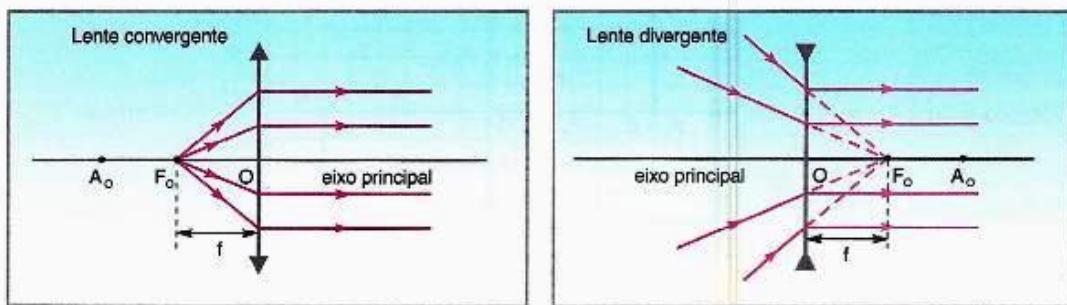
Se um feixe luminoso incidir numa lente paralelamente ao eixo principal, ele se refrata convergendo para um ponto F_i ou divergindo de um ponto F_o do eixo principal, denominado *foco principal imagem* da lente.



A distância de F_i até o centro óptico é denominada *distância focal* f da lente.

Na lente convergente, F_i é real, e na divergente é virtual.

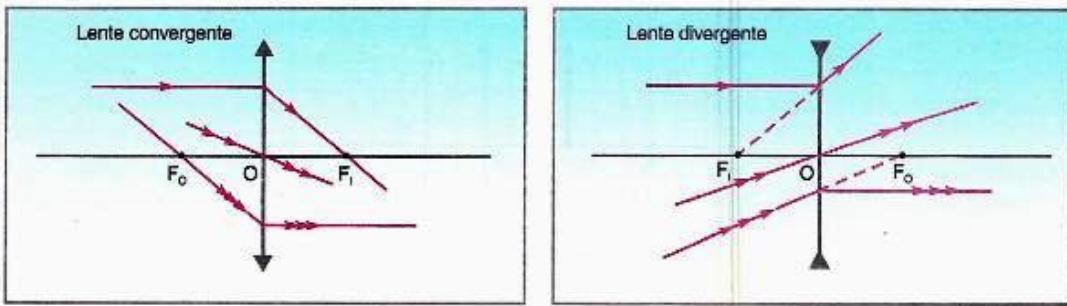
Da mesma forma, denomina-se *foco principal objeto* o ponto F_o do eixo principal em que os raios luminosos dele provenientes ou para ele dirigidos emergem da lente paralelamente ao eixo principal.



Existem ainda os pontos A_o e A_i do eixo principal, cujas distâncias em relação à lente são iguais ao dobro da distância focal, onde A_o é o ponto *antiprincipal objeto* e A_i é o ponto *antiprincipal imagem*.

Raios particulares

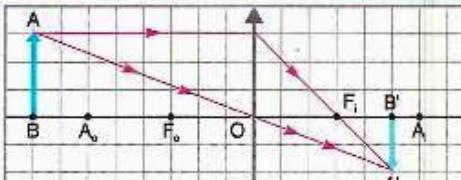
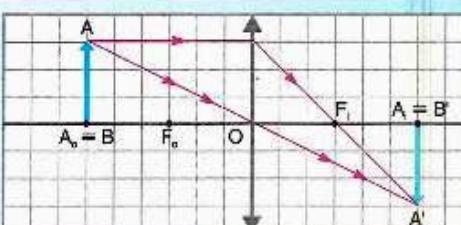
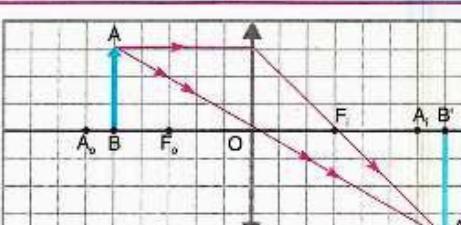
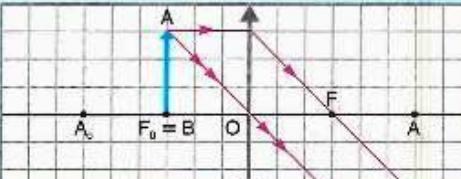
As figuras a seguir representam o trajeto de três raios particulares.

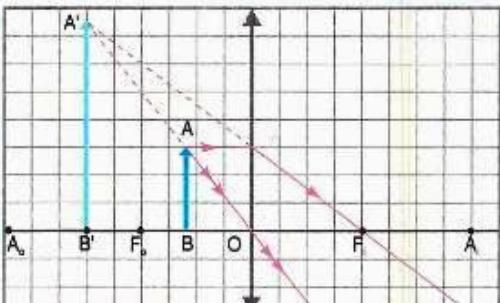


- ✓ Se um raio de luz incidir paralelamente ao eixo principal, emerge passando por F_i .
- ✓ Se um raio de luz incidir passando por O , emerge sem sofrer desvio.
- ✓ Se um raio de luz incidir passando por F_o , emerge paralelamente ao eixo principal.

CONSTRUÇÃO DE IMAGENS

Para construir a imagem de um objeto extenso AB, utilizaremos dois dos raios particulares do item anterior.

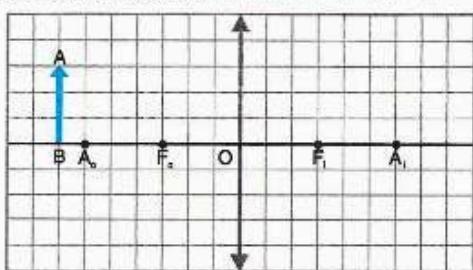
LENTE CONVERGENTE	FIGURA	CARACTERÍSTICAS DE A'B'
Objeto além de A_o	 <p>A câmara fotográfica que conjuga a imagem sobre o filme e o cristalino dos olhos que conjuga a imagem sobre a retina, são aplicações desse caso.</p>	Real Invertida Menor
Objeto sobre A_o		Real Invertida Igual
Objeto entre A_o e F_o	 <p>O projetor de slides e o projetor de cinema são aplicações de lentes usadas dessa maneira para projetar imagens sobre um anteparo (tela).</p>	Real Invertida Maior
Objeto sobre F_o	 <p>As lentes dos faróis e dos holofotes são aplicações deste caso.</p>	Imprópria

LENTE CONVERGENTE	FIGURA	CARACTERÍSTICAS DE A'B'
Objeto entre F_o e O	 <p>A lupa, o microscópio, o binóculo e o telescópio são aplicações deste caso.</p>	Virtual Direita Maior
Numa lente divergente, qualquer que seja a posição do objeto em relação à lente, as características da imagem A'B' são sempre iguais.		Virtual Direita Menor

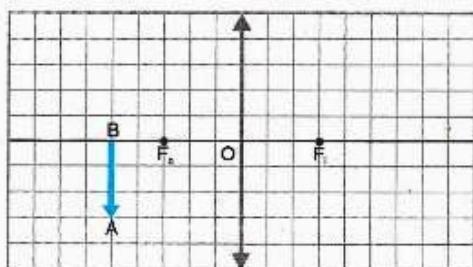
QUESTÕES

Q97 Construa graficamente a imagem do objeto AB em cada caso: respostas no final do livro

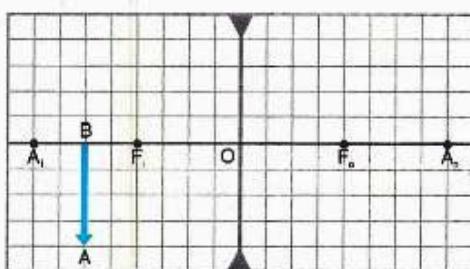
a)



b)



c)

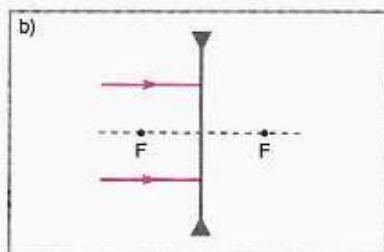
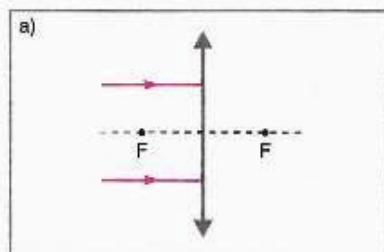


Q98 (UFPel-RS) É comum as crianças, brincando com uma lente, em dias de Sol, atearem fogo em papéis ou em pedaços de madeira, ao concentrarem a luz do Sol nesses materiais.

Considerando essa situação:

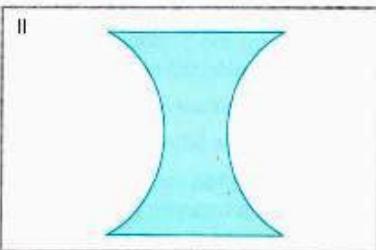
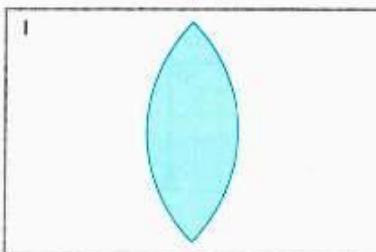
- diga qual o tipo de lente utilizada convergente
- represente, através de um esboço gráfico, onde se forma a imagem do Sol resposta no final do livro
- dê as características dessa imagem Imagem real

Q99 (EFOA-MG) As figuras mostram duas lentes (*a* convergente e *b* divergente), as posições de seus focos e os raios luminosos incidindo nessa lentes paralelamente a seus eixos.



Reproduza essas figuras e desenhe, em seguida, as trajetórias dos raios luminosos após atravessarem cada uma das lentes. [resposta no final do livro](#)

Q100 (PUC-SP) Um objeto está a 80 cm de uma tela, na qual está projetada a sua imagem de tamanho triplicado. Qual das duas lentes (I ou II), situadas no ar, seria a mais adequada para produzir a situação descrita? Qual a posição do objeto em relação à lente? Justifique suas respostas. [lente I; entre \$F_1\$ e O](#)

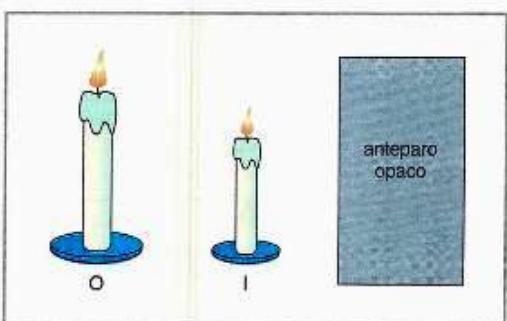


Q101 (UFPel-RS) A lupa é um instrumento óptico barato, fácil de ser encontrado no comércio e com inúmeras utilidades. O modelo de lente delgada pode descrever com boa aproximação o funcionamento desse instrumento. Abaixo tem-se o efeito da lupa.



- Que tipo de lente delgada é usado em uma lupa? [convergente](#)
- Faça a construção geométrica da imagem ampliada que a lupa fornece da letra i da palavra imagem. [resposta no final do livro](#)

Q102 (UFPel-RS) Para sondar o conhecimento dos alunos, em um aula de óptica, o professor monta um sistema óptico escondido por um anteparo opaco. Os estudantes percebem, então, que do objeto real *O* forma-se a imagem *I*, conforme o diagrama abaixo.



Sabendo que o professor dispõe de espelhos planos e esféricos, e de lentes esféricas delgadas, responda às questões seguintes e justifique suas respostas.

- Qual o sistema óptico, composto por uma peça, que o professor está utilizando para obter a imagem ilustrada? [lente divergente](#)
- A imagem obtida pode ser projetada sobre um anteparo? [não](#)

Como funcionam a máquina fotográfica e o projetor de slides?



Nelson Tocino/FotoFolio

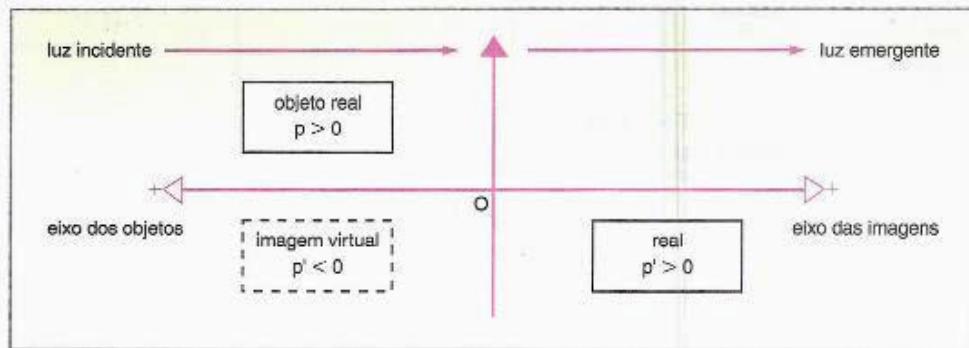


Sergio Doria/Joelma News

ESTUDO ANALÍTICO DAS LENTES ESFÉRICAS

CONVENÇÃO DE SINAIS (REFERENCIAL DE GAUSS)

É constituído por um par de eixos ortogonais com origem no centro óptico da lente.



O eixo das abscissas é o próprio eixo principal.

Orientação do eixo das abscissas: $\begin{cases} \text{eixo dos objetos: contrária à luz incidente} \\ \text{eixo das imagens: a mesma da luz emergente} \end{cases}$

O eixo das ordenadas tem origem no centro óptico da lente, é perpendicular ao eixo principal e tem sentido de baixo para cima.

De acordo com essa convenção, temos:

$$\begin{aligned} \text{Lente convergente} &\rightarrow f > 0 \\ \text{Lente divergente} &\rightarrow f < 0 \end{aligned}$$

EQUAÇÕES DAS LENTES ESFÉRICAS

As equações são as mesmas dos espelhos esféricos.

✓ Equação de Gauss:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'}$$

✓ Equação do aumento linear transversal:

$$A = \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p}$$

APLICAÇÃO

A 17

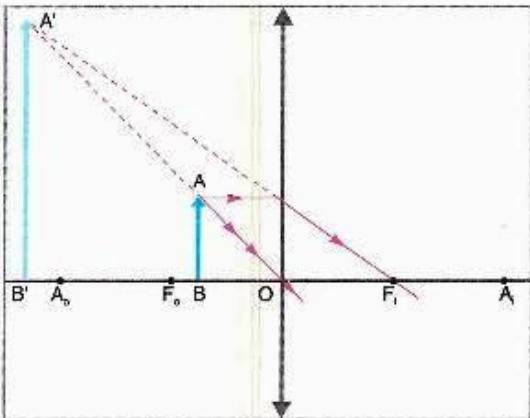
Uma lente convergente funcionando como lupa possui 10 cm de distância focal. Uma pessoa observa a imagem de um objeto de 2 cm de altura, colocado a 8 cm da lente. Determine:

- o tamanho da imagem
- o aumento linear transversal

Resolução:

- a) Desenhando a imagem, temos:

Dados: $\begin{cases} f = 10 \text{ cm} \\ p = 8 \text{ cm} \\ O = 2 \text{ cm} \end{cases}$



• Cálculo de p'

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \rightarrow \frac{1}{10} = \frac{1}{8} + \frac{1}{p'} \rightarrow p' = -40 \text{ cm}$$

$$\frac{i}{o} = \frac{-p'}{p} \rightarrow \frac{i}{2} = \frac{-(-40)}{8} \rightarrow i = 10 \text{ cm}$$

b) Cálculo de A

$$A = \frac{-p'}{p} \rightarrow A = \frac{40}{8} = 5$$

Isso significa que essa lupa fornece uma imagem cinco vezes maior que o objeto.

Respostas: a) 10 cm; b) 5

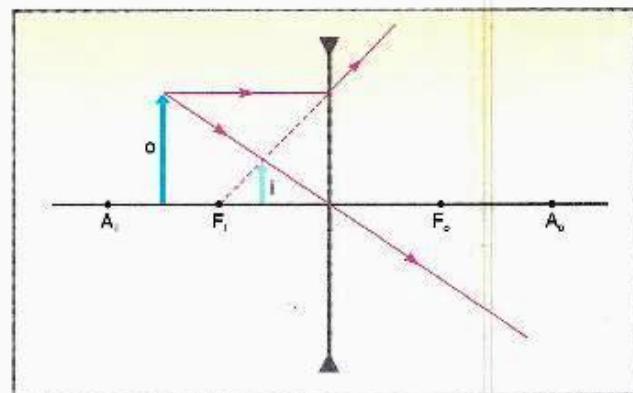
A 18

Um objeto de 10 cm de altura é colocado diante de uma lente divergente a 9 cm da lente. Sendo a distância focal $f = -6$ m, calcule:

- a posição da imagem
- b) a altura da imagem
- c) o aumento linear transversal

Resolução:

a)



Dados: $o = 10$ cm, $p = 9$ cm e $f = -6$ cm

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \rightarrow \frac{1}{-6} = \frac{1}{9} + \frac{1}{p'} \rightarrow p' = -3,6 \text{ cm}$$

$$\text{b)} \frac{i}{o} = -\frac{p'}{p} \rightarrow \frac{i}{10} = -\frac{3,6}{9} \rightarrow i = 4 \text{ cm}$$

$$\text{c)} A = \frac{i}{o} = \frac{4}{10} = 0,4$$

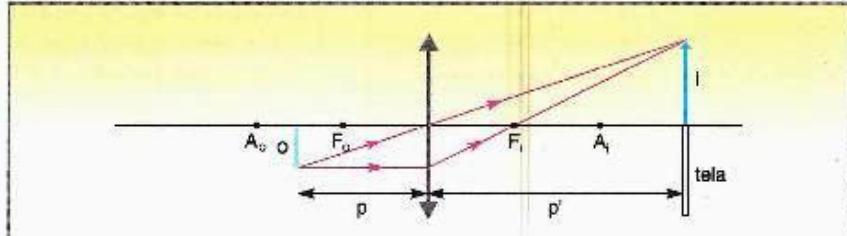
Respostas: a) $-3,6$ cm; b) 4 cm; c) 0,4

A 19

A objetiva de um projetor cinematográfico é uma lente convergente de distância focal 10 cm. Para que seja possível obter uma ampliação de duzentas vezes, determine o comprimento da sala de projeção.

Resolução:

Para se projetar a imagem sobre a tela, a lente deve ser convergente, pois somente imagens reais podem ser projetadas em telas.



Note que o comprimento da sala de projeção é igual ao valor de p' .

Dados: $A = -200$ e $f = 10 \text{ cm}$

$$A = \frac{-p'}{p} \rightarrow -200 = \frac{-p'}{p} \rightarrow p' = 200p \quad ①$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'} \rightarrow \frac{1}{10} = \frac{1}{p} + \frac{1}{200p} \rightarrow p = \frac{2010}{200} \text{ cm} \quad ②$$

Substituindo ② em ①, temos:

$$p' = 200p \rightarrow p' = 2010 \text{ cm} \rightarrow p' = 20 \text{ m}$$

Resposta: = 20 m

QUESTÕES

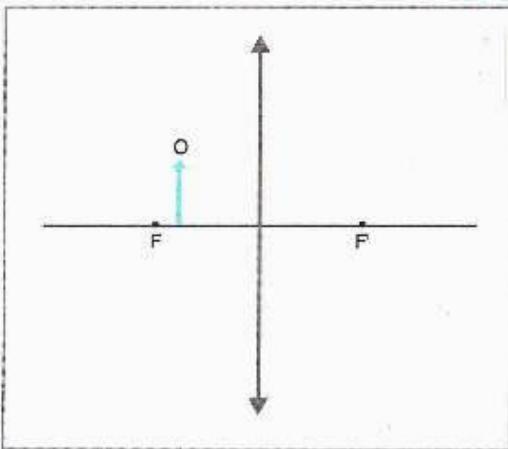
Q103 Um objeto de 10 cm de altura é colocado à distância x diante de uma lente convergente de distância focal 18 cm. Calcule o tamanho da imagem e o aumento linear transversal nos seguintes casos:

- a) $x = 90 \text{ cm}$ $-2.5 \text{ cm e } -\frac{1}{4}$
- b) $x = 36 \text{ cm}$ $-10 \text{ cm e } -1$
- c) $x = 9 \text{ cm}$ $20 \text{ cm e } 2$

Q104 (UFMS) Uma lupa consiste em uma simples lente convergente. Na sua utilização, coloca-se o objeto a ser observado entre a lente e o foco objeto, de preferência próximo a este, conforme a figura abaixo.

Deseja-se observar uma agulha de 3 cm de comprimento, com um lente de 6 cm de distância focal. Calcule o comprimento observado da imagem quando a agulha for colocada a 4 cm da lente.

6 cm



Q105 (UFRJ) Uma vela é colocada a 50 cm de uma lente, perpendicular a seu eixo principal. A imagem obtida é invertida e do mesmo tamanho da vela.

- a) Determine se a lente é convergente ou divergente. Justifique sua resposta. convergente
- b) Calcule a distância focal da lente. 25 cm

Q106 (Fuvest-SP) Uma câmara fotográfica, com lente de distância focal de 5 cm, é usada para fotografar um objeto de 8 m de altura.

- a) Qual a distância do objeto à lente para que o tamanho da imagem no filme seja de 2 cm? -20 m
- b) Dê as características da imagem formada no filme. real, invertida e menor

Q107 (EFOA-MG) Uma criança, brincando com uma lente esférica delgada, projeta a imagem da lâmpada que está no teto do seu quarto sobre sua mesa de estudo. A lâmpada está na mesma vertical do eixo principal da lente.

- a) Que tipo de lente ela está usando: convergente ou divergente? Justifique. convergente
- b) Se a distância da lente à lâmpada é de 1,80 m e a distância da lente à mesa é de 0,20 m, qual a distância focal dessa lente? 0,18 m

Q108 (UFRJ) Você examina um selo raro com o auxílio de uma lupa de distância focal igual a 12 cm. Calcule a que distância da lupa deve ser colocado o selo a fim de que as dimensões lineares do objeto sejam ampliadas três vezes na imagem. O selo deve ser colocado a 8 cm da lupa.

Q109 (CEFET-MG) Determine a natureza e a distância focal de uma lente que forma uma imagem real de altura igual a $\frac{1}{3}$ da altura de um objeto localizado a 12 cm da lente.

convergente; 3 cm

Q110 (Vunesp-SP) Um pequeno projetor de slides usa uma lente convergente de distância focal 9,0 cm para fornecer uma imagem real, numa tela, situada a 90 cm da lente. 10 cm
a) A que distância da lente é colocado o slide?
b) Qual será o aumento fornecido pela lente? -9

Q111 (FAAP-SP) A distância focal de uma lente divergente é de 25 cm. Onde se deve colocar um pequeno objeto luminoso perpendicular ao eixo principal para que sua imagem seja $\frac{1}{6}$ do tamanho do objeto? 125 cm

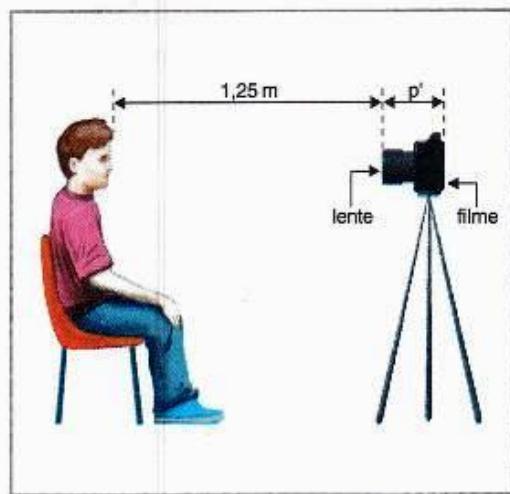
Q112 (Unirio-RJ) Uma máquina fotográfica simples de 3,0 cm de profundidade permite fotos de 2,0 cm de altura para objetos cuja altura seja de 1,0 m quando colocados a determinada distância D . Determine:
a) o tipo de lente dessa máquina convergente
b) a distância D 150 cm

Q113 Uma lente convergente, de distância focal 20 cm, é usada como lente de aumento (lupa). Para obter um aumento linear transversal igual a 4, determine a que distância do objeto deve ser colocada a lupa. 15 cm

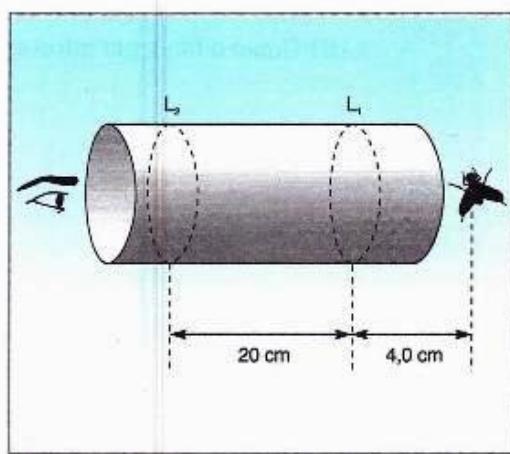
Q114 (UFU-MG) Convergência (C) de uma lente é o inverso da distância focal (f), ou seja, $C = \frac{1}{f}$. Para f em metros, a unidade da convergência é a dioptria, comumente chamada de grau.

- Qual a convergência em dioptrias (em "graus") de uma lente de distância focal 40 cm? 2,5
- Que tipo de imagem será formada para um objeto real colocado a 20 cm de distância de uma lente convergente de 10 dioptrias? Faça o traçado dos raios principais para localizar a imagem. real, invertida e igual
- Seja um objeto colocado a 50 cm de uma lente cuja convergência é -2 dioptrias. Qual o tipo dessa lente, e em que posição será vista a imagem? lente divergente; -25 cm

Q115 (ITA-SP) O sistema de lentes de uma câmera fotográfica pode ser entendido como uma fina lente convergente de distância focal igual a 25,0 cm. A que distância da lente deve estar o filme, para receber a imagem de uma pessoa sentada a 1,25 m da lente? 31,25 cm

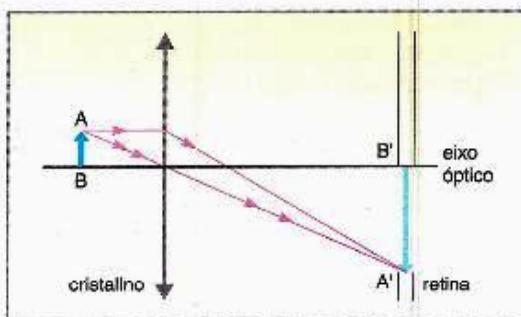
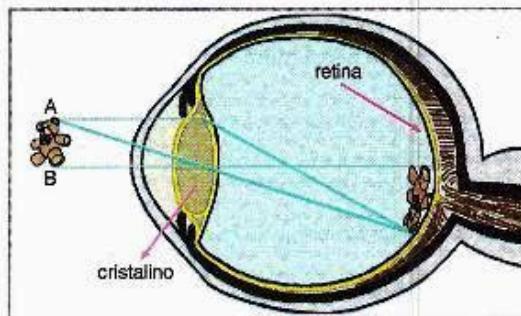


Q116 (UECE) Um estudante construiu um microscópio usando um tubo plástico de PVC e duas lentes convergentes, L_1 e L_2 , cujas distâncias focais medem, respectivamente, $f_1 = 3,0$ cm e $f_2 = 10,0$ cm. As lentes distam 20,0 cm uma da outra, conforme ilustra a figura. Uma mosca, colocada a 4,0 cm da lente L_1 , é observada com esse microscópio. Determine a ampliação linear com que o observador verá a imagem da mosca. 15 vezes



PESQUISE

I) Quando o olho não apresenta nenhuma deficiência visual, a imagem dos objetos próximos ou distantes é formada sobre a retina. O cristalino (que faz o papel de uma lente convergente) encura-se em função das distâncias, a fim de reproduzir uma imagem nítida: é o chamado poder de acomodação. Quando a imagem não se forma sobre a retina, a visão é desfocada, ocorrendo os defeitos de visão.

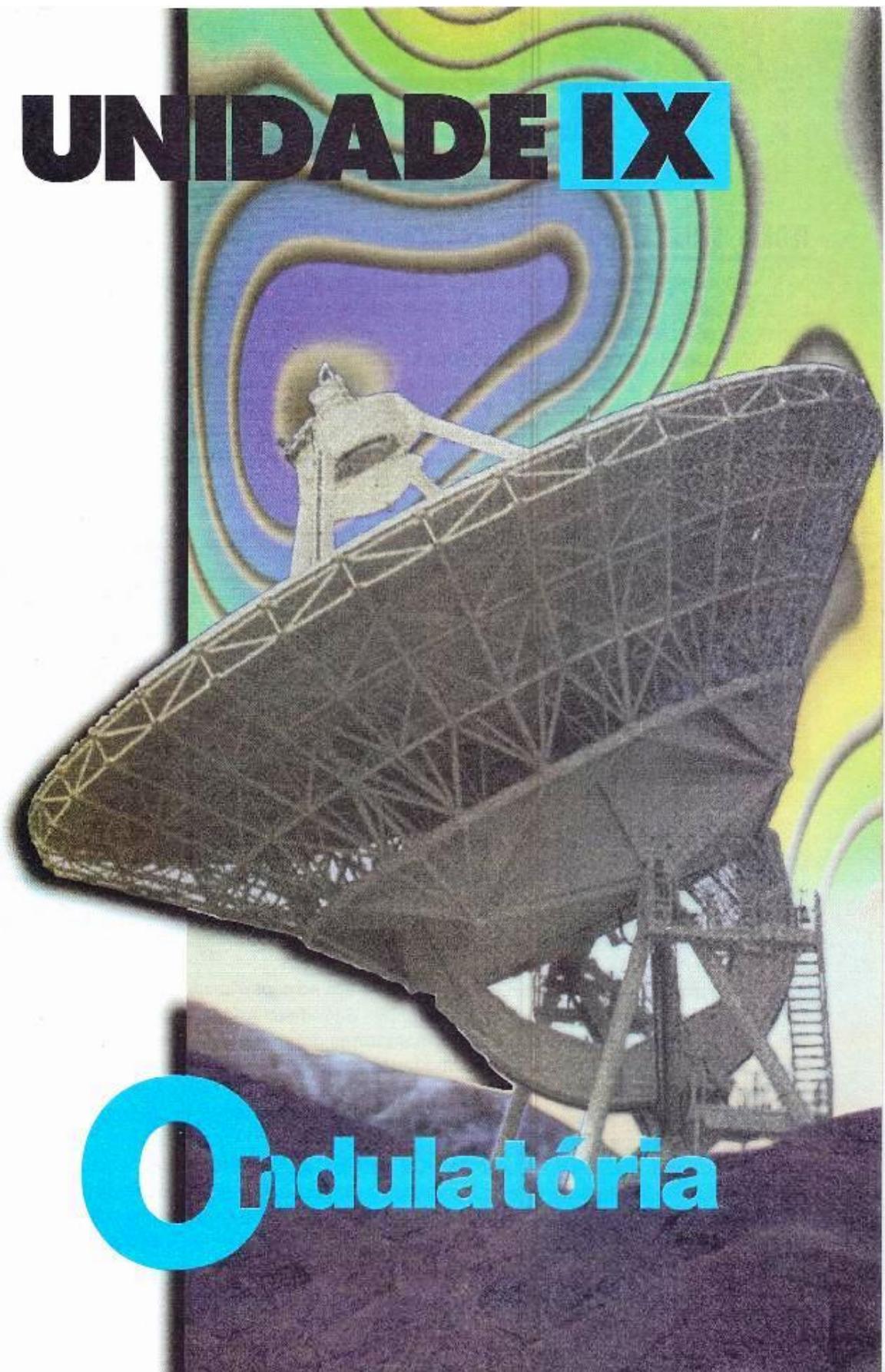


O que são: a miopia, a hipermetropia, a presbiopia e o astigmatismo? Quais são os primeiros sinais desses defeitos e como podem ser feitas suas correções?

II) Como o binóculo infravermelho possibilita a visão no escuro?

UNIDADE IX

Ondulatória



CAPÍTULO 22

ONDAS

TEORIA, SEUS CRIADORES, SUA PRÁTICA

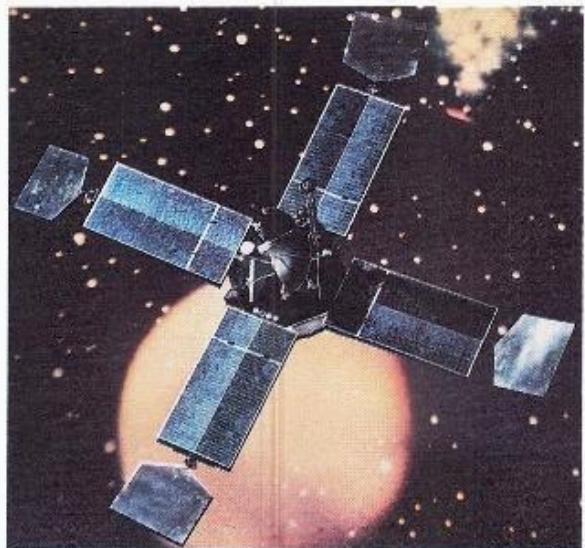
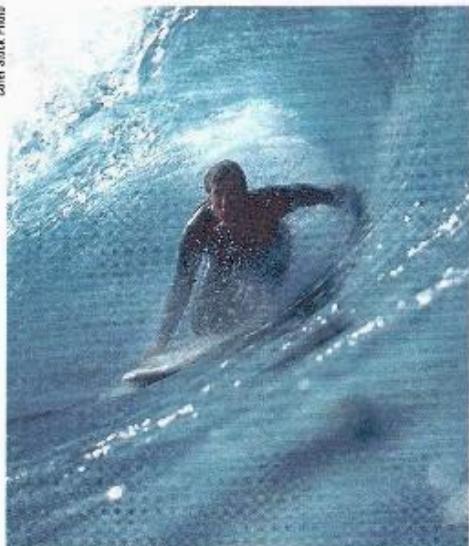
O homem sempre sentiu fascínio e curiosidade pelas ondas do mar.

Em nosso mundo estamos rodeados por ondas. Ondas mecânicas, sonoras, luminosas, ondas de rádio, eletromagnéticas etc.

Na história da Física, grandes cientistas dedicaram-se ao estudo das ondas, entre eles: Christian Huygens (1629-1695), Robert Hooke (1635-1703), Isaac Newton (1643-1727), Hertz (1857-1894), Guglielmo Marconi (1874-1937), Doppler (1803-1853).

Graças às ondas é que existem muitas das maravilhas do mundo moderno, como a televisão, o rádio, as telecomunicações via satélite, o radar, o forno de microondas, entre outras.

Corbis Stock Photo



NASA/Alyssa Pagan

Estudaremos também a Acústica, que se dedica ao som e aos fenômenos sonoros.

Engenheiros especializados criam maneiras de reduzir ruídos de fontes como geladeiras, máquinas de lavar roupas, automóveis, motores de embarcações etc. Para bloquear o ruído, utilizam-se paredes espessas, sem aberturas. Materiais porosos como, por exemplo, tapetes, cortinas, cerâmica acústica absorvem parte do som.

Na medicina, a Acústica é utilizada para medir o grau de audição e construir materiais de proteção para o ouvido.

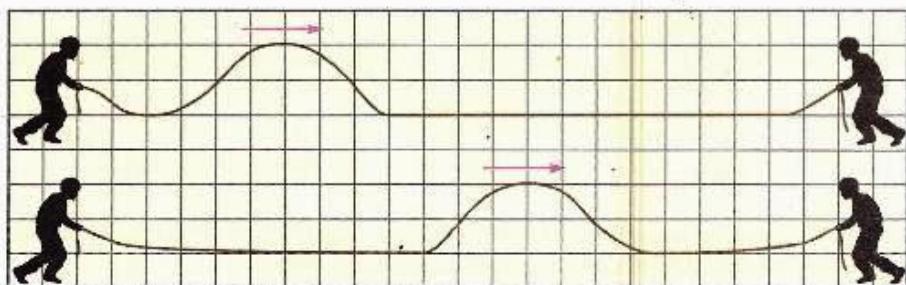
Em arquitetura, na construção de salas, teatros, igrejas e auditórios, a Acústica serve para eliminar ruídos excessivos e proporcionar a esses locais condições ótimas de audição.

Também os móveis e materiais de construção e decoração devem ser escolhidos convenientemente para evitar a reflexão de muitos sons que se combinam e desaparecem lentamente (reverberação).

INTRODUÇÃO

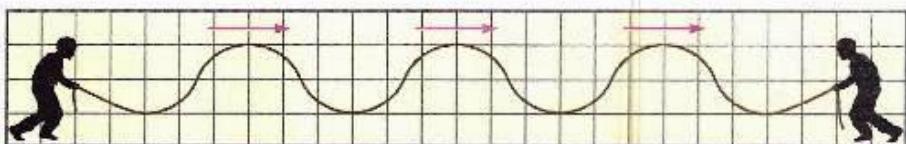
Considere duas pessoas segurando as extremidades de uma corda.

Se uma delas fizer um movimento vertical brusco, para cima e depois para baixo, causará uma perturbação na corda, originando uma sinuosidade, que se deslocará ao longo da corda aproximando-se da outra pessoa, enquanto a extremidade que recebeu o impulso retorna à posição inicial, por ser a corda um *meio elástico*.



Nesse exemplo, a perturbação denomina-se *pulso*, o movimento do pulso é chamado de *onda*, a mão da pessoa que faz o movimento vertical é a *fonte* e a corda, na qual se propaga a onda, é denominada *meio*.

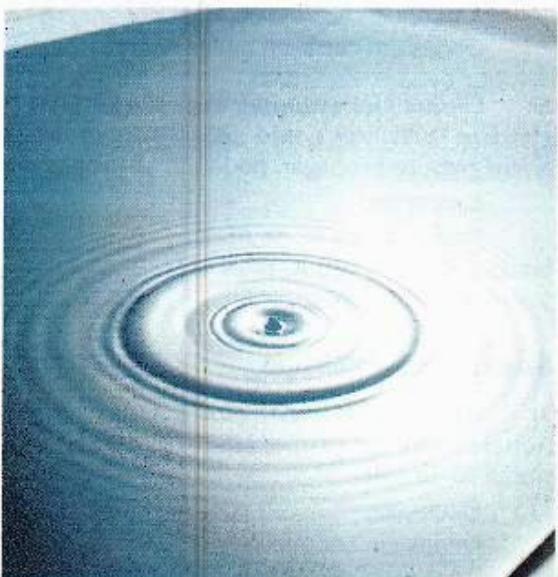
Se provocarmos vários pulsos sucessivos com um movimento de sobe-e-desce, teremos várias ondas propagando-se na corda, uma atrás da outra, constituindo um *trem de ondas*.



Um outro exemplo pode ser visto quando se atira uma pedra num lago de águas paradas.

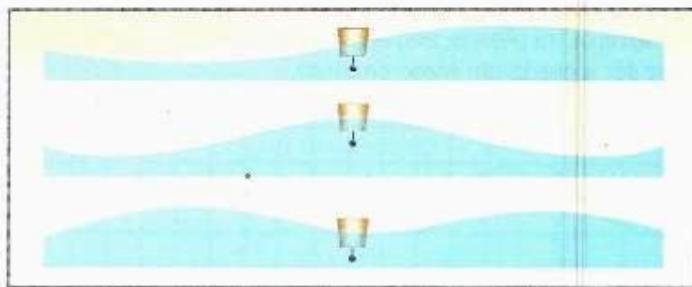
A perturbação causada pelo impacto da pedra na água originará um movimento que se propagará pela superfície do lago como circunferências de mesmo centro, afastando-se do ponto de impacto.

Denomina-se *onda* o movimento causado por uma perturbação que se propaga através de um meio.



Sergio Dente / J.C. Photo

Colocando-se um pedaço de cortiça na água, próximo ao local do lançamento da pedra, verifica-se que a onda, ao atingir a cortiça que fica flutuando na superfície da água, faz com que ela apenas oscile, subindo e descendo, sem variar a direção.



Como a rolha não é arrastada, concluímos que a onda não transporta matéria. Porém, como ela se movimenta, implica que recebeu energia da onda.

Uma onda transmite energia sem o transporte de matéria.

CLASSIFICAÇÃO

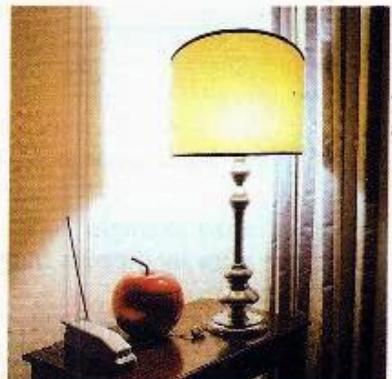
As ondas podem ser classificadas de três modos.

QUANTO À NATUREZA

Ondas mecânicas: são aquelas que precisam de um meio material para se propagar (não se propagam no vácuo).

Exemplo:

Ondas em cordas e ondas sonoras (som).



Sérgio Decca Jr/The Net

Ondas eletromagnéticas: são geradas por cargas elétricas oscilantes e não necessitam de um meio material para se propagar, podendo se propagar no vácuo.

Exemplos:

Ondas de rádio, de televisão, de luz, raios X, raios laser, ondas de radar etc.



Supertech

QUANTO À DIREÇÃO DE PROPAGAÇÃO

Unidimensionais: são aquelas que se propagam numa só direção.

Exemplo:

Ondas em cordas.

Bidimensionais: são aquelas que se propagam num plano.

Exemplo:

Ondas na superfície de um lago.

Tridimensionais: são aquelas que se propagam em todas as direções.

Exemplo:

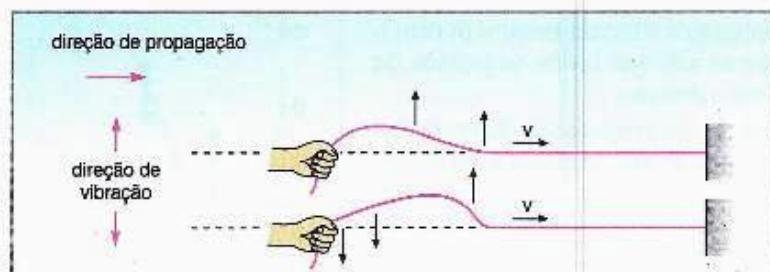
Ondas sonoras no ar atmosférico ou em metais.

QUANTO À DIREÇÃO DE VIBRAÇÃO

Transversais: são aquelas cujas vibrações são perpendiculares à direção de propagação.

Exemplo:

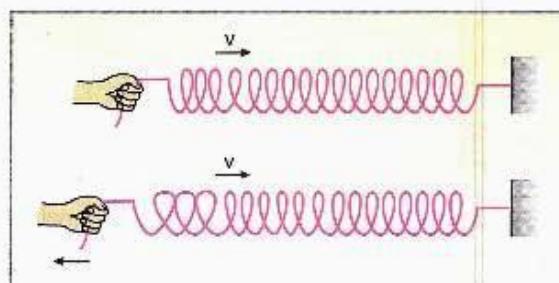
Ondas em corda.



Longitudinais: são aquelas cujas vibrações coincidem com a direção de propagação.

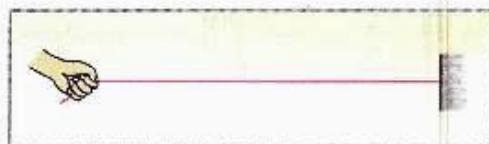
Exemplos:

Ondas sonoras, ondas em molas.



VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE UMA ONDA UNIDIMENSIONAL

Considere uma corda de massa m e comprimento ℓ , sob a ação de uma força de tração \vec{F} .



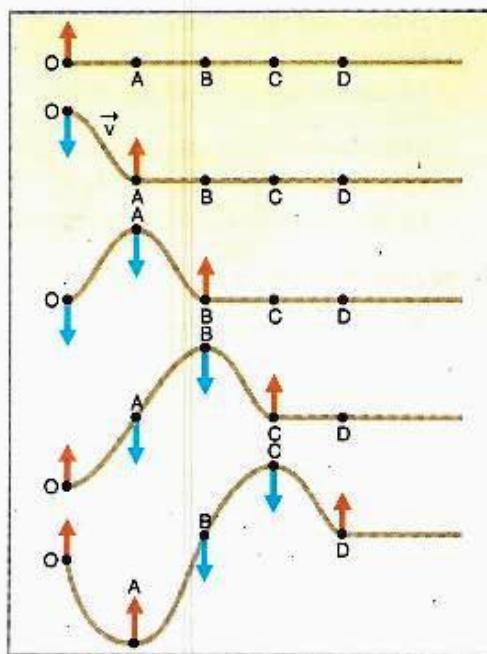
Suponha que a mão de uma pessoa, agindo na extremidade livre da corda, realize um movimento vertical, periódico, de sobe-e-desce. Uma onda passa a se propagar horizontalmente com velocidade \vec{v} .

Cada ponto da corda sobe e desce. Assim que o ponto A começa seu movimento (quando O sobe), B inicia seu movimento (quando O se encontra na posição inicial), movendo-se para baixo.

O ponto D inicia seu movimento quando o ponto O descreveu um ciclo completo (subiu, baixou e voltou a subir e regressou à posição inicial).

Se continuarmos a movimentar o ponto O, chegará o instante em que todos os pontos da corda estarão em vibração.

A velocidade de propagação da onda depende da densidade linear da corda e da intensidade da força de tração F , e é dada por:



$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Em que:

F = a força de tração na corda

$\mu = \frac{m}{\ell}$, a densidade linear da corda

APLICAÇÃO

A 1

Uma corda de comprimento 3 m e massa 60 g é mantida tensa sob ação de uma força de intensidade 800 N. Determine a velocidade de propagação de um pulso nessa corda.

Resolução:

Dados: $\begin{cases} \ell = 3 \text{ m} \\ m = 60 \text{ g} = 0,06 \text{ kg} \\ T = 800 \text{ N} \end{cases}$

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \rightarrow v = \sqrt{\frac{T}{\frac{m}{\ell}}} \rightarrow v = \sqrt{\frac{800}{0,06}} \rightarrow v = 200 \text{ m/s}$$

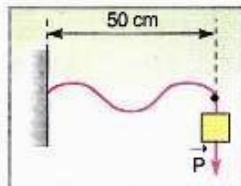
Resposta: 200 m/s

QUESTÕES

Q1 Uma corda de 2 m de comprimento e massa igual a $2 \cdot 10^{-3}$ kg é percorrida por um pulso com velocidade de 100 m/s. Determine a intensidade da força que traciona a corda. **100 N**

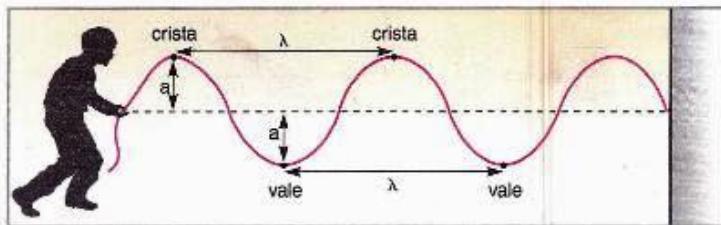
Q2 Uma corda de densidade linear $1,2 \cdot 10^{-2}$ kg/m é tracionada por uma força de 43,2 N. Determine a velocidade de propagação de um pulso produzido nessa corda. **60 m/s**

Q3 (UFMS) Uma corda de comprimento $\ell = 50$ cm e massa $m = 50$ g está tensionada por um peso $|P| = 52,9$ N. (Vide figura.) Calcule a velocidade de propagação da onda nessa corda (dê a resposta em metros por segundo). **23 m/s**



ONDAS PERIÓDICAS

Considere uma pessoa executando um movimento vertical de sobe-e-desce na extremidade livre da corda indicada na figura, em intervalos de tempo iguais.



Esses impulsos causarão pulsos que se propagarão ao longo da corda em espaços iguais, pois os impulsos são periódicos.

A parte elevada denomina-se *crista* da onda e a cavidade entre duas cristas chama-se *vale*.

Denomina-se *período* T o tempo necessário para que duas cristas consecutivas passem pelo mesmo ponto.

Chama-se *frequência* f o número de cristas consecutivas que passam por um mesmo ponto, em cada unidade de tempo.

Entre T e f vale a relação:

$$f = \frac{1}{T}$$

A distância entre duas cristas ou dois vales consecutivos é denominada *comprimento de onda*, representado por λ , e a é a *amplitude da onda*.

Como um pulso se propaga com velocidade constante, vale a expressão $s = vt$.

Fazendo $s = \lambda$, temos $t = T$. Logo:

$$s = vt \rightarrow \lambda = v \cdot T \rightarrow \lambda = v \cdot \frac{1}{f} \rightarrow v = \lambda f$$

Essa igualdade é válida para todas as ondas periódicas — como o som, as ondas na água e a luz.

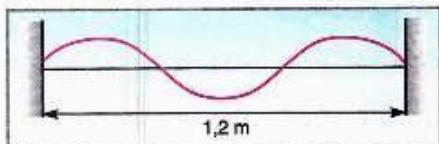
APLICAÇÃO

Q2

Uma corda de massa 240 g e de comprimento 1,2 m vibra com freqüência de 150 Hz, conforme indica a figura.

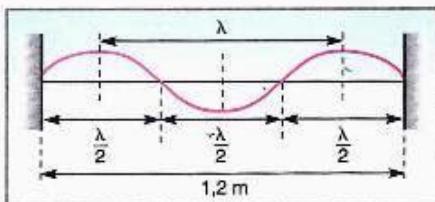
a) Qual a velocidade de propagação da onda na corda?

b) Qual a intensidade da força tensora na corda?



Resolução:

a) Do esquema, temos:



$$3 \cdot \frac{\lambda}{2} = 1,2 \rightarrow \lambda = 0,8 \text{ m}$$

Logo:

$$v = \lambda f$$

$$v = 0,8 \cdot 150$$

$$v = 120 \text{ m/s}$$

$$\text{b)} v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \rightarrow v = \sqrt{\frac{F}{\frac{m}{\ell}}} \rightarrow 120 = \sqrt{\frac{F}{\frac{240 \cdot 10^{-3}}{1,2}}} \rightarrow F = 2880 \text{ N}$$

Resposta: a) 120 m/s; b) 2 880 N

QUESTÕES

Q4 Uma onda tem freqüência de 10 Hz. Determine seu período. **0,1 s**

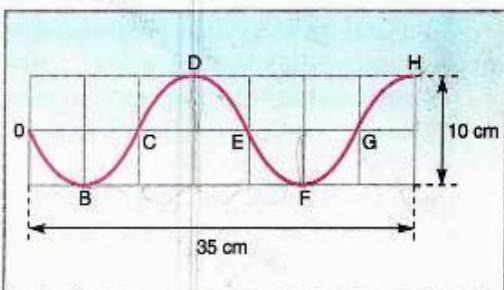
Q5 (UFU-MG) Uma pedra, ao ser atirada nas águas calmas de um lago, produz, em sua superfície, ondas que percorrem 200 cm de distância em 2,0 s. A distância entre duas cristas sucessivas da onda é 20 cm.

- a) Qual a natureza e o tipo desta onda? Justifique. **ondas mecânicas; ondas bidimensionais**
- b) Qual o comprimento de onda da perturbação? **5 Hz - 20 cm**
- c) Qual a freqüência do movimento? **5 Hz - 20 cm**

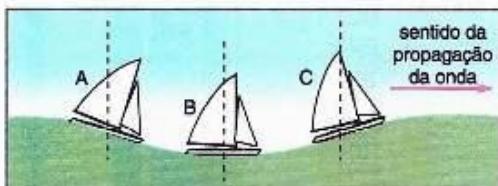
Q6 (Vunesp-SP) A rádio Universitária FM da Unesp deverá operar na freqüência 105,9 megahertz (mega = 10^6). Admitindo $3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ como velocidade de propagação das ondas de rádio, ache o comprimento de onda da transmissão. **$\approx 2,83 \text{ m}$**

Q7 A figura representa o perfil de uma onda transversal que se propaga ao longo de um fio elástico. Determine, no SI:

- a) a amplitude da onda **A 0,05 m**
- b) o comprimento de onda **λ 0,2 m**
- c) a velocidade de propagação da mesma, sabendo que sua freqüência é igual a 125 Hz ou que seu período é 0,008 s **25 m/s**



Q8 (UFRJ) A figura mostra, em um certo instante, três pequenos barcos, A, B e C, em alto-mar, submetidos à ação de uma onda suave praticamente harmônica, que se propaga da esquerda para a direita; observe que o barco B está no ponto mais baixo da onda.

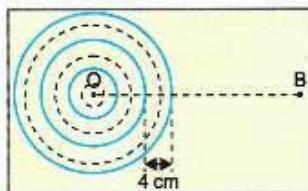


Considerando que os barcos têm apenas movimento vertical devido à passagem da onda, indique para cada barco se sua velocidade vertical é nula, se tem sentido para cima, ou se tem sentido para baixo, no instante considerado.

resposta no final do livro

- Q9** (Fuvest-SP) Um vibrador produz, numa superfície líquida, ondas de comprimento 5,0 cm que se propagam à velocidade de 30 cm/s.
 a) Qual a freqüência das ondas? **6 Hz**
 b) Caso o vibrador aumente apenas sua amplitude de vibração, o que ocorre com a velocidade de propagação, o comprimento e a freqüência das ondas? **Permanecem constantes.**

Q10 A figura representa esquematicamente ondas produzidas na água por uma fonte de freqüência 5 Hz localizada em O.



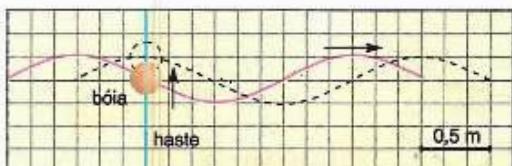
As linhas cheias representam cristas e as tracejadas, vales. No ponto B há uma pequena bóia localizada a 40 cm de O. Determine o intervalo de tempo para que um pulso gerado em O atinja B.

2 s

Q11 Uma bóia pode se deslocar livremente ao longo de uma haste vertical, fixada no fundo do mar. Na figura, a curva cheia representa uma onda no instante $t = 0$ s e a curva tracejada, a mesma onda no instante $t = 0,2$ s. Com a passagem dessa onda, a bóia oscila.

Nessa situação, qual a velocidade da onda e o período de oscilação da bóia?

2,5 m/s a 0,8 s



PESQUISE

Qual a diferença entre os sinais de televisão UHF e VHF?

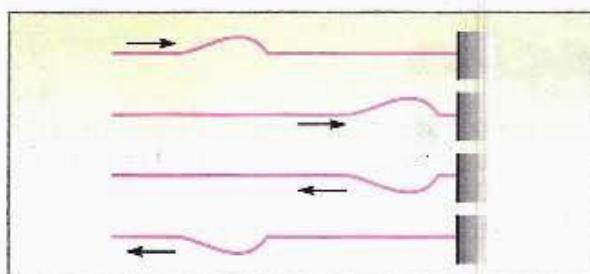
REFLEXÃO DE UM PULSO NUMA CORDA

Quando um pulso, propagando-se numa corda, atinge sua extremidade, pode retornar para o meio em que estava se propagando. Esse fenômeno é denominado *reflexão*.

Essa reflexão pode ocorrer de duas formas:

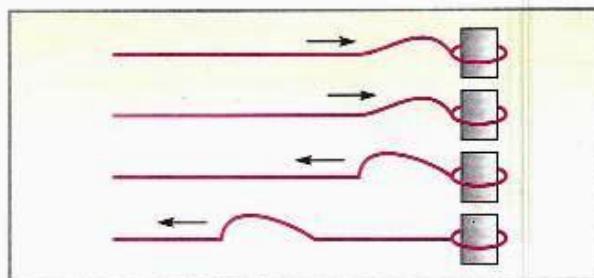
Extremidade fixa

Se a extremidade é fixa, o pulso sofre reflexão com inversão de fase, mantendo todas as outras características.



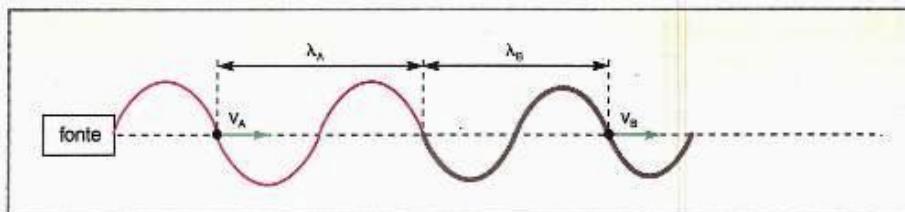
Extremidade livre

Se a extremidade é livre, o pulso sofre reflexão e volta ao mesmo semiplano, isto é, não ocorre inversão de fase.



REFRAÇÃO DE UM PULSO NUMA CORDA

Se, propagando-se numa corda de menor densidade, um pulso passa para outra de maior densidade, dizemos que ele sofreu uma *refração*.



A experiência mostra que a freqüência não se modifica quando um pulso passa de um meio para outro.

Logo:

$$f_A = f_B \rightarrow \frac{v_A}{\lambda_A} = \frac{v_B}{\lambda_B}$$

Essa fórmula é válida também para a refração de ondas bidimensionais e tridimensionais.

Observe que o comprimento de onda e a velocidade de propagação variam com a mudança do meio de propagação.

APLICAÇÃO

A 3

Uma onda periódica propaga-se em uma corda *A*, com velocidade de 40 cm/s e comprimento de onda 5 cm. Ao passar para uma corda *B*, sua velocidade passa a ser 30 cm/s. Determine:

- o comprimento de onda no meio *B*
- a freqüência da onda

Resolução:

a) Dados: $v_A = 40 \text{ cm/s}$
 $\lambda_A = 5 \text{ cm}$
 $v_B = 30 \text{ cm/s}$

$$\frac{v_A}{\lambda_A} = \frac{v_B}{\lambda_B} \rightarrow \frac{40}{5} = \frac{30}{\lambda_B} \rightarrow \lambda_B = 3,75 \text{ cm}$$

b) Como a freqüência é a mesma nos meios A e B, temos:

$$v_A = \lambda_A f_A \rightarrow 40 = 5f_A \rightarrow f_A = 8 \text{ Hz}$$

Respostas: a) 3,75 cm; b) 8 Hz

QUESTÕES

Q12 (UFV-MG) Duas cordas, de diâmetros diferentes, são unidas pelas extremidades. Uma pessoa faz vibrar a extremidade da corda fina, criando uma onda.



Sabendo que, na corda fina, a velocidade de propagação vale 2,0 m/s e o comprimento de onda é 20 cm, e que na corda grossa o comprimento de onda é 10 cm, calcule:

- a) a freqüência de oscilação da corda fina **10 Hz**
- b) a freqüência de oscilação da corda grossa **10 Hz**
- c) a velocidade de propagação da onda na corda grossa **1,0 m/s**

Q13 (UFPel-RS)

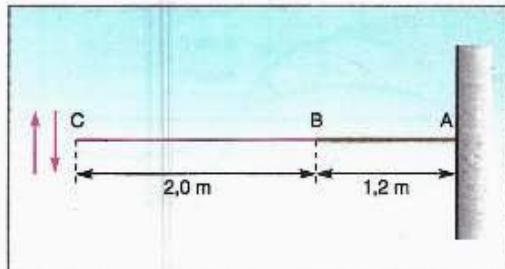
Numa cuba de ondas, o professor de Física, utilizando um vibrador de freqüência f , produz ondas planas, como mostra a figura. A estudante Angelita, participando da experiência, percebe que a distância entre duas cristas sucessivas das ondas no meio B é a metade da distância entre duas cristas no meio A.



Com base no enunciado, responda:

- a) A freqüência das ondas que se propagam no meio B é maior, menor ou igual à freqüência das ondas que se propagam em A? Justifique sua resposta. **resposta no final do livro**
- b) Qual a velocidade das ondas que se propagam no meio B, se vale 340 m/s a velocidade de propagação das ondas no meio A? **170 m/s**

Q14 (UFPB) Duas cordas, de mesmo material, mas de diâmetros diferentes, estão unidas no ponto B e a extremidade A da corda mais grossa está fixa, presa numa parede. A extremidade livre C da corda mais fina vibra na razão de quatro perturbações em cada segundo (ver figura). Os comprimentos das cordas são de 2,0 m para a mais fina e de 1,2 m para a mais grossa. As velocidades de propagação das ondas nestas cordas são de 1,0 m/s e 0,3 m/s.



- a) Qual o tempo necessário para que a primeira perturbação produzida em C atinja o ponto A? **6 s**
- b) Nesse instante, quantas perturbações completas existem na corda mais grossa?

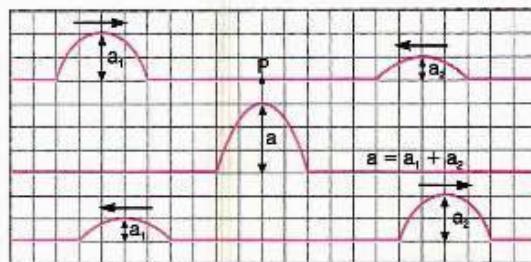
16 perturbações

PRINCÍPIO DA SUPERPOSIÇÃO

Quando duas ou mais ondas se propagam, simultaneamente, num mesmo meio, diz-se que há uma *superposição de ondas*.

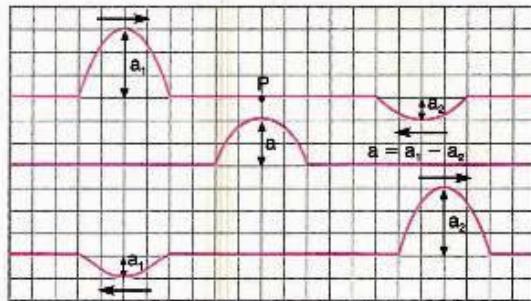
Como exemplo, considere duas ondas propagando-se conforme indicam as figuras:

Supondo que atinjam o ponto P no mesmo instante, elas causarão nesse ponto uma perturbação que é igual à soma das perturbações que cada onda causaria se tivesse atingido individualmente, ou seja, a onda resultante é igual à soma algébrica das ondas que cada uma produziria individualmente no ponto P , no instante considerado.



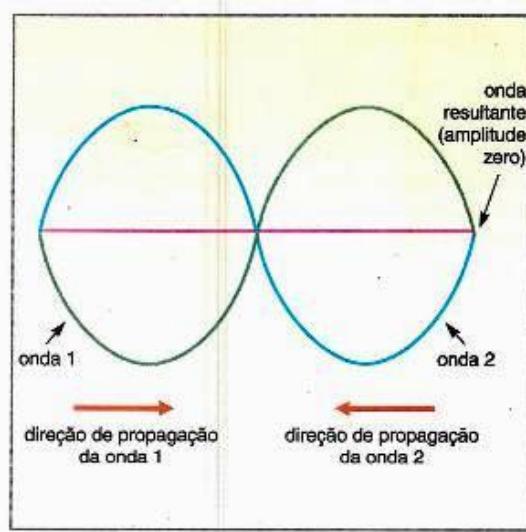
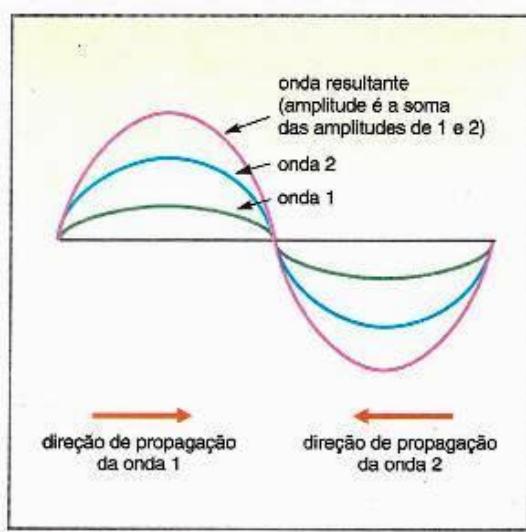
Após a superposição, as ondas continuam a se propagar com as mesmas características que tinham antes.

Os efeitos são subtraídos (soma algébrica), podendo-se anular no caso de duas propagações com deslocamento invertido.



Em resumo:

- ✓ Quando ocorre o encontro de duas cristas, ambas levantam o meio naquele ponto; por isso ele sobe muito mais.
- ✓ Quando dois vales se encontram eles tendem a baixar o meio naquele ponto.
- ✓ Quando ocorre o encontro entre um vale e uma crista, um deles quer puxar o ponto para baixo e o outro quer puxá-lo para cima. Se a amplitude das duas ondas for a mesma, não ocorrerá deslocamento, pois eles se cancelam (amplitude zero) e o meio não sobe e nem desce naquele ponto.

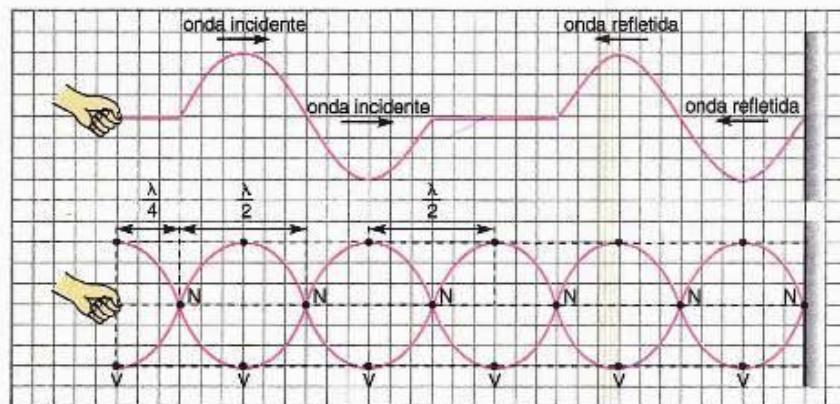


ONDAS ESTACIONÁRIAS

São ondas resultantes da superposição de duas ondas de mesma freqüência, mesma amplitude, mesmo comprimento de onda, mesma direção e sentidos opostos.

Pode-se obter uma onda estacionária através de uma corda fixa numa das extremidades.

Com uma fonte faz-se a outra extremidade vibrar com movimentos verticais periódicos, produzindo-se perturbações regulares que se propagam pela corda.



Em que: N = nós ou nodos e V = ventres.

Ao atingirem a extremidade fixa, elas se refletem, retornando com sentido de deslocamento contrário ao anterior.

Dessa forma, as perturbações se superpõem às outras que estão chegando à parede, originando o fenômeno das *ondas estacionárias*.

Uma onda estacionária se caracteriza pela amplitude variável de ponto para ponto, isto é, há pontos da corda que não se movimentam (amplitude nula), chamados nós (ou nodos), e pontos que vibram com amplitude máxima, chamados *ventres*.

É evidente que, entre os nós, os pontos da corda vibram com a mesma freqüência, mas com amplitudes diferentes.

Observe que:

- ✓ Como os nós estão em repouso, não pode haver passagem de energia por eles, não havendo, então, em uma onda estacionária o transporte de energia.
- ✓ A distância entre dois nós consecutivos vale $\frac{\lambda}{2}$.
- ✓ A distância entre dois ventres consecutivos vale $\frac{\lambda}{2}$.
- ✓ A distância entre um nó e um ventre consecutivo vale $\frac{\lambda}{4}$.

APLICAÇÃO

A4

Uma onda estacionária de freqüência 8 Hz se estabelece numa linha fixada entre dois pontos distantes 60 cm. Incluindo os extremos, contam-se 7 nodos. Calcule a velocidade da onda progressiva que deu origem à onda estacionária.

Resolução:

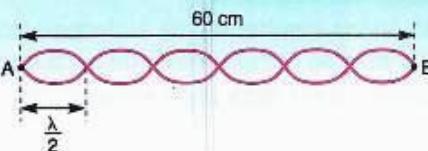
Da figura, temos:

$$6 \cdot \frac{\lambda}{2} = \overline{AB}$$

$$6 \cdot \frac{\lambda}{2} = 60 \rightarrow \lambda = 20 \text{ cm}$$

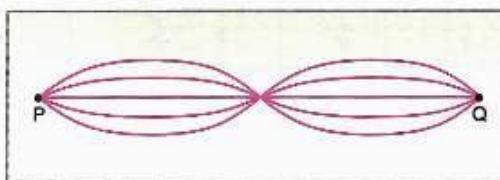
Logo:

$$v = \lambda f \rightarrow v = 20 \cdot 8 \rightarrow v = 160 \text{ cm/s ou } v = 1,6 \text{ m/s}$$

Resposta: 1,6 m/s

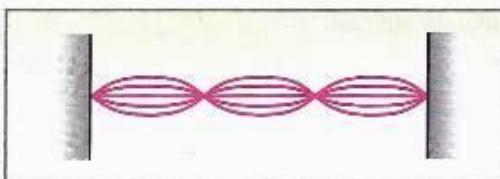
QUESTÕES

- Q15** Uma corda de 25 cm de comprimento, fixa nas extremidades P e Q , vibra na configuração estacionária representada na figura.

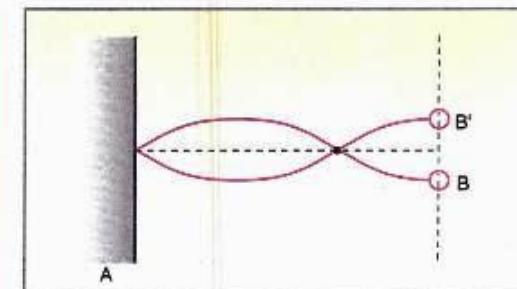


Sabendo que a freqüência de vibração é de 1 000 Hz, determine a velocidade de propagação das ondas ao longo da corda. 250 m/s

- Q16** (EFEI-MG) Uma corda fixa em ambos os extremos vibra num modo estacionário representado pela figura. A freqüência de vibração é de 20,0 Hz e o comprimento da corda é igual a 150 cm. Encontre a velocidade de propagação do movimento ondulatório nesta corda. 20 m/s



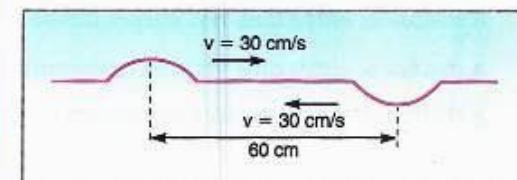
- Q17** (FEI-SP) Uma corda homogênea, de comprimento $\ell = 1,5 \text{ m}$ e massa $m = 30 \text{ g}$, tem sua extremidade A fixa, e a outra, B , pode deslizar livremente ao longo de uma haste vertical. A corda é mantida tensa sob a ação de uma força de intensidade $F = 200 \text{ N}$ e vibra segundo o estado estacionário indicado na figura.



Determine:

- a) a velocidade de propagação da onda 100 m/s
b) a freqüência de vibração da corda 50 Hz

- Q18** (Unicamp-SP) A figura representa dois pulsos transversais de mesma forma, que se propagam em sentidos opostos, ao longo de uma corda ideal, longa e esticada. No instante $t = 0$, os pulsos encontram-se nas posições indicadas. Esboce a forma da corda: resposta no final do livro
a) no instante $t = 1 \text{ s}$ b) no instante $t = 2 \text{ s}$



- Q19** Uma corda com 2 m de comprimento é tracionada de ambos os lados. Quando ela é excitada por uma fonte de 60 Hz observa-se uma onda estacionária com 6 nós. Neste caso, qual a velocidade de propagação da onda na corda?

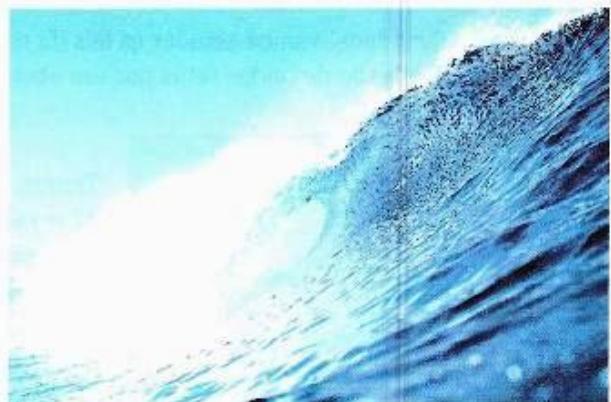
48 m/s

VOCÊ SABIA?

A ALTURA DAS ONDAS

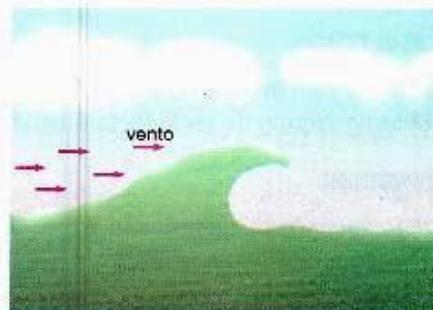
O tamanho das ondas depende de três fatores: do vento, do encontro (superposição) de ondas e da forma do litoral.

Em regiões de muito vento (o principal fator), as ondas são maiores porque o atrito com a superfície da água faz com que se forme uma onda mais volumosa. É o que ocorre em regiões mais distantes do equador.

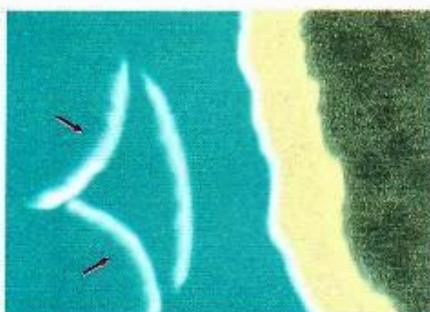


O segundo fator é o encontro das ondas. Quando duas ou mais se unem, a energia se soma, resultando numa onda maior. É o que acontece no Havaí.

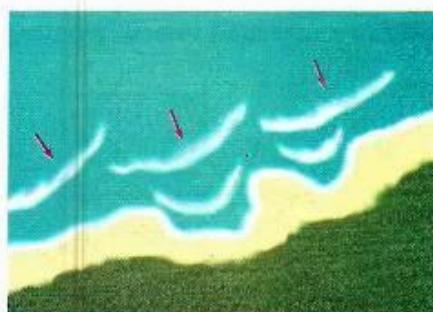
O terceiro fator é a forma do litoral. Quando não há barreiras, as ondas são grandes. Se houver muitos obstáculos, ao atingir partes da terra, a onda perde um pouco de energia e diminui a altura.



Quanto mais intenso for o vento, maior o atrito com a superfície da água e a onda aumenta.



Dois ou mais ondas pequenas se unem e formam uma onda maior.

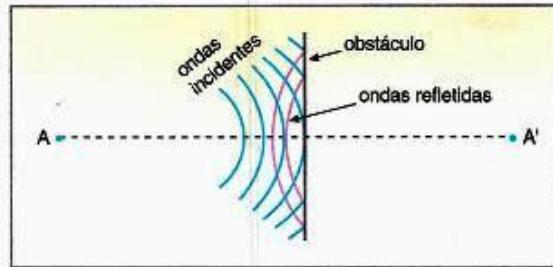


Com o litoral recortado, as ondas atingem partes do continente e diminuem de altura.

LEIS DA REFLEXÃO

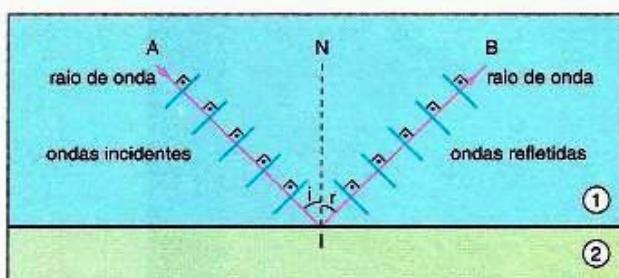
Quando ondas esféricas provenientes de uma fonte A encontram um obstáculo plano, produz-se reflexão de ondas porque cada ponto do obstáculo torna-se fonte de uma onda secundária.

As ondas refletidas se comportam como se emanassesem de uma fonte A' , simétrica de A em relação ao obstáculo refletor.



Por uma questão de facilidade, vamos estudar as leis da reflexão de uma onda reta.

A figura representa a reflexão de ondas retas por um obstáculo plano.



Temos:

AI = raio de onda incidente

IB = raio de onda refletido

NI = normal ao ponto de incidência

i = ângulo de incidência

r = ângulo de reflexão

LEIS DA REFLEXÃO

1^a lei: o raio incidente, o raio refletido e a normal são coplanares.

2^a lei: o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão.

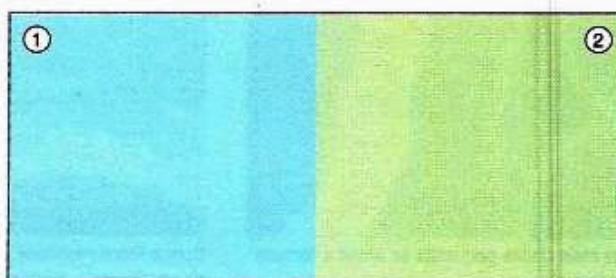
PROPRIEDADES

1^a propriedade: na reflexão, a frequência, a velocidade e o comprimento de onda não variam.

2^a propriedade: na reflexão, a fase pode variar ou não.

LEIS DA REFRAÇÃO

Considere, por exemplo, um tanque contendo água com duas regiões de propagação distintas: uma mais rasa, ①, e outra mais profunda, ②.



Suponha que uma onda reta esteja se propagando no meio ① e incidindo na superfície S de separação entre os meios ① e ②.

Seja AI o raio incidente da onda que se propaga no meio ① com velocidade v_1 . Incidindo na superfície S ela sofre refração e passa a se propagar no meio ② com velocidade v_2 .

Sendo:

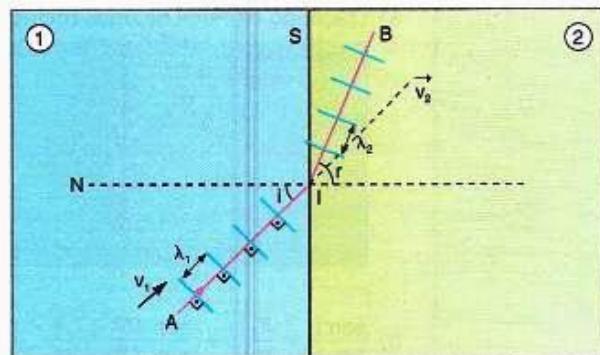
AI = raio de onda incidente

IB = raio de onda refratado

NI = normal

i = ângulo de incidência

r = ângulo de refração



LEIS DA REFRAÇÃO

1^a lei: os raios de onda incidente e refratado e a normal são coplanares.

2^a lei: lei de Snell-Descartes:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

Temos: n_1 e n_2 são índices de refração absolutos de um meio ($n = \frac{c}{v}$).

Aplicando a lei de Snell, temos:

- Se $n_2 > n_1 \rightarrow \lambda_2 < \lambda_1 \rightarrow v_2 < v_1 \rightarrow r < i$
- Se $n_2 < n_1 \rightarrow \lambda_2 > \lambda_1 \rightarrow v_2 > v_1 \rightarrow r > i$

PROPRIEDADES

1^a propriedade: na refração, a freqüência e a fase não variam.

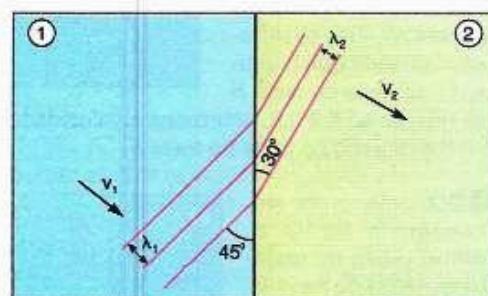
2^a propriedade: a velocidade de propagação e o comprimento de onda variam na mesma proporção.

APLICAÇÃO

A5

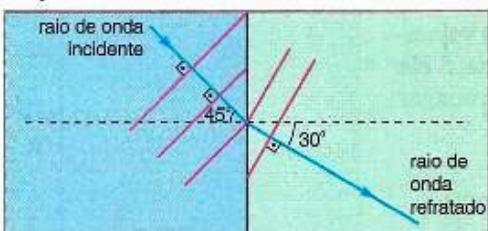
A figura mostra a separação entre duas regiões, de profundidades diferentes, num tanque de ondas. Uma onda plana, gerada na região de maior profundidade, ①, incide sobre a separação, em direção à região de menor profundidade, ②. Sabendo que $\lambda_1 = 0,2$ m e $v_1 = 4$ m/s, calcule:

- a freqüência da onda incidente
- a velocidade de propagação da onda refratada



Resolução:

a) Traçando os raios de onda incidente e refratado, temos:



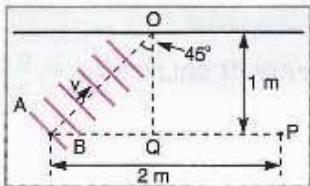
$$v_1 = \lambda_1 f_1 \rightarrow 4 = 0,2 f_1 \\ f_1 = 20 \text{ Hz}$$

$$\text{b)} \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} \rightarrow \frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{4}{v_2} \rightarrow \frac{\frac{\sqrt{2}}{2}}{\frac{1}{2}} = \frac{4}{v_2} \rightarrow v_2 = 2\sqrt{2} \text{ m/s}$$

Respostas: a) 20 Hz; b) $2\sqrt{2}$ m/s

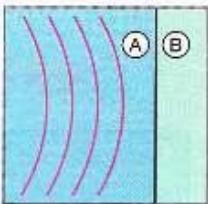
QUESTÕES

Q20 Ondas planas propagam-se na superfície da água com velocidade igual a 1,4 m/s e são refletidas por uma parede plana vertical, onde incidem sob o ângulo de 45°. No instante $t = 0$, uma crista AB ocupa a posição indicada na figura.



- a) Depois de quanto tempo essa crista atingirá o ponto P , após ser refletida na parede? 2 s
b) Esboce a configuração dessa crista quando passa por P . *resposta no final do livro*

Q21 (FAAP-SP) Ondas mecânicas de freqüência 100 Hz e velocidade de 400 m/s se propagam num meio A. Ao atingir um meio B, elas se refratam. Sabendo que o índice de refração do meio B em relação ao A é 0,8, determine a velocidade e o comprimento de onda no meio B.



$$v_B = 500 \text{ m/s} \text{ e } \lambda_A = 5 \text{ m}$$

Q22 Uma onda de freqüência 60 Hz e comprimento de onda 0,5 m, passa do meio ① para o meio ②, conforme indica a figura.



Determine:

- a) a velocidade da onda incidente 30 m/s
b) a velocidade da onda refratada $10\sqrt{6}$ m/s
c) o índice de refração do meio ② em relação ao meio ① $\frac{\sqrt{6}}{2}$

Q23 (UFRJ) Uma onda de luz monocromática tem, no vácuo, um comprimento de onda λ . Suponha que esta onda de luz, vinda do vácuo, incida num meio transparente cujo índice de refração seja 1,5.

- a) Calcule a razão $\frac{\lambda'}{\lambda}$ entre o comprimento de onda da onda refletida (λ') e o comprimento de onda da onda incidente (λ). 1
b) Calcule a razão $\frac{\lambda''}{\lambda}$ entre o comprimento de onda da onda refratada (λ'') e o comprimento de onda da onda incidente (λ). $\frac{2}{3}$

Q24 (UnB) Uma onda plana, de comprimento de onda λ , que se propaga em um meio A, incide sobre uma superfície plana que separa o meio A de um outro meio B, no qual a onda passa a se propagar. Sabendo que a frente de onda no meio A forma um ângulo de 30° com a superfície de separação, e que, no meio B, a frente de onda faz um ângulo com essa superfície cujo seno vale 0,1, calcule a razão $\frac{v_A}{v_B}$, onde v_A e v_B são as velocidades das ondas nos meios A e B, respectivamente. Multiplique sua resposta por 10. 50

CAPÍTULO 23

ACÚSTICA

PRODUÇÃO DO SOM

Fixemos uma lâmina de aço muito fina para que ela possa oscilar conforme indica a figura ao lado.

Quando deslocamos a lâmina, sua extremidade livre começa a oscilar para a direita e para a esquerda.

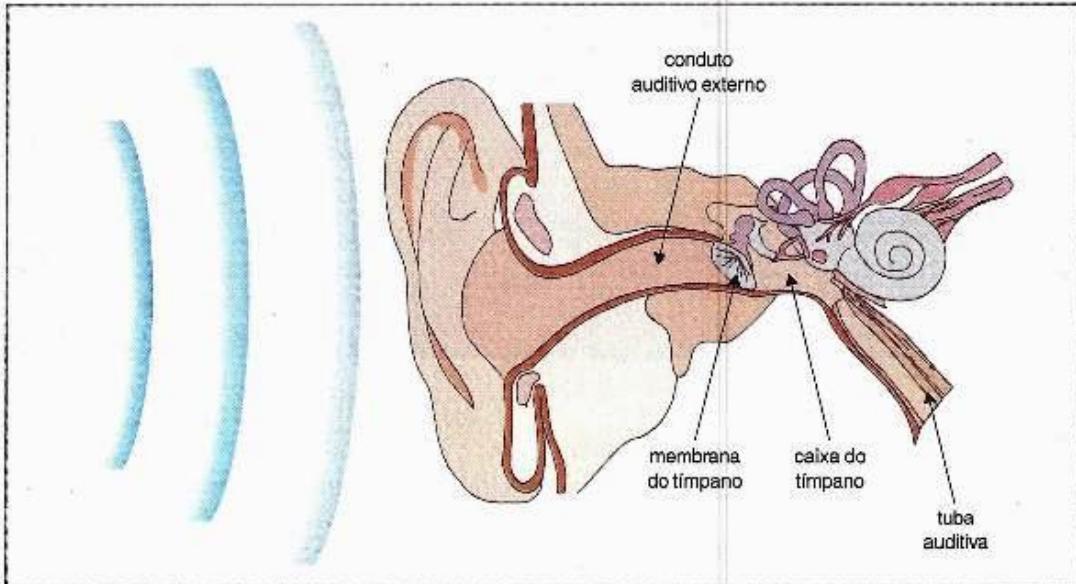
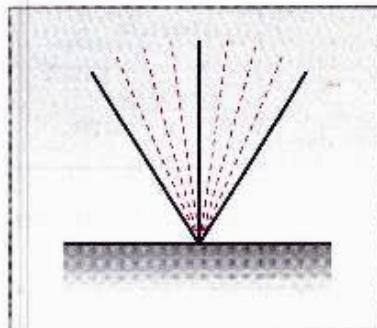
Se a lâmina vibrar com rapidez, produzirá um som sibilante, mostrando que os sons são produzidos pela matéria em vibração.

À medida que a lâmina oscila para a direita, ela realiza trabalho nas moléculas do ar, comprimindo-as, transferindo a elas energia na direção da compressão. Ao mesmo tempo, as moléculas do ar, situadas à esquerda, se expandem e se tornam rarefeitas, o que retira energia delas.

Quando a lâmina se move no sentido inverso, ela transfere energia para as moléculas do ar situadas à esquerda, enquanto as da direita perdem energia.

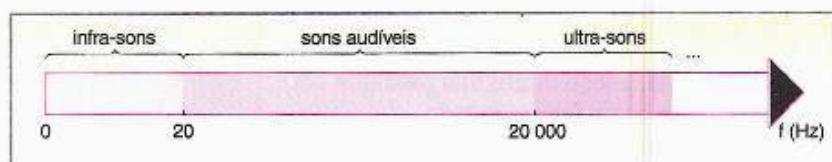
O efeito combinado de compressão e rarefação simultânea transfere energia das moléculas do ar da esquerda para a direita, ou da direita para a esquerda na direção do movimento da lâmina, produzindo ondas longitudinais, nas quais as moléculas do ar se movimentam para frente e para trás, recebendo energia das moléculas mais próximas da fonte e transmitindo-a para as moléculas mais afastadas dela, até chegarem ao ouvido.

No ouvido, as ondas atingem uma membrana chamada *tímpano*. O tímpano passa a vibrar com a mesma freqüência das ondas, transmitindo ao cérebro, por impulsos elétricos, a sensação denominada *som*.



As ondas sonoras são ondas longitudinais, isto é, são produzidas por uma seqüência de pulsos longitudinais.

As ondas sonoras podem se propagar com diversas freqüências, porém o ouvido humano é sensibilizado somente quando elas chegam a ele com freqüência entre 20 Hz e 20 000 Hz, aproximadamente.



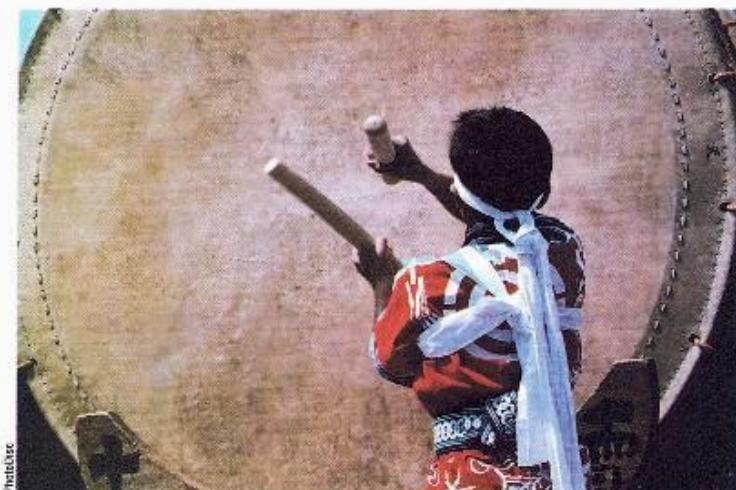
Quando a freqüência é maior que 20 000 Hz, as ondas são ditas *ultra-sônicas*, e menor que 20 Hz, *infra-sônicas*.

As ondas infra-sônicas e ultra-sônicas não são audíveis pelo ouvido humano. As ondas infra-sônicas são produzidas, por exemplo, por um abalo sísmico. Os ultra-sons podem ser ouvidos por certos animais como o morcego e o cão.

As ondas sonoras audíveis são produzidas por:

- ✓ vibração de cordas
- ✓ vibração de colunas de ar
- ✓ vibração de discos e membranas

O som musical, que provoca sensações agradáveis, é produzido por vibrações periódicas. O ruído, que provoca sensações desagradáveis, é produzido por vibrações aperiódicas.



Craig Saitt, Photo



Photo: Óscar

TRANSMISSÃO DO SOM

A maioria dos sons chega ao ouvido transmitida pelo ar, que age como meio de transmissão.

Nas pequenas altitudes, os sons são bem audíveis, o que não ocorre em altitudes maiores, onde o ar é menos denso.

O ar denso é melhor transmissor do som que o ar rarefeito, pois as moléculas gasosas estão mais próximas e transmitem a energia cinética da onda de umas para outras com maior facilidade.

Os sons não se transmitem no vácuo, porque exigem um meio material para sua propagação.

De uma maneira geral, os sólidos transmitem o som melhor que os líquidos, e estes, melhor do que os gases.

Observe a tabela que apresenta a velocidade de propagação do som a 25 °C.

MEIO	VELOCIDADE (m/s)
Ar	346
Água	1 498
Ferro	5 200
Vidro	4 540

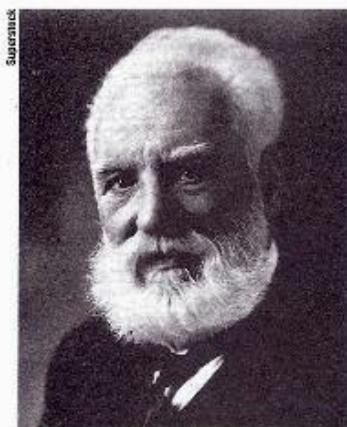
QUALIDADES DO SOM

Se a energia emitida pela fonte é grande, isto é, se o som é muito forte, temos uma sensação desagradável no ouvido, pois a quantidade de energia transmitida exerce sobre o tímpano uma pressão muito forte.

Quanto maior a vibração da fonte, maior a energia sonora, logo:

Quanto maior a amplitude da onda, maior a intensidade do som.

Em homenagem ao cientista norte-americano Graham Bell (1847-1922), que estudou o som e inventou o telefone, a intensidade sonora é medida em *bel* (B) ou *decibéis* (dB).



Graham Bell



Os sons muito intensos são desagradáveis ao ouvido humano. Sons com intensidades acima de 130 dB provocam uma sensação dolorosa e sons acima de 160 dB podem romper o tímpano e causar surdez.

De acordo com a freqüência, um som pode ser classificado em *agudo* ou *grave*. Essa qualidade é chamada *altura* do som.

Sons graves ou baixos têm freqüência menor.

Sons agudos ou altos têm freqüência maior.

A voz do homem tem freqüência que varia entre 100 Hz e 200 Hz e a da mulher, entre 200 Hz e 400 Hz. Portanto, a voz do homem costuma ser grave, ou grossa, enquanto a da mulher costuma ser aguda, ou fina.



Credit: Stock Photo

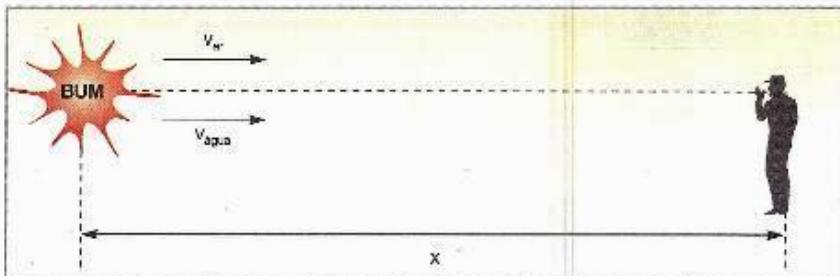
APLICAÇÃO

A6

Um observador ouve duas vezes, com 22 s de intervalo, uma explosão que se produziu no mar e cujo barulho se propagou pela água e pelo ar. A que distância está o observador do lugar da explosão, sabendo-se que a velocidade do som é de 340 m/s no ar e 1 440 m/s na água?

Resolução:

Fazendo uma figura, temos:



- Trajeto do som da explosão pelo ar

$$s = \cancel{s_0} + v_{ar} t \rightarrow x = 340 t_1 \quad \textcircled{1}$$

- Trajeto do som da explosão pela água

$$s = \cancel{s_0} + v_{agua} t \rightarrow x = 1440 t_2 \quad \textcircled{2}$$

Como o observador ouve primeiro o som da explosão que vai pela água ($t_1 > t_2$), temos:

$$t_1 - t_2 = 22 \rightarrow t_1 = 22 + t_2 \quad \textcircled{3}$$

Igualando \textcircled{1} e \textcircled{2}, vem:

$$340t_1 = 1440t_2 \rightarrow 340(22 + t_2) = 1440t_2 \rightarrow t_2 = 6,8 \text{ s}$$

Substituindo em \textcircled{2}, obtemos:

$$x = 1440t_2 \rightarrow x = 1440 \cdot 6,8 \rightarrow x = 9\,792 \text{ m}$$

Resposta: 9 792 m

QUESTÕES

Q25 Explique, de maneira sucinta:

- como ouvimos
- como o som é transmitido

Q26 (PUC-SP) Um mergulhador está embalado d'água e um pescador, logo acima, num barco.

- Um iate, próximo dali, aciona o motor. O mergulhador demora 1,0 s para ouvir o som da partida. Quanto tempo levará o pescador para escutá-lo? $\approx 4,31$ s

Dados: velocidade do som no ar (20°C): 343 m/s; velocidade do som na água (20°C): 1 480 m/s.

- Um golfinho, em certo momento, sobe à superfície e emite um som de comprimento de onda 0,014 m. Esse som poderá ser ouvido pelo pescador? Sabe-se que as freqüências sonoras audíveis pelo ser humano situam-se na faixa de 20 Hz a 20 000 Hz.

Não será ouvido pelo pescador, pois $f = 24\,500$ Hz.

VOCÊ SABIA?

O som não pode se propagar no vácuo. Por essa razão, a onda sonora é chamada *onda material* ou *onda mecânica*. São também ondas mecânicas as ondas numa corda, na água e numa mola.

Essas ondas precisam de um meio material (sólido, líquido ou gás) para se propagar.

Por outro lado, a luz, as ondas de rádio etc., podem se propagar em meios materiais e também no vácuo. Essas ondas são denominadas *ondas eletromagnéticas*.

As ondas eletromagnéticas são geradas por oscilações de cargas elétricas e se propagam no vácuo com uma velocidade aproximada de 300 000 km/s.

Os tipos principais de ondas eletromagnéticas são, em ordem decrescente de freqüência: *raios gama*, *raios X*, *luz ultravioleta*, *luz visível*, *raios infravermelhos*, *ondas curtas de rádio* e *ondas longas de rádio*.

O conjunto dessas ondas forma o *spectro eletromagnético*.

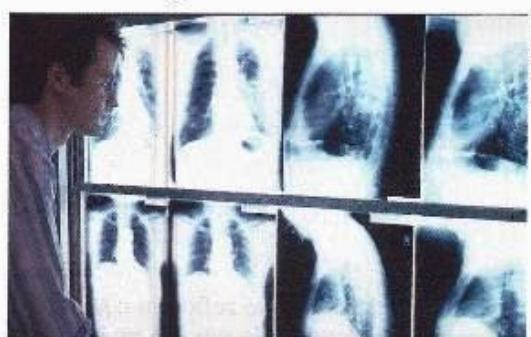
Q27 Por que o som não se propaga no vácuo?

Q28 (UFPR) Considere um grande tanque contendo água, com a superfície inicialmente em repouso. Um conta-gotas acima dessa superfície começa a pingar, produzindo ondas sobre a superfície. A distância entre duas cristas consecutivas dessa onda vale 8,0 cm e sua velocidade de propagação é de 16 cm/s.

- Determine a freqüência da onda. 2 Hz
- Determine o intervalo de tempo entre a saída de duas gotas sucessivas. 0,5 s
- Ao batrem na água, as gotas produzem também ondas sonoras que se propagam pelo ar. A velocidade de propagação destas ondas depende da freqüência com que caem as gotas? Justifique. não

Q29 Julgue a seguinte frase: "Abaixe esse som, Deolindo!"

Quando pedimos a alguém para abaixar o som, queremos que seja diminuída a freqüência do som. Na verdade, estamos pedindo para diminuir a intensidade sonora, isto é, o volume.



Credit: Stock Photo

Veja algumas aplicações desses raios:

Raios gama: são emitidos por materiais radioativos e usados no tratamento de câncer e de muitas doenças de pele.

Raios X: ajudam os médicos a tratar e a diagnosticar doenças.

Raios ultravioleta: são usados como desinfetantes.

Raios infravermelhos: são emitidos por corpos aquecidos e usados para secar pinturas.

Ondas de rádio: são usadas pelas emissoras de rádio e televisão.

PESQUISE

I) Por que o som se propaga melhor nos sólidos do que nos gases?

II) Dê algumas aplicações do ultra-som.

FENÔMENOS SONOROS

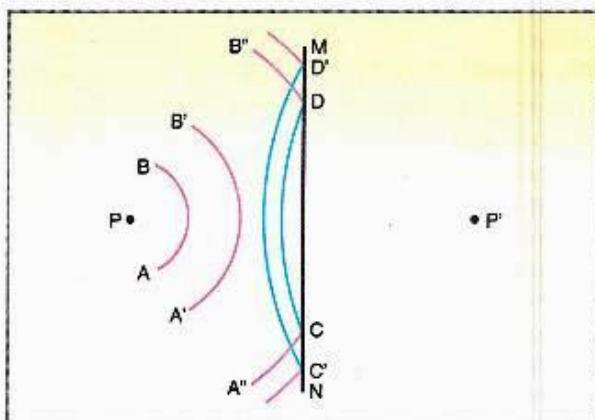
Sendo o som uma onda, ele apresenta as seguintes propriedades características: reflexão, refração, difração, interferência e ressonância.

1º PROPRIEDADE: REFLEXÃO

Quando ondas sonoras AB, A'B', A''B'' provenientes de um ponto P encontram um obstáculo plano, rígido, MN, produz-se reflexão das ondas sobre o obstáculo.

Na volta, produz-se uma série de ondas refletidas CD, C'D', que se propagam em sentido inverso ao das ondas incidentes e se comportam como se emanassesem de uma fonte P' simétrica da fonte P em relação ao ponto refletor.

A reflexão do som pode ocasionar os fenômenos *eco* e *reverberação*.



Eco

Os obstáculos que refletem o som podem apresentar superfícies muito ásperas. Assim, o som pode ser refletido por um muro, uma montanha etc.

O som refletido chama-se eco, quando se distingue do som direto.

Para uma pessoa ouvir o eco de um som produzido, deve ficar situada a, no mínimo, 17 m do obstáculo refletor, pois o ouvido humano só pode distinguir dois sons com intervalo de 0,1 s. O som, que tem velocidade de 340 m/s, percorre 34 m nesse tempo.



O sonar é um aparelho capaz de emitir ondas sonoras na água e captar seus ecos, permitindo, assim, a localização de objetos sob a água.

Foto: D.R.

Reverberação

Em grandes salas fechadas ocorre o encontro do som com as paredes. Esse encontro produz reflexões múltiplas que, além de reforçar o som, prolongam-no durante algum tempo depois de cessada a emissão.

É esse prolongamento que constitui a reverberação.

A reverberação ocorre quando o som refletido atinge o observador no instante em que o som direto está se extinguindo, ocasionando o prolongamento da sensação auditiva.

2^a PROPRIEDADE: REFRAÇÃO

Consiste em a onda sonora passar de um meio para outro, mudando sua velocidade de propagação e o comprimento de onda, mas mantendo constante a freqüência.

3^a PROPRIEDADE: DIFRAÇÃO

Fenômeno em que uma onda sonora pode transpor obstáculos.

Quando se coloca um obstáculo entre uma fonte sonora e o ouvido, por exemplo, o som é enfraquecido, porém não extinto. Logo, as ondas sonoras não se propagam somente em linha reta, mas sofrem desvios nas extremidades dos obstáculos que encontram.

4^a PROPRIEDADE: INTERFERÊNCIA

Consiste em um recebimento de dois ou mais sons de fontes diferentes.

Nesse caso, teremos uma região do espaço na qual, em certos pontos, ouviremos um som forte e, em outros, um som fraco ou ausência de som.

som forte	→ interferência construtiva
som fraco	→ interferência destrutiva

5^a PROPRIEDADE: RESSONÂNCIA

Quando um corpo começa a vibrar por influência de outro, na mesma freqüência deste, ocorre um fenômeno chamado ressonância.

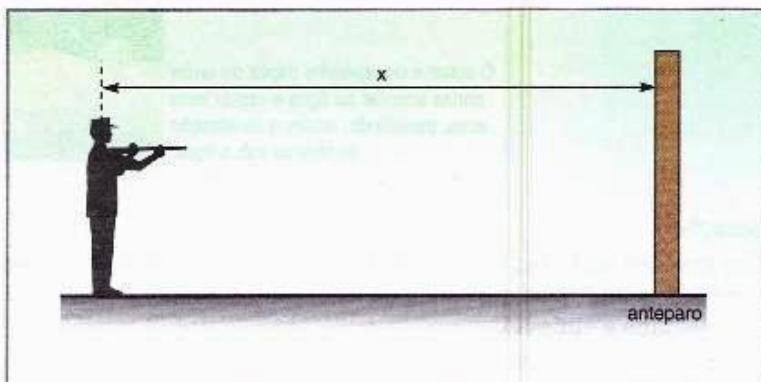
Como exemplo, podemos citar o vidro de uma janela que se quebra ao entrar em ressonância com as ondas sonoras produzidas por um avião a jato.

APLICAÇÃO

A 7

Num treino, um atirador dispara sua arma diante de um anteparo refletor e ouve o eco do tiro após 6 s. Sabendo que o som se propaga no ar com velocidade de 340 m/s, calcule a distância do caçador ao anteparo.

Resolução:



Durante o movimento, o som percorre uma distância igual a $2x$ (ida e volta), em movimento uniforme; logo:

$$s = vt \rightarrow 2x = vt \rightarrow 2x = 340 \cdot 6 \rightarrow x = 1\,020 \text{ m}$$

Resposta: 1 020 m

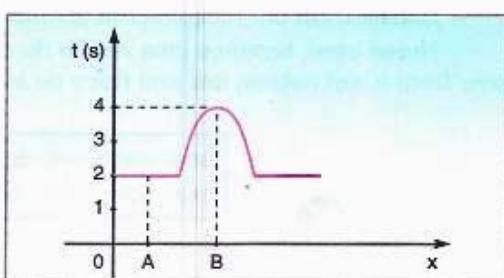
QUESTÕES

Q30 Um observador está diante de um muro, situado a 680 m de distância, contra o qual dá um tiro. Sabendo que a velocidade do som é de 340 m/s, após quantos segundos o observador perceberá o eco do tiro? **4 s**

Q31 Uma martelada é dada na extremidade de um trilho. Na outra extremidade encontra-se um indivíduo que ouve dois sons, com uma diferença de tempo de 0,18 s. O primeiro se propaga através do trilho com velocidade de 3 400 m/s e o segundo, através do ar, com velocidade de 340 m/s. Determine o comprimento do trilho.

Q32 Para efetuar uma sondagem submarina um navio utiliza o método do eco (sonar): emite pulsos sonoros verticais e registra o intervalo de tempo t entre a emissão e a recepção do pulso.

A velocidade do som na água é de 1,4 km/s. Com o navio navegando em linha reta e sendo x a sua posição, traça-se o gráfico indicado na figura.



- Qual a profundidade do mar no ponto A? **1,4 km**
- Qual a profundidade do mar no ponto B? O que você acha que existe nesse ponto, um pico ou uma depressão? **2,8 km; uma depressão**

Q33 (UFPel-RS) A festa terminou tarde. Não foi possível encontrar um só táxi. Você resolve ir para casa caminhando pelas ruas desertas. De repente, numa rua bastante larga, cheia de prédios altos, começa a ouvir outros passos além dos seus. Pára, olha em todas as direções e não observa ninguém, só então nota que os "outros passos" também pararam. Recomeça a caminhar e os passos estranhos também recomeçam... Essa situação pode ter alguma explicação física? Justifique sua resposta. sim

Q34 (UFPA) As ultra-sonografias têm se revelado como importantes recursos para obtenção de imagens dos órgãos internos do corpo humano. Um transdutor (fonte de ultra-som), quando colocado sobre a pele de um paciente, emite o ultra-som e detecta a onda refletida (eco) para produzir a imagem. A velocidade das ondas ultrassônicas em tecidos moles do nosso corpo é de, aproximadamente, 1 500 m/s.

Com base nesses dados, responda:

- Se uma ultra-sonografia é feita com uma frequência de 5 MHz, qual o comprimento de onda, em milímetros (mm), desse ultra-som, nos tecidos moles do corpo do paciente? 0,3 mm
- Se o retardamento do eco (tempo necessário para o ultra-som sair da fonte, refletir-se no órgão-alvo e retornar ao ponto de partida) é

de $8 \cdot 10^{-5}$ s, qual a distância, em centímetros (cm), do órgão-alvo até a superfície da pele onde se encontra o transdutor? 6 cm

Q35 (UFJF-MG) Um cantor ou uma cantora de ópera pode emitir sons que provocam a quebra de um copo de cristal. Explique detalhadamente este fenômeno.

Q36 (PUC-SP)

- Após se propagarem no ar, uma onda sonora e uma onda luminosa monocromática sofrem refração ao passarem do ar para o vidro. Esquematize suas trajetórias no vidro, justificando. [resposta no final do livro](#)
 - Se a onda sonora tiver frequência de 1 kHz, qual será o seu comprimento de onda no vidro? Ela continuará, nesse meio, a ser uma onda sonora? Justifique. 5 m; continuará sonora, pois a mudança de meio não altera a frequência da onda.
- Dados:
 $v_{\text{som no vidro}} = 5\,000\text{ m/s}$, $v_{\text{som no ar (15}^{\circ}\text{C)}} = 340\text{ m/s}$.



PESQUISE

I) O que é o ecossonda? O que é o radar? Onde esses instrumentos são utilizados?



II) Alguns animais são capazes de perceber sons de freqüências exteriores à faixa audível para o ouvido humano. Os golfinhos e os morcegos, por exemplo, conseguem ouvir ultra-sons com freqüências seis vezes maiores que o limite da audição humana. Como o golfinho e o morcego conseguem se movimentar tirando partido desse fato?



Foto: Corbis Stock Photo

EFEITO DOPPLER

Quando uma pessoa se aproxima de uma fonte sonora fixa, a freqüência do som ouvido é maior do que aquela de quando a pessoa se afasta da fonte.

O mesmo resultado seria obtido se a fonte se aproximasse ou se afastasse de uma pessoa parada.

Você pode observar esse fenômeno ouvindo o apito de uma locomotiva em movimento. O apito é mais grave (freqüência menor) quando está se afastando, após ter passado por você.

Observe que, quando há aproximação entre o observador e a fonte, o observador recebe maior número de ondas por unidade de tempo e, quando há afastamento, recebe um menor número de ondas:



Essa variação aparente da freqüência de onda é chamada *efeito Doppler*, em homenagem ao físico e matemático austríaco Christian Johann Doppler (1803-1853), que ficou célebre por esse princípio.

Denominando f' a freqüência recebida pelo observador e f a freqüência emitida pela fonte, temos:

- ✓ aproximação: $f' > f$
- ✓ afastamento: $f' < f$

Essas grandezas são relacionadas pela expressão:

$$f' = f \left(\frac{v \pm v_o}{v \pm v_f} \right)$$

Onde:

v = velocidade da onda

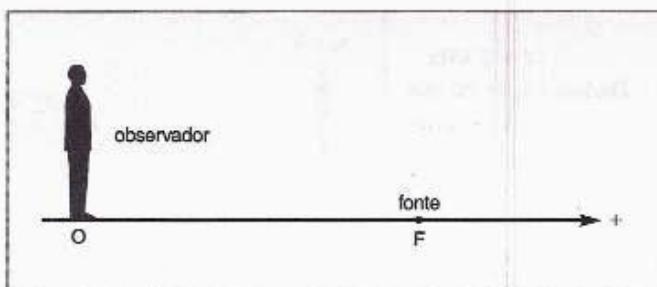
v_f = velocidade da fonte

v_o = velocidade do observador

f = freqüência real emitida pela fonte

f' = freqüência aparente recebida pelo observador

Os sinais *mais* (+) ou *menos* (-) que precedem v_o ou v_f são utilizados de acordo com a convenção:



A trajetória será positiva no sentido de O para F . Portanto:

$$v_o \begin{cases} \rightarrow & + \text{ observador se aproxima da fonte} \\ \leftarrow & - \text{ observador se afasta da fonte} \end{cases}$$

$$v_f \begin{cases} \rightarrow & + \text{ fonte se afasta do observador} \\ \leftarrow & - \text{ fonte se aproxima do observador} \end{cases}$$

$$v_o = 0, \text{ o observador está parado}$$

$$v_f = 0, \text{ a fonte está parada}$$

APLICAÇÃO

A8

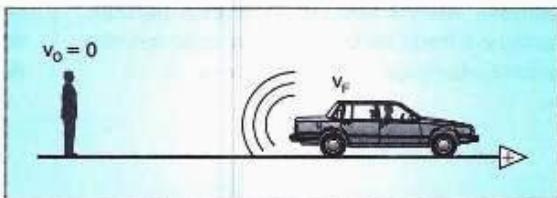
Um automóvel, movendo-se a 20 m/s, passa próximo a uma pessoa parada junto ao meio-fio. A buzina do carro está emitindo uma nota de freqüência 2,0 kHz. O ar está parado e a velocidade do som em relação a ele é 340 m/s. Que freqüência o observador ouvirá:

- quando o carro estiver se aproximando?
- quando o carro estiver se afastando?

Resolução:

a) Quando o carro estiver se aproximando do observador, teremos:

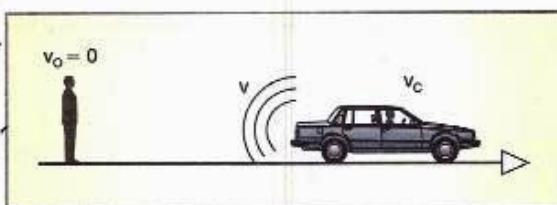
Dados: $\begin{cases} f = 2 \text{ kHz} \\ v_f = 20 \text{ m/s} \\ v = 340 \text{ m/s} \\ v_o = 0 \end{cases}$



$$f' = f \left(\frac{v + v_o}{v - v_f} \right) \rightarrow f' = 2 \left(\frac{340 + 0}{340 - 20} \right) \rightarrow f' = 2,125 \text{ kHz}$$

b) Quando o carro estiver se afastando do observador, teremos:

Dados: $\begin{cases} f = 2 \text{ kHz} \\ v_c = 20 \text{ m/s} \\ v = 340 \text{ m/s} \end{cases}$



$$f' = f \left(\frac{v + v_o}{v + v_F} \right) \rightarrow f' = 2 \left(\frac{340 + 0}{340 + 20} \right) \rightarrow f' = 1,889 \text{ kHz}$$

Respostas: a) 2,125 kHz; b) 1,889 kHz

QUESTÕES

Q37 Uma fonte sonora que emite um som de freqüência 500 Hz se aproxima de um observador em repouso, com a velocidade de 72 km/h. Sendo a velocidade do som 340 m/s, calcule a freqüência recebida pelo observador. **531,25 Hz**

Q38 (PUC-SP) Determine a velocidade com que um observador deve aproximar-se de uma fonte sonora (em repouso) cuja freqüência é de 16 000 Hz, para deixar de ouvi-la, sabendo que a velocidade de propagação do som no ar é de 340 m/s e a máxima freqüência audível, 20 000 Hz. **306 km/h, no mínimo**

Q39 (IME) Uma moça está sentada à janela de um trem que se move à velocidade dc 10 m/s para leste. O tio da moça está parado perto dos trilhos e observa o trem se afastar. O apito da locomotiva vibra a 500 Hz. O ar está parado. Determine a freqüência de som do apito ouvido:
a) pelo tio da moça b) pela moça **500 Hz**
= 485,7 Hz

Um vento começa a soprar a 10 m/s vindo do leste. Dê a freqüência do som do apito ouvido agora:

- c) pelo tio da moça **500 Hz**
d) pela moça **500 Hz**

Dado: velocidade do som no ar = 340 m/s.

Q40 (IME) Uma fonte sonora é arremessada verticalmente a partir da superfície da Terra. O som emitido no momento em que a fonte atinge o ponto mais alto da trajetória é ouvido por um observador que está imóvel no ponto de lançamento com uma freqüência de 400 Hz. Desprezando os efeitos do atrito com o ar e da rotação da Terra, determine a freqüência com que o observador ouvirá um som emitido 17 s após o início da descida. **800 Hz**

Dados:

aceleração da gravidade: $g = 10 \text{ m/s}^2$, velocidade do som: $v_s = 340 \text{ m/s}$.

PESQUISE

Por que as ondas médias chegam mais longe à noite?

UNIDADE X

Eletrostática

CAPÍTULO 24

PRIMEIROS CONCEITOS

TEORIA, SEUS CRIADORES, SUA PRÁTICA

A eletricidade como ciência data de 600 a.C., quando o grego Thales de Mileto descobriu que o *âmbar*, uma resina fóssil, quando atritada com pele de animal adquiria a propriedade de atrair pequenos pedaços de palha.

O nome dessa resina em grego é *élektron*, do qual derivam as palavras *eletricidade*, *eletrização* etc.

Em 1600 o médico inglês Willian Gilbert (1544-1603), retomando as observações de Thales, inventou o pêndulo elétrico, o que tornou possível a observação de uma série de fenômenos que se transformaram na base da Eletricidade.

Uma de suas observações foi a existência de um grande número de corpos que, quando atritados, se comportam como o âmbar, isto é, adquirem *carga elétrica*, se eletrizam e passam a exercer força de atração sobre outros corpos.

Os estudos nesse campo evoluíram com Otto von Guericke (1602-1686), que observou a repulsão entre cargas elétricas. Somente por volta de 1730 o pesquisador francês Charles Du Fay (1698-1739) demonstrou claramente que a força elétrica podia ser atrativa ou repulsiva. Na metade do século XVIII, Benjamin Franklin, estadista e cientista americano, admite a transferência de eletricidade de um corpo para outro, quando são atritados, imagina a eletricidade como um fluido e se refere aos estados elétricos como um excesso ou uma deficiência desse fluido.



Fonte: Corbis Stock Photo

Âmbar.



Cabelo eletrizado.

Classifica os três estados elétricos do seguinte modo:

- ✓ *neutro*: quando o corpo possui esse fluido em condições normais
- ✓ *positivo*: quando o corpo recebe uma quantidade desse fluido de outro corpo
- ✓ *negativo*: quando o corpo perde uma certa quantidade desse fluido para outro corpo

No final do século XVIII o francês Charles Augustin de Coulomb (1736-1806), utilizando a balança de torção, estabelece a primeira lei quantitativa da eletricidade, a da força elétrica, conhecida como lei de Coulomb.

As noções de campo elétrico, potencial elétrico e capacidade foram introduzidas através dos teoremas de Gauss, de Laplace e de Poisson.

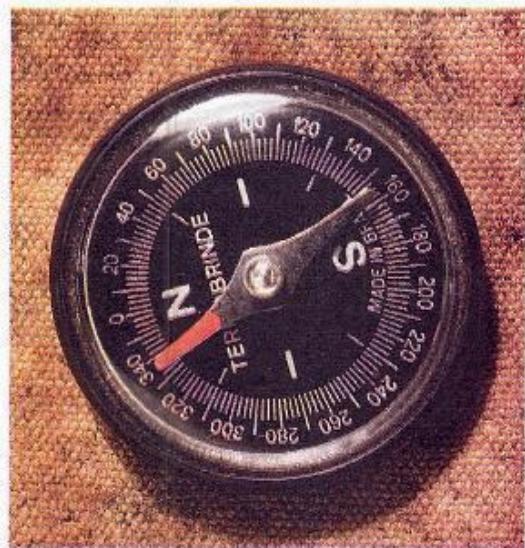
A eletricidade dinâmica se desenvolve com a descoberta da pilha, por Alexandre Volta (1745-1826), em 1800, revelando a corrente elétrica e a resistência elétrica. Tornou-se necessário medir essas grandezas e outras, situação que interessou a Ampère, Ohm, Pouillet, Joule, Faraday e Kirchhoff, cujos trabalhos permitiram a construção de equipamentos como o amperímetro e o voltímetro.

A descoberta da corrente elétrica reativou os conhecimentos sobre fenômenos magnéticos já conhecidos muitos séculos antes da descoberta de Thales de Mileto. Acredita-se que foram observados pela primeira vez numa antiga cidade da Ásia menor, chamada Magnésia, de onde teriam se originado os termos: magnetita, magnético, magnetismo etc.

Em 1820, o físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851) verificou que uma bússola magnética sofria deflexão quando colocada nas vizinhanças de um fio conduzindo corrente elétrica. Tal observação, relacionando eletricidade e magnetismo, levou muitos cientistas ilustres, entre os quais Michael Faraday (1791-1867), Lorentz, Biot, Savart, Ampère, Joseph Henry, Edwin Hall, Lenz, a realizarem pesquisas que conduziram à demonstração de que existe uma interligação entre eletricidade e magnetismo.

Essas descobertas introduziram uma revolução econômica e industrial proporcionando o bem-estar de que desfrutamos hoje; graças a elas, dispomos de televisores, telefones, computadores, rádios etc.

Graças a elas dispomos também de motores elétricos, utilizados num sem-número de equipamentos de uso diário.



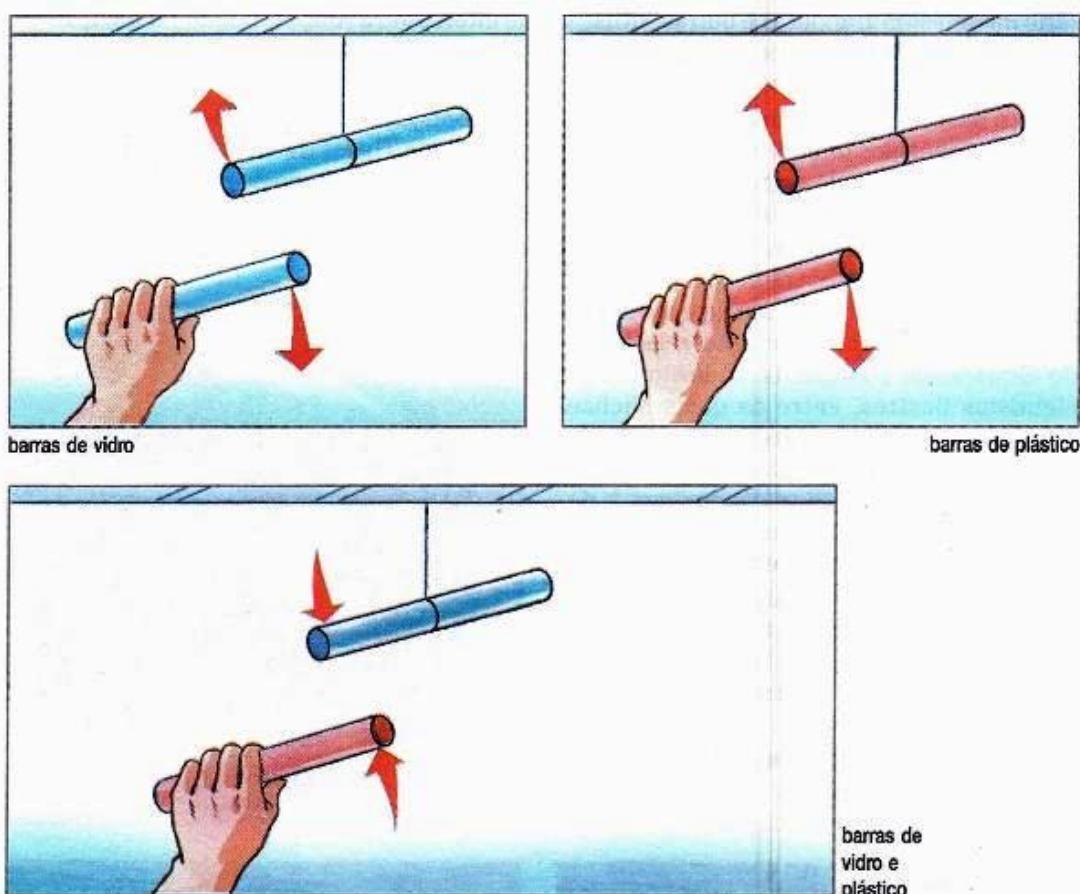
CARGA ELÉTRICA

Muitas outras substâncias apresentam essa mesma propriedade do âmbar: quando atritadas adquirem *carga elétrica*, se eletrizam e passam a exercer força elétrica sobre outros corpos.

Vamos considerar a seguinte experiência: atritamos duas barras de vidro com um pedaço de seda. Penduramos uma das barras atritadas por um fio. A seguir, colocamos perto desta barra a outra barra também atritada. Observamos que elas se repelem.

Repetimos todo o processo com duas barras de plástico atritadas com lã. Elas também se repelem.

Entretanto, ao aproximarmos a barra de vidro atritada com seda da barra de plástico atritada com lã, verificamos que elas se atraem.



Repetindo essa experiência com outros tipos de materiais, podemos observar a existência de apenas dois tipos de carga elétrica:

- ✓ uma, adquirida pelo vidro quando atritado com a seda
- ✓ outra, adquirida pelo plástico quando atritado com a lã

Foi Benjamin Franklin quem denominou a carga adquirida pelo vidro de positiva, e negativa a carga adquirida pelo plástico.

Dessa experiência podemos também concluir que bastões eletrizados com um mesmo tipo de carga se repelem e bastões eletrizados com tipos diferentes de cargas se atraem.

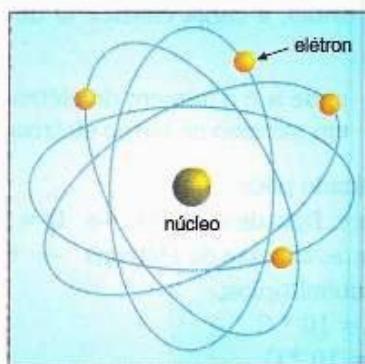
ESTRUTURA DA MATÉRIA

A partir do conhecimento da *estrutura da matéria*, podemos explicar a eletrização dos corpos.

A matéria é formada de pequenas partículas, os *átomos*. Cada átomo, por sua vez, é constituído de partículas ainda menores, os *prótons*, os *elétrons* e os *nêutrons*. Os prótons e os nêutrons localizam-se na parte central do átomo, formando o *núcleo*, que, apesar de ser aproximadamente cem mil vezes menor que o tamanho do átomo, é onde se concentra praticamente toda sua massa.

Os elétrons, cuja massa é cerca de 1 840 vezes menor que a dos prótons, giram em torno do núcleo numa região chamada *eletrosfera*.

Os prótons e os elétrons apresentam uma importante propriedade física, a *carga elétrica*.

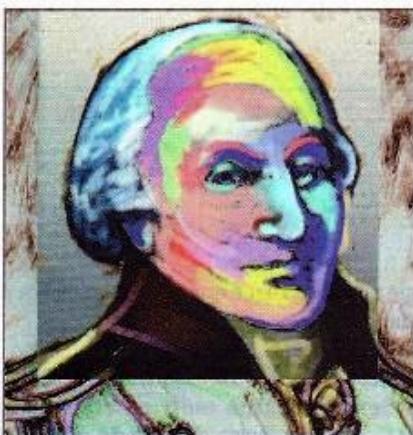


Representação esquemática do átomo.

A carga elétrica do próton e a do elétron são exatamente iguais, porém de sinais contrários. A carga do próton é *positiva* e a do elétron, *negativa*. O nêutron é desprovido de carga elétrica.

Num átomo não existe predominância de cargas elétricas; o número de prótons é igual ao de elétrons. Assim, o átomo é um sistema eletricamente neutro. Entretanto, quando perde ou ganha elétrons, fica eletrizado. Eletrizado positivamente quando perde elétrons e negativamente quando recebe elétrons.

A quantidade de carga do elétron, em valor absoluto, é chamada *carga elementar* e é representada por e .



No SI, a unidade de carga é o *coulomb*, cujo símbolo é C .

CHARLES AUGUSTIN DE COULOMB (1736-1806)

Físico francês, iniciou suas pesquisas no campo da eletricidade e do magnetismo para participar de um concurso aberto pela Academia de Ciências sobre a fabricação de agulhas imantadas. Estudou o atrito e descobriu a eletrização superficial dos condutores. Formulou a lei da atração e repulsão entre as cargas elétricas.

O valor da carga elementar é:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Então:

- ✓ carga do elétron: $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ✓ carga do próton: $+1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

O processo pelo qual um corpo se eletriza é semelhante ao de um átomo.

No seu estado normal, um corpo é neutro, isto é, apresenta a mesma quantidade de prótons e de elétrons, cujas cargas de sinais contrários se equilibram. Quando apresenta falta ou excesso de elétrons torna-se um corpo *eletrizado*.

É importante observar que a carga adquirida pelo corpo ao se eletrizar só aparece em *múltiplos inteiros* da carga elementar. Por essa razão dizemos que a carga é *quantizada* em múltiplos da carga elementar. Então, a carga elétrica Q de um corpo eletrizado pode ser escrita sob a forma:

$$Q = n \cdot e$$

onde n é o número de elétrons ou prótons em excesso no corpo eletrizado.

Portanto, um corpo eletrizado pode estar:

- ✓ eletrizado positivamente: falta de elétrons $\rightarrow Q = +n \cdot e$
✓ eletrizado negativamente: excesso de elétrons $\rightarrow Q = -n \cdot e$

É usual o emprego dos submúltiplos:

- ✓ 1 microcoulomb: $1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$
✓ 1 nanocoulomb: $1 \text{nC} = 10^{-9} \text{ C}$
✓ 1 picocoulomb: $1 \text{pC} = 10^{-12} \text{ C}$

APLICAÇÃO

A 1

Determine o número de elétrons existentes em uma carga de $1,0 \text{ C}$.

Resolução:

Dados: $Q = 1,0 \text{ C}$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Da equação $Q = n \cdot e$, vem:

$$Q = n \cdot e \rightarrow 1,0 = n \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \rightarrow n = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ elétrons}$$

Resposta: $6,25 \cdot 10^{18}$ elétrons

QUESTÕES

Q1 É dado um corpo eletrizado com carga $6,4 \mu\text{C}$.
 $4 \cdot 10^{13}$ elétrons

- a) Determine o número de elétrons em falta no corpo. A carga do elétron é $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.
b) Quantos elétrons em excesso tem o corpo eletrizado com carga -16nC ? 10^{11} elétrons

Q2 O que significa dizer que a carga elétrica é quantizada?

Q3 Um corpo tem $3 \cdot 10^{18}$ elétrons e $4 \cdot 10^{18}$ prótons. Sendo a carga elétrica elementar $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, qual é a carga elétrica do corpo?
 $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$



(Cesgranrio-RJ) Um pedaço de cobre eletricamente isolado contém $2 \cdot 10^{22}$ elétrons livres, sendo a carga de cada um igual a

$-1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Para que o metal adquira uma carga de $3,2 \cdot 10^{-9}$ C, será preciso remover um em cada quantos desses elétrons livres?

Você Sabia?

O núcleo do átomo é formado por prótons e nêutrons. Os prótons e os nêutrons são formados por *quarks*.

Os *quarks* podem ter cargas elétricas de dois valores diferentes: $+\frac{2}{3}$ e $-\frac{1}{3}$ do valor da carga elétrica do próton — os *antiquarks*, que dão origem às antipartículas têm cargas opostas. Existem três famílias de *quarks*, com dois deles em cada uma. Apenas uma família, entretanto, formada pelos *quarks up* (U), com carga $+\frac{2}{3}$, e *down* (D), com carga $-\frac{1}{3}$, participa da formação dos prótons e nêutrons. O próton é formado por dois *quarks U* e um D, o que resulta numa carga de $\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = +1$. O nêutron é formado por dois D e um U e, por isso, tem carga zero.

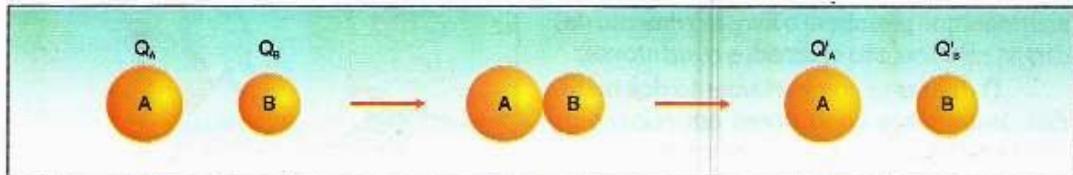
A forma moderna da teoria dessas partículas chama-se *cromodinâmica quântica*, e aceita-se que deva ser a teoria da estrutura mais íntima da matéria.

PRINCÍPIOS DA ELETROSTÁTICA

Experiências comprovam que durante o processo de atrito o número de cargas cedidas por um corpo é igual ao número de cargas recebidas pelo outro, o que permite enunciar o *princípio da conservação da carga elétrica*:

Num sistema eletricamente isolado, é constante a soma algébrica das cargas elétricas.

Como exemplo, considere dois corpos, A e B, eletrizados com cargas respectivamente iguais a Q_A e Q_B . Colocados em contato, os corpos trocam cargas entre si. Separados, apresentam cargas Q'_A e Q'_B .

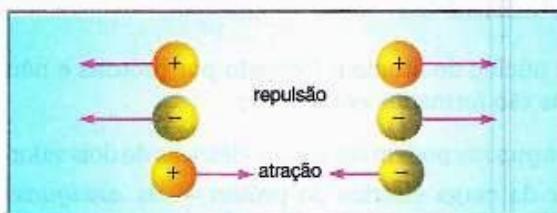


Considerando o sistema eletricamente isolado, vale a relação:

$$Q_A + Q_B = Q'_A + Q'_B$$

Aproximando-se dois corpos eletrizados de mesma carga elétrica, entre eles aparece uma força elétrica de *repulsão*, e entre corpos eletrizados de cargas diferentes, uma força elétrica de *atração*, o que permite enunciar o *princípio da atração e repulsão das cargas*:

Cargas elétricas de mesmo sinal se repelem e de sinais opostos se atraem.



ISOLANTES E CONDUTORES

Uma barra de plástico atritada com um tecido de lã adquire cargas elétricas que permanecem na região atritada. O plástico, e todos os materiais que não permitem o movimento das cargas elétricas, são chamados *isolantes* ou *dielétricos*.

Segurando-se uma barra metálica e atritando-a com um tecido de lã, ela adquire cargas elétricas, mas não permanece eletrizada. As cargas adquiridas fluem pela barra, pelo corpo e escoam para a terra.

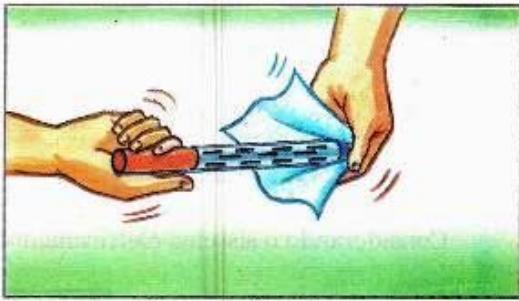
Entretanto, por atrito, pode-se eletrizar a barra metálica, bastando para isso segurá-la por um cabo de plástico. Nesse caso, as cargas ficam retidas na barra e se distribuem por toda a sua superfície.



No plástico, as cargas permanecem na região atritada.



Na barra de metal, as cargas fluem.



Na barra de metal, com cabo de plástico, as cargas se distribuem pela barra.

Entre os isolantes e os condutores há um grupo intermediário, os semicondutores, de importância muito grande na microeletrônica. Os semicondutores mais conhecidos são o germânio e o silício, muito usados na construção de diodos e transistores.

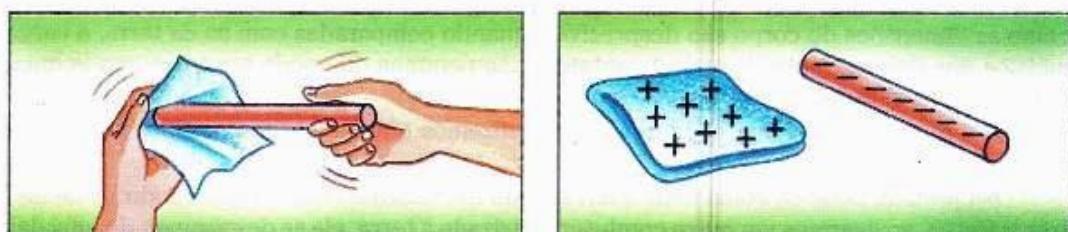
Existem ainda materiais que a temperaturas próximas do zero absoluto apresentam resistência nula ao movimento das cargas elétricas. São os supercondutores. É o caso, por exemplo, do alumínio, a temperaturas menores do que -272°C . 4K

ELETRIZAÇÃO POR ATRITO

Quando dois corpos diferentes são atritados, pode ocorrer a passagem de elétrons de um corpo para o outro. Nesse caso, diz-se que houve uma *eletrização por atrito*.

Considere um bastão de plástico sendo atritado com um pedaço de lã, ambos inicialmente neutros.

A experiência mostra que, após o atrito, os corpos passam a manifestar propriedades elétricas.



No exemplo descrito, houve transferência de elétrons da lã para o bastão.

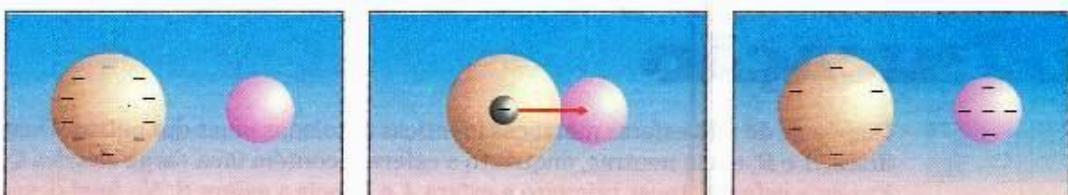
Na eletrização por atrito, os dois corpos ficam carregados com cargas iguais, porém de sinais trocados.

Sabe-se ainda que uma mesma substância pode ficar eletrizada positiva ou negativamente, conforme o tipo da outra substância com que é atritada.

ELETRIZAÇÃO POR CONTATO

Quando colocamos dois corpos condutores em contato, um eletrizado e o outro neutro, pode ocorrer a passagem de elétrons de um para o outro, fazendo com que o corpo neutro se eletrize.

Consideremos duas esferas, uma eletrizada e a outra, neutra.



Antes do contato.

Durante o contato.

Depois do contato.

As cargas em excesso do condutor eletrizado negativamente se repelem e alguns elétrons passam para o corpo neutro, fazendo com que ele fique também com elétrons em excesso, e, portanto, eletrizado negativamente.

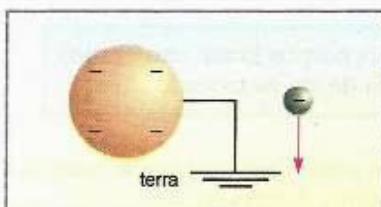
Se a esfera estiver eletrizada com cargas positivas, haverá também uma *passagem de elétrons*, porém, dessa vez, do corpo neutro para o eletrizado, pois este está com falta de elétrons e os atrai do corpo neutro. Portanto, a esfera neutra também fica eletrizada *positivamente*, pois cedeu elétrons.

Na eletrização por contato, os corpos ficam eletrizados com cargas de mesmo sinal.

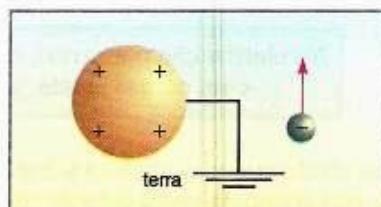
Em termos de manifestações elétricas, a terra é considerada como um enorme *elemento neutro*. Dessa forma, quando um condutor eletrizado é colocado em contato com a terra ou ligado a ela por outro condutor, há uma redistribuição de cargas elétricas proporcional às dimensões do corpo eletrizado e da terra, ficando, na realidade, ambos eletrizados. Porém, como as dimensões do corpo são desprezíveis quando comparadas com as da terra, a carga elétrica que nele permanece, após o contato, é tão pequena que pode ser considerada nula, pois não consegue manifestar propriedades elétricas.

Assim, ao ligarmos um condutor à terra, dizemos que ele se *descarrega*, isto é, fica *neutro*.

Na prática, pode-se considerar a terra como um enorme reservatório condutor de elétrons. Então, ao ligarmos um outro condutor eletrizado à terra, ele se *descarrega* de uma das seguintes formas:



Os elétrons em excesso do condutor escoam para a terra devido à repulsão entre eles.



Devido à atração, os elétrons da terra fluem para o condutor.

Importante

Após o contato, condutores de mesma forma e com as mesmas dimensões apresentam cargas iguais.

APLICAÇÃO

A2

Dispõe-se de três esferas metálicas idênticas e isoladasumas das outras. Duas delas, A e B, estão neutras, enquanto a esfera C contém uma carga elétrica Q . Faz-se a esfera C tocar primeiro a esfera A e depois a esfera B. No final desse procedimento, qual a carga elétrica das esferas A, B e C, respectivamente?

Resolução:

Dados:

$Q_A = 0$ $Q_B = 0$ $Q_C = Q$

Após o contato de *A* com *C*:A soma das cargas dos corpos *A* e *C* é igual antes e após o contato, portanto:

$$Q'_A = Q'_C = \frac{Q_A + Q_C}{2} = \frac{0 + Q}{2} = \frac{Q}{2}$$

Após o contato de *B* com *C*:

$$Q'_B = Q''_C = \frac{Q_B + Q'_C}{2} = \frac{0 + \frac{Q}{2}}{2} = \frac{Q}{4}$$

Resposta: As cargas finais são: $Q'_A = \frac{Q}{2}$, $Q'_B = Q''_C = \frac{Q}{4}$.

QUESTÕES

Q5 Na eletrização por atrito criam-se cargas elétricas? Explique. [resposta no final do livro](#)

Q6 Uma caneta de plástico, depois de eletrizada por atrito com o cabelo, atrai pequenos pedaços de papel. Alguns pedaços, após tocarem a caneta, são violentamente repelidos. Explique o fenômeno. [resposta no final do livro](#)

Q7 Um bastão pode ser eletrizado em uma de suas extremidades e permanecer neutro na outra? Explique. [resposta no final do livro](#)

Q8 Por que os metais são bons condutores de eletricidade? [resposta no final do livro](#)

Q9 Explique o que acontece quando tocamos um corpo carregado: [respostas no final do livro](#)

- a) positivamente
- b) negativamente

Q10 Responda às seguintes questões:

- a) O que acontece a um corpo condutor eletrizado quando entra em contato com o solo?
- b) Por que não conseguimos eletrizar por atrito um corpo condutor, segurando-o diretamente com a mão?
- c) Os caminhões que conduzem combustível possuem uma corrente que vai se arrastando pelo chão. Justifique a utilidade da corrente. [respostas no final do livro](#)

Q11 Um corpo A , com carga $Q_A = 8 \mu\text{C}$, é colocado em contato com um corpo B , inicialmente neutro. Em seguida, são afastados um do outro. Sabendo que a carga do corpo B , após o contato, é de $5 \mu\text{C}$, calcule a nova carga do corpo A .

$3 \mu\text{C}$

Q12 Considere duas esferas, A e B , idênticas e isoladas eletricamente. As esferas A e B possuem cargas respectivamente iguais a $3 \mu\text{C}$ e $1 \mu\text{C}$. Colocam-se as duas esferas em contato.

- Qual a carga final de cada esfera? $2 \mu\text{C}$ cada uma
- Qual o número de elétrons transferidos da esfera A para a B ? $6.25 \cdot 10^{12}$ elétrons

Q13 Considere as seguintes afirmativas:

- Somente corpos carregados positivamente atraem corpos neutros.

- Somente corpos carregados negativamente atraem corpos neutros.
- Um corpo carregado pode atrair ou repelir um corpo neutro.
- Se um corpo A eletrizado positivamente, atraí um outro corpo B , podemos afirmar que B está carregado negativamente.
- Um corpo neutro pode ser atraído por um corpo eletrizado.

Quais delas são verdadeiras? somente a E

Q14 Dispõe-se de quatro esferas metálicas idênticas e isoladas umas das outras. Três delas, A , B e C , estão descarregadas, enquanto a quarta esfera, D , contém carga negativa Q . Faz-se a esfera D tocar, sucessivamente, as esferas A , B e C . Determine a carga elétrica final da esfera D .

$-\frac{Q}{3}$

ELETRIZAÇÃO POR INDUÇÃO

A eletrização de um condutor neutro pode ocorrer por *simples aproximação* de um outro corpo eletrizado, sem que haja contato entre eles.



Consideremos um condutor inicialmente neutro e um bastão eletrizado negativamente. Quando aproximamos o bastão eletrizado do corpo neutro, suas cargas negativas repelem os elétrons livres do corpo neutro para posições as mais distantes possíveis.

Dessa forma, o corpo fica com falta de elétrons numa extremidade e com excesso de elétrons na outra.

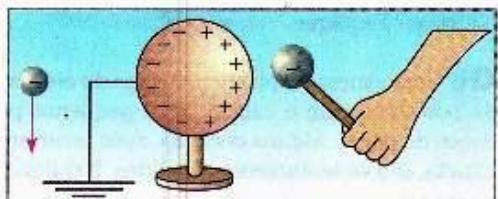
O fenômeno da separação de cargas num condutor, provocado pela aproximação de um corpo eletrizado, é denominado *indução eletrostática*.

Na indução eletrostática ocorre apenas uma separação entre algumas cargas positivas e negativas do corpo.

O corpo eletrizado que provocou a indução é denominado *indutor* e o que sofreu a indução, *induzido*.

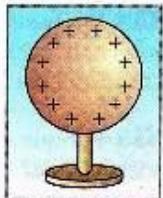
Se quisermos obter no induzido uma eletrização com cargas de um só sinal, basta ligá-lo à terra na presença do indutor.

Nessa situação, os elétrons livres do induzido, que estão sendo repelidos pela presença do indutor, escoam para a terra.



Desfazendo-se esse contato e, logo após, afastando-se o bastão, o induzido ficará carregado com cargas *positivas*.

No processo da indução eletrostática, o corpo induzido se eletrizará sempre com cargas de sinal contrário às do indutor.

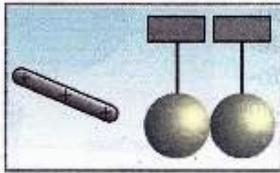


QUESTÕES

Q15 Durante o processo de eletrização de um corpo condutor por indução, ocorre transferência de cargas? Explique. **sim**

Q16 Na figura estão representados dois condutores metálicos descarregados, em contato, suportados por barras isolantes.

Aproxima-se deles um bastão isolante carregado positivamente. Com o bastão ainda próximo dos condutores, afasta-se um do outro. Faça a representação das cargas presentes ago-



ra em cada condutor, bastante afastados entre si e do bastão. resposta no final do livro

Q17 Como se pode eletrizar negativamente uma esfera metálica neutra através da indução eletrostática? resposta no final do livro

Q18 Considere as afirmativas a seguir:

- I. Corpos constituídos de material isolante não se eletrizam.
- II. Um corpo se eletriza quando ganha ou perde elétrons.
- III. Objetos constituídos de material condutor podem ser eletrizados por indução.

Quais dessas afirmativas são verdadeiras? **II e III**

ELETROSCÓPIO

É um aparelho que se destina a indicar a existência de cargas elétricas, ou seja, identificar se um corpo está eletrizado.

Os eletroscópios mais comuns são o pêndulo eletrostático e o eletroscópio de folhas.

PÊNDULO ELETROSTÁTICO

É constituído de uma esfera leve e pequena, em geral de cortiça ou isopor, suspensa por um fio flexível e isolante, preso a um suporte.

Para entender seu funcionamento, suponha que se deseje saber se um determinado corpo está eletrizado. Aproximando-se o corpo da esfera neutra, se ele estiver eletrizado, ocorrerá o fenômeno da indução eletrostática na esfera e ela será atraída para o corpo em teste.

Se quisermos saber o sinal da carga que o corpo eletrizado possui, devemos, primeiramente, eletrizar a esfera com uma carga de sinal conhecido. Suponha, por exemplo, que a esfera do pêndulo tenha sido eletrizada com carga negativa. Ao aproximarmos o corpo em teste, que já sabemos estar eletrizado, podem ocorrer dois casos:

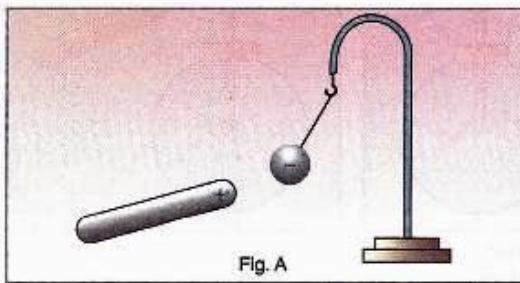


Fig. A

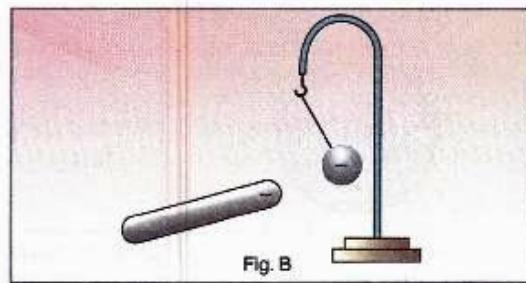


Fig. B



Série Didática da Editora

- ✓ Se a esfera for atraída para o corpo é porque ele está eletrizado com carga de sinal contrário ao da esfera. No caso da figura A, o corpo está eletrizado com carga positiva.
- ✓ Se a esfera for repelida pelo corpo é porque ele está eletrizado com carga de mesmo sinal que a da esfera. No caso da figura B, o corpo está eletrizado com carga negativa.

ELETROSCÓPIO DE FOLHAS

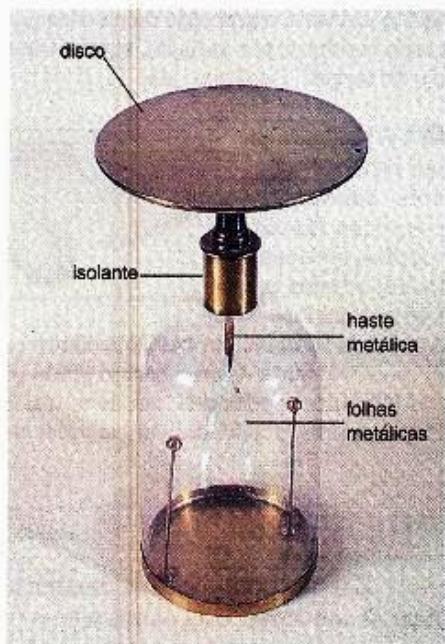
É constituído de duas folhas metálicas, finas e flexíveis, ligadas em sua parte superior a uma haste, que se prende a uma esfera ou disco, todos condutores. Um isolante impede a passagem de cargas elétricas da haste para a esfera. Normalmente, as folhas metálicas são mantidas dentro de um frasco transparente, a fim de aumentar sua justeza e sensibilidade.

Aproximando-se da esfera o corpo que se quer verificar, se ele estiver eletrizado, ocorrerá a indução eletrostática.

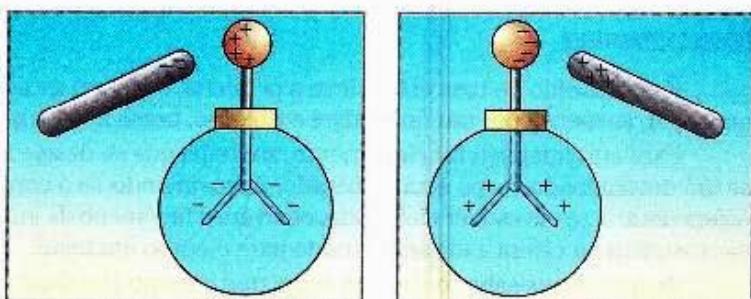
Assim:

- ✓ Se o corpo estiver carregado negativamente, ele repele os elétrons livres da esfera para as lâminas, fazendo com que elas se abram devido à repulsão.
- ✓ Se o corpo estiver com cargas positivas, ele atrai os elétrons livres das lâminas, fazendo também com que elas se abram, novamente, devido à repulsão.

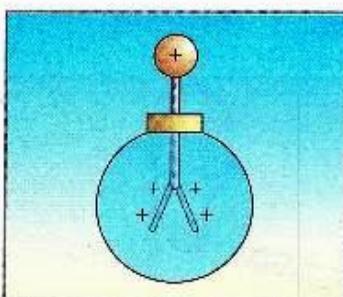
A determinação do sinal da carga do corpo em teste, que já se sabe estar eletrizado, é obtida carregando-se anteriormente o eletroscópio com cargas de sinal conhecido. Dessa forma, as lâminas terão uma determinada abertura inicial.



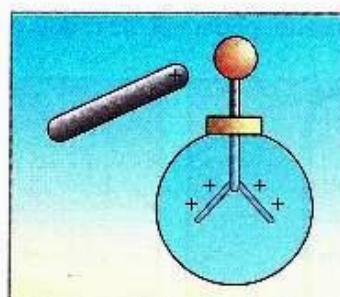
Sergio Dona / Arte Nat.



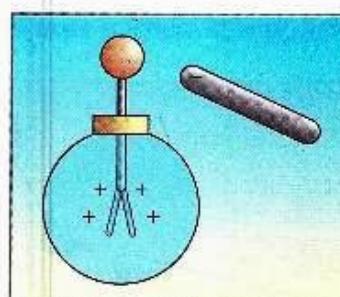
Ao aproximarmos o corpo em teste, ocorrerá novamente o fenômeno da indução.



Eletroscópio carregado com carga conhecida.



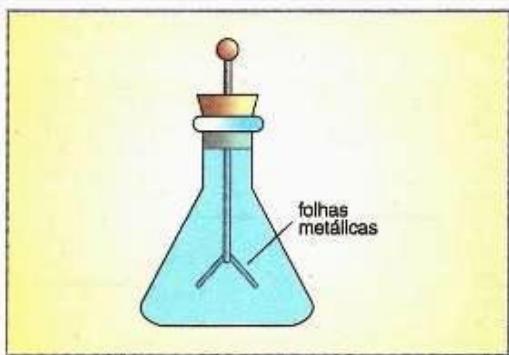
Corpo teste possui cargas com o mesmo sinal das cargas do eletroscópio.



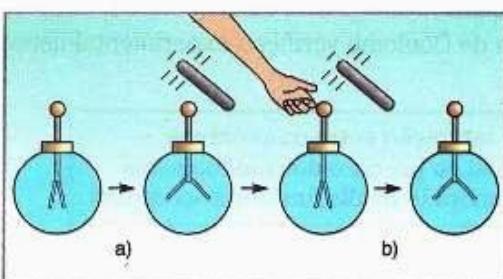
Corpo teste possui cargas de sinal contrário às do eletroscópio.

QUESTÕES

Q19 A figura mostra um eletroscópio de folhas eletricamente carregado. Descreva uma maneira de determinar o sinal da carga elétrica acumulada no eletroscópio. Justifique.



Q20 (PUC-MG) Considere as figuras abaixo:

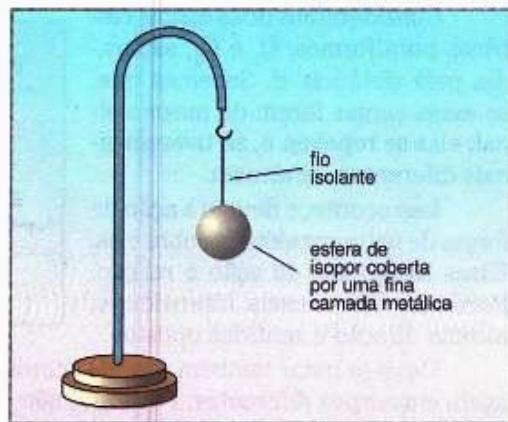


- a) Uma barra negativa é aproximada de um eletroscópio descarregado. As folhas se separam. Qual é o sinal da carga que está nas folhas? **negativo**
- b) A extremidade superior do eletroscópio é, em seguida, momentaneamente tocada pela mão. A seguir, remove-se a barra para longe. Agora, qual é o sinal da carga que existe nas folhas? **positivo**

Q21 (PUC-SP) Responda às questões abaixo:

- a) A figura representa um eletroscópio do tipo pêndulo elétrico. Qual sua função? Explique, detalhadamente, como funciona.
b) O que ocorrerá se ligarmos um condutor eletrizado à terra? Justifique.

respostas no final do livro



Q22 (PUC-SP)

- a) Quase todos os eletrodomésticos, quando adquiridos novos, vêm com um "fio terra", que deve ser ligado convenientemente. Qual sua função? Explique fisicamente como ele atua.



- b) Explique como se pode usar a "ligação terra" como auxílio para se carregar um corpo eletrostaticamente. Ao final, qual instrumento se poderia utilizar para verificar se o corpo estará ou não carregado?

resposta no final do livro

PESQUISE

Por que os pêlos do braço ficam em pé quando enfiamos o braço num saco de lixo novo?

CAPÍTULO 25

FORÇA ELÉTRICA

LEI DE COULOMB

Essa lei descreve a força de atração ou repulsão que aparece entre duas cargas puntiformes, isto é, entre as cargas de dois corpos eletrizados que possuem dimensões desprezíveis, quando colocados em presença um do outro.

Consideremos duas cargas elétricas puntiformes, Q_1 e Q_2 , separadas pela distância d . Sabemos que, se essas cargas forem de mesmo sinal, elas se repelem e, se tiverem sinais diferentes, se atraem.

Isso acontece devido à ação de forças de natureza elétrica sobre elas. Essas forças são de ação e reação. Portanto, têm mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos.

Deve-se notar também que, de acordo com o princípio da ação e reação, são forças que agem em corpos diferentes. Portanto, não se anulam.

Em 1784, o físico francês Charles Augustin de Coulomb verificou experimentalmente que:

A intensidade da força elétrica de interação entre duas cargas puntiformes é diretamente proporcional ao produto dos módulos das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separam.

A expressão matemática da *lei de Coulomb* é:

$$F = k \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2}$$

onde k é uma constante de proporcionalidade que depende do meio onde as cargas se encontram e do sistema de unidades adotado. No vácuo, a constante é indicada por k_0 e é denominada *constante eletrostática*. Seu valor no SI é:

$$k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

Na expressão da lei de Coulomb, utilizam-se apenas os módulos das cargas, concluindo, de antemão, pelos sinais das cargas, se as forças são de atração ou de repulsão.

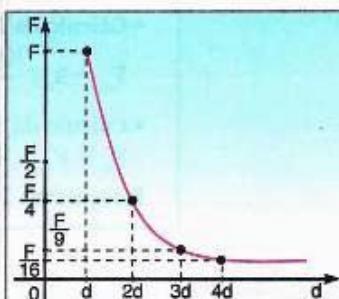
$Q_1 \cdot Q_2 > 0 \rightarrow$ forças de repulsão

$Q_1 \cdot Q_2 < 0 \rightarrow$ forças de atração

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA LEI DE COULOMB

Representando a força de interação elétrica em função da distância entre duas cargas puntiformes, obteremos como gráfico uma hipérbole, conforme indica a figura.

d	F
2d	F/4
3d	F/9
4d	F/16



APLICAÇÃO

A3

De acordo com o modelo de Bohr, o átomo de hidrogênio é formado por um próton, em torno do qual um elétron descreve MCU de raio aproximadamente igual a $5,3 \cdot 10^{-11}$ m. Determine:

- a intensidade da força de atração entre o próton e o elétron
- a velocidade do elétron

(Dados: massa do elétron = $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg, carga do elétron = $-1,6 \cdot 10^{-19}$ C, carga do próton = $1,6 \cdot 10^{-19}$ C e $k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.)



Resolução:

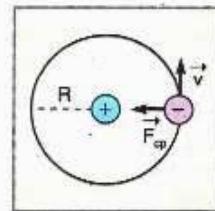
Dados: $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg, $d = R = 5,3 \cdot 10^{-11}$ m, $Q_1 = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C, $Q_2 = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C e $k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.

a) Pela lei de Coulomb:

$$F = k_0 \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2} \rightarrow F = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2}{(5,3 \cdot 10^{-11})^2} \rightarrow F = 8,2 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

b) Como o elétron descreve MCU, a força elétrica de atração é a resultante centrípeta. Logo:

$$\begin{aligned} F_{cp} &= F_{elétrica} \rightarrow m \cdot \frac{v^2}{R} = F_{elétrica} \\ v &= \sqrt{\frac{8,2 \cdot 10^{-8} \cdot 5,3 \cdot 10^{-11}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \\ v &= 2,2 \cdot 10^6 \text{ m/s} \end{aligned}$$



Respostas: a) $8,2 \cdot 10^{-8}$ N; b) $2,2 \cdot 10^6$ m/s

A4

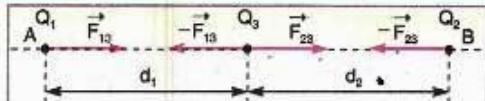
Dois cargas puntiformes, Q_1 e Q_2 , são fixadas nos pontos A e B , distantes entre si 0,4 m, no vácuo. Sendo $Q_1 = 2 \cdot 10^{-6}$ C, $Q_2 = 8 \cdot 10^{-6}$ C e $k_0 = 9 \cdot 10^9$, determine a intensidade da força elétrica resultante sobre uma carga $Q_3 = -3 \cdot 10^{-6}$ C, colocada a 0,1 m de A , sobre a reta AB .

Resolução:

Dados: $Q_1 = 2 \cdot 10^{-6}$ C, $Q_2 = 8 \cdot 10^{-6}$ C, $Q_3 = -3 \cdot 10^{-6}$ C, $d_1 = 0,1$ m, $d_2 = 0,3$ m e $k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$

• Cálculo da força de atração F_{13} :

$$F_{13} = k_0 \cdot \frac{|Q_1| \cdot |Q_3|}{d_1^2} \rightarrow F_{13} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{(0,1)^2} \rightarrow F_{13} = 5,4 \text{ N}$$



• Cálculo da força de atração F_{23} :

$$F_{23} = k_0 \cdot \frac{|Q_2| \cdot |Q_3|}{d^2} \rightarrow F_{23} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{(0,3)^2} \rightarrow F_{23} = 2,4 \text{ N}$$

• Cálculo da força resultante sobre Q_3 :

$$F_R = F_{13} - F_{23} \rightarrow F_R = 5,4 - 2,4 \rightarrow F_R = 3 \text{ N}$$

Resposta: 3 N

QUESTÕES

Q23 Na lei de Coulomb, se as grandezas envolvidas forem expressas em unidades do SI, qual a unidade da constante eletrostática? $\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$

Q24 A força definida na lei de Coulomb é só de atração? Explique.

Q25 Num átomo de hélio, um elétron gira em torno do núcleo que apresenta dois prótons. Qual exerce maior força elétrica sobre o outro: o núcleo ou o elétron? *resposta no final do livro*

Q26 A força elétrica entre duas cargas é alterada se aproximarmos delas uma outra carga? Explique. *sim*

Q27 Duas cargas elétricas puntiformes de $5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ e $0,3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, no vácuo, estão separadas entre si por uma distância de 5 cm. Calcule a intensidade da força de repulsão entre elas. *54 N*

Q28 (Fuvest-SP) Duas partículas, de cargas -10^{-7} C e -10^{-7} C , e mesma massa $0,1 \text{ g}$ estão separadas 10 cm. $9 \cdot 10^{-9} \text{ N}$

- Qual a intensidade da força elétrica entre as cargas em um meio onde a força entre as cargas de 1 C a uma distância de 1 m é $9 \cdot 10^9 \text{ N}$?
- Se a carga positiva se movimentar em torno da negativa, descrevendo um MCU de 10 cm de raio, qual sua velocidade? *3 m/s*

Q29 (EFOA-MG) Duas pequenas esferas condutoras idênticas, separadas por uma distância d e carregadas com cargas elétricas Q e $3 \cdot Q$, repelem-se com a força de $3,0 \cdot 10^{-6} \text{ N}$. Suponha, agora, que as esferas são postas em contato e, finalmente, levadas de volta às suas posições originais.

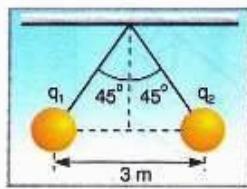
- Qual é a carga final de cada esfera? *$2Q + 2Q$*
- Qual é a nova força de repulsão entre elas? *$4 \cdot 10^{-5} \text{ N}$*

Q30 (FAAP-SP) Duas cargas, q_1 e q_2 , de mesmo sinal, estão fixas sobre uma reta e distantes 4 m. Entre q_1 e q_2 é colocada outra carga, q_3 ,

distante 1 m de q_1 . Sabendo que $q_1 = 5 \mu\text{C}$ e que q_3 permanece em equilíbrio, determine o valor de q_2 . *$45 \mu\text{C}$*

Q31 (UFBA) Um cilindro de vidro transparente possui internamente, na sua base inferior, uma esfera eletrizada, fixa, com carga $Q = 8 \cdot 10^{-6} \text{ C}$. Uma segunda esfera, de carga $q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ e peso $P = 9 \cdot 10^{-1} \text{ N}$, é introduzida na abertura superior e se mantém em equilíbrio nessa posição. Considerando $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine a distância que separa os centros das esferas. *40 cm*

Q32 (UFMS) Duas cargas elétricas, de mesma massa ($m = 10^{-3} \text{ kg}$) e de mesmo sinal, estão suspensas nas extremidades de dois fios de massa desprezível, conforme a figura. Sendo $q_1 = 5 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ e supondo que o sistema fique em equilíbrio, quando as cargas se mantêm separadas de 3 m, qual é a razão (quociente) $\frac{q_2}{q_1}$?



(Dados: $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}$, $g = 10 \text{ m/s}^2$, $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$) *40*

Q33 (Vunesp-SP) Dois corpos pontuais em repouso, separados por certa distância e carregados eletricamente com cargas de sinais iguais, repelem-se de acordo com a lei de Coulomb.

- Se a quantidade de carga de um dos corpos for triplicada, a força de repulsão elétrica permanecerá constante, aumentará (quantas vezes) ou diminuirá (quantas vezes)?
- Se forem mantidas as cargas iniciais, mas a distância entre os corpos for duplicada, a força de repulsão elétrica permanecerá constante, aumentará (quantas vezes) ou diminuirá (quantas vezes)?

a) A intensidade da força de repulsão triplicará.
b) A intensidade da força de repulsão ficará dividida por quatro.

CAPÍTULO 26

CAMPO ELÉTRICO

O QUE É O CAMPO ELÉTRICO

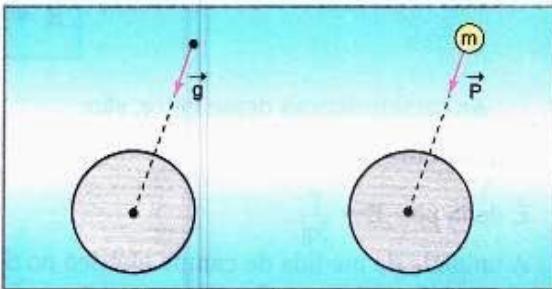
O conceito de campo elétrico pode ser melhor apresentado fazendo-se uma analogia do campo elétrico com o campo gravitacional criado pela Terra.

Em torno da Terra, devido à sua massa, existe um campo gravitacional. A cada ponto desse campo associamos um vetor \vec{g} , denominado *vetor campo gravitacional* ou *vetor aceleração da gravidade*.

Um corpo de massa m colocado num determinado ponto desse campo ficará sujeito à *força gravitacional terrestre* comumente denominada *peso do corpo*, dada por $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$. Assim, no ponto considerado:

$$\vec{g} = \frac{\vec{P}}{m}$$

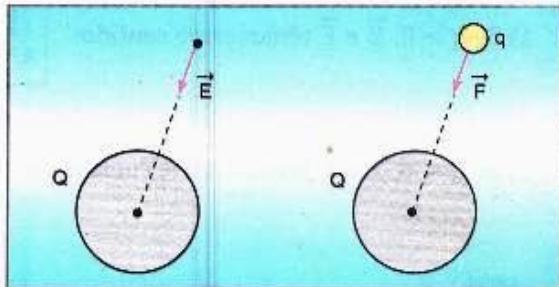
(vetor campo gravitacional)



Um corpo eletrizado, devido à sua carga elétrica, cria ao seu redor um campo elétrico. Cada ponto desse campo é caracterizado por um vetor \vec{E} , denominado *vetor campo elétrico*. Uma carga de prova q , colocada num ponto desse campo, sofrerá a ação de uma força elétrica \vec{F} de tal forma que $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$. Então, no ponto considerado:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

(vetor campo elétrico)



É importante observar que o campo elétrico criado pela carga Q em torno de si é uma propriedade dessa carga, não dependendo da carga de prova q para a sua existência.

A carga de prova q colocada num ponto desse campo é utilizada apenas para investigar as características do campo elétrico nesse ponto.

Portanto, o valor da carga de prova tem de ser bem menor que o valor da carga que originou o campo.

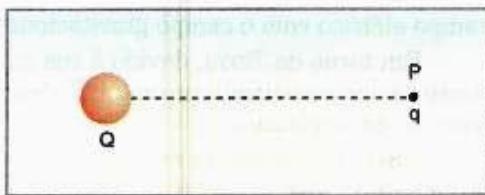
Então:

Existe uma região de influência da carga Q onde qualquer carga de prova q , nela colocada, estará sob a ação de uma força de origem elétrica. A essa região chamamos campo elétrico.

VETOR CAMPO ELÉTRICO

Considere uma carga Q criando em torno de si um campo elétrico. Colocando-se num ponto P dessa região uma carga de prova q , esta fica sujeita a uma força elétrica \vec{F} .

O vetor campo elétrico \vec{E} é definido nesse ponto pela igualdade:



$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

As características desse vetor, são:

✓ **intensidade**

É dada por: $E = \frac{F}{|q|}$.

A unidade de medida de campo elétrico no SI é newton/coulomb (N/C)

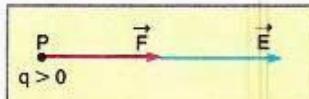
✓ **direção**

O vetor \vec{E} tem a mesma direção da força \vec{F} .

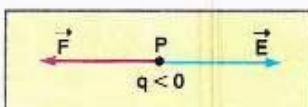
✓ **sentido**

Analisando a expressão $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$, podemos associar o sentido do campo elétrico com o da força elétrica da seguinte forma:

1) Se $q > 0$, \vec{E} e \vec{F} têm mesmo sentido:



2) Se $q < 0$, \vec{E} e \vec{F} têm sentidos contrários:



APLICAÇÃO

A5

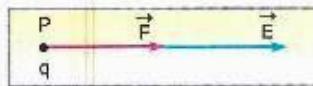
Um campo elétrico apresenta em um ponto P de uma região a intensidade de $6 \cdot 10^5$ N/C, direção horizontal e sentido da esquerda para a direita. Determine a intensidade, a direção e o sentido da força elétrica que atua sobre uma carga puntiforme q , colocada no ponto P , nos casos:

a) $q = 2 \mu\text{C}$

b) $q = -3 \mu\text{C}$

Resolução:

a) Dados: $\begin{cases} E = 6 \cdot 10^5 \text{ N/C} \\ q = 2 \mu\text{C} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C} \end{cases}$



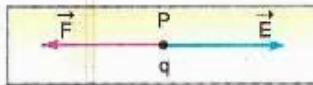
Intensidade:

$$F = q \cdot E \rightarrow F = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^5 \rightarrow F = 1,2 \text{ N}$$

Direção: horizontal

Sentido: como $q > 0$, \vec{F} tem o mesmo sentido de \vec{E}

b) Dados: $\begin{cases} E = 6 \cdot 10^5 \text{ N/C} \\ q = -3 \mu\text{C} = -3 \cdot 10^{-6} \text{ C} \end{cases}$



Intensidade:

$$F = |q| \cdot E \rightarrow F = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^5 \rightarrow F = 1,8 \text{ N}$$

Direção: horizontal

Sentido: como $q < 0$, \vec{F} tem sentido contrário de \vec{E} **Respostas:** Vide resolução.

QUESTÕES

Q34 Descreva com suas palavras o que é campo elétrico. *resposta no final do livro*

Q35 Pode existir campo sem carga? E carga sem campo? *sim; não*

Q36 Como você faria para investigar a existência de um campo: *respostas no final do livro*
a) gravitacional? b) elétrico?

Q37 (Fatec-SP) Uma carga $q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ é colocada num ponto M do espaço e fica sujeita a uma força elétrica $F = 10 \text{ N}$, para o Norte. Nesse ponto, calcule a intensidade e o sentido do campo elétrico. *$5 \cdot 10^6 \text{ N/C, para o Norte}$*

Q38 Sobre uma carga de 4 C , situada num ponto P , atua uma força de 8 N . Se substituirmos a carga de 4 C por uma outra de 5 C , qual será a

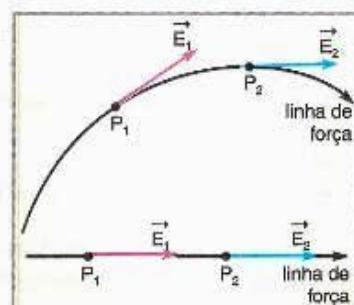
intensidade da força sobre essa carga quando no ponto P ? *10 N*

Q39 Um campo elétrico apresenta, em um ponto P de uma região, intensidade de $12 \cdot 10^5 \text{ N/C}$, direção e sentido indicados na figura. *respostas no final do livro*
Determine a intensidade, a direção e o sentido da força elétrica que atua sobre uma carga puntiforme q colocada no ponto P , quando:
a) $q = -2 \mu\text{C}$ b) $q = 3 \mu\text{C}$

Q40 Qual é a carga de uma partícula de $2 \cdot 10^{-8} \text{ kg}$ de massa, para que permaneça estacionária, quando colocada em um campo elétrico vertical de 100 N/C , num local em que a aceleração da gravidade é de 10 m/s^2 ?
 $2 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ ou $-2 \cdot 10^{-1} \text{ C}$

LINHAS DE FORÇA DO CAMPO ELÉTRICO

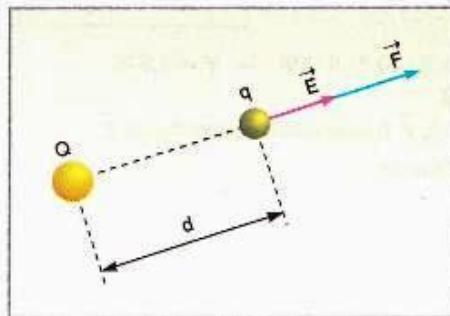
O vetor campo elétrico \vec{E} permite obter o valor do campo elétrico de qualquer ponto, mas não oferece de imediato uma visualização ampla do campo elétrico em torno de um corpo eletrizado. Para isso, recorre-se às *linhas de força*, ou seja, linhas imaginárias que indicam a direção e o sentido do vetor campo elétrico em cada ponto do espaço onde existe o campo. O vetor campo elétrico \vec{E} é tangente à linha de força em cada um dos seus pontos e tem o mesmo sentido da linha.



CAMPO ELÉTRICO DE UMA CARGA PUNTIFORME FIXA

A expressão $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ permite determinar o campo elétrico, qualquer que seja a carga Q que o criou. A seguir, apresentamos o caso particular do campo elétrico criado por uma carga puntiforme fixa.

Considere uma carga puntiforme Q , fixa, no vácuo, criadora de um campo elétrico. Uma carga de prova q colocada num ponto P desse campo fica sujeita a uma força elétrica cuja intensidade, pela lei de Coulomb, é:



$$F = k_0 \cdot \frac{|Q| \cdot |q|}{d^2}$$

Por definição, a intensidade do vetor campo elétrico \vec{E} no ponto P é

$$E = \frac{F}{q} \rightarrow E = \frac{k_0 \cdot |Q| \cdot |q|}{d^2 \cdot |q|}$$

$$E = k_0 \cdot \frac{|Q|}{d^2}$$

Analisando a expressão, concluímos que o vetor campo elétrico em um ponto *independe* da carga de prova nele colocada.

As características do vetor \vec{E} , determinado pela carga Q criadora do campo, são:

✓ **intensidade**

É dada por: $E = k_0 \cdot \frac{|Q|}{d^2}$.

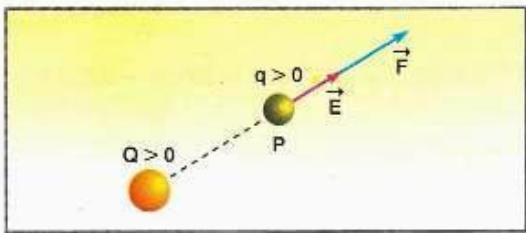
✓ **direção**

É a mesma da reta que une o ponto P à carga Q .

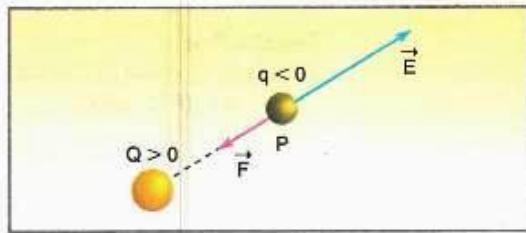
✓ **sentido**

O sentido do vetor campo elétrico depende do sinal da carga que origina o campo.

Quando a carga criadora do campo for *positiva*, o campo elétrico produzido será sempre de *afastamento*, como pode ser verificado pela colocação de cargas de prova de sinais diferentes nos pontos P .



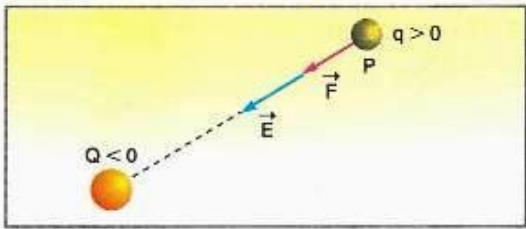
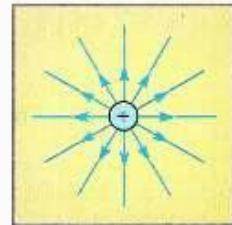
- ✓ $Q \cdot q > 0$: repulsão
- ✓ $q > 0$: \vec{E} e \vec{F} têm mesmo sentido



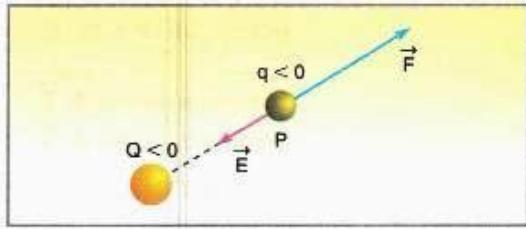
- ✓ $Q \cdot q < 0$: atração
- ✓ $q < 0$: \vec{E} e \vec{F} têm sentidos opostos

O campo elétrico de uma carga puntiforme positiva é de *afastamento* e pode ser representado através de linhas de força apontadas radialmente para fora.

Quando a carga criadora do campo for *negativa*, o campo elétrico é radialmente para dentro, ou seja, de *aproximação*.



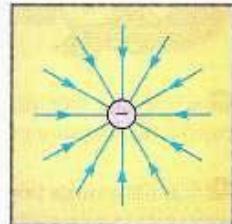
- ✓ $Q \cdot q < 0$: atração
- ✓ $q > 0$: \vec{F} e \vec{E} têm mesmo sentido



- ✓ $Q \cdot q > 0$: repulsão
- ✓ $q < 0$: \vec{F} e \vec{E} têm sentidos opostos

O campo elétrico de uma carga puntiforme negativa é de *aproximação* e pode ser representado através de linhas de força apontadas radialmente para dentro.

A representação do campo por meio de linhas de força nos fornece também sua intensidade. O campo é mais intenso onde as linhas estão mais próximas umas das outras.

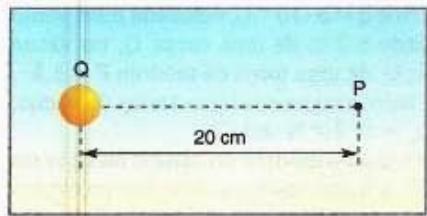


APLICAÇÃO

A6

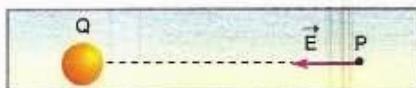
Uma carga $Q = -4 \mu\text{C}$, fixa, encontra-se no vácuo, conforme indica a figura. Determine:

- a intensidade, a direção e o sentido do campo elétrico num ponto P situado a 20 cm da carga
- a intensidade, a direção e o sentido da força elétrica que atua numa carga $q = 5 \mu\text{C}$, colocada no ponto P



Resolução:

a) Dados: $Q = -4 \mu\text{C} = -4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ $\therefore |Q| = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, $d = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$ e $k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$



$$\text{Intensidade: } E = k_0 \cdot \frac{|Q|}{d^2} \rightarrow E = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-6}}{(0,2)^2}$$

$$E = 9 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

Direção: da reta que passa por Q e P

Sentido: o campo é de aproximação, isto é, para a esquerda

b) Dado: $q = 5 \mu\text{C} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$



$$\text{Intensidade: } F = |q| \cdot E \rightarrow F = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 9 \cdot 10^5$$

$$F = 4,5 \text{ N}$$

Direção: a mesma de \vec{E}

Sentido: o mesmo de \vec{E}

Respostas: Vide resolução.

QUESTÕES

Q41 O que significa campo de aproximação e campo de afastamento?

Q42 Uma carga pontual Q , positiva, gera no espaço um campo elétrico. Num ponto P , a $0,5 \text{ m}$ dela, o campo tem intensidade $E = 7,2 \cdot 10^4 \text{ N/C}$. Sendo o meio o vácuo, onde $k_0 = 9 \cdot 10^9$ unidades SI, determine Q . $2 \cdot 10^{-4} \text{ C}$

Q43 (EFOA-MG) Uma partícula de carga elétrica $q = 3 \cdot 10^{-8} \text{ C}$, colocada num ponto P localizado a 3 m de uma carga Q , no vácuo, sofre a ação de uma força de módulo $F = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ N}$. Dado: constante eletrostática do vácuo, $k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.

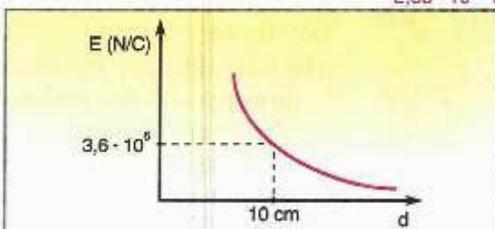
- a) Qual o módulo do campo elétrico em P ?
b) Admitindo-se que esse campo elétrico se deve exclusivamente a Q , qual o valor de Q ?

a) $5 \cdot 10^5 \text{ N/C}$ b) $5 \cdot 10^{-4} \text{ C}$

Q44 O diagrama representa a intensidade do campo elétrico, originado por uma carga Q , puntiforme, fixa no vácuo, em função da distância à carga. Determine:

- a) o valor da carga Q , que origina o campo $4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ou $-4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$
b) a intensidade do campo elétrico situado num ponto P , a 50 cm da carga Q $1,44 \cdot 10^5 \text{ N/C}$
c) a intensidade da força elétrica que atua numa carga $q = 2 \cdot 10^{-10} \text{ C}$, colocada no ponto P

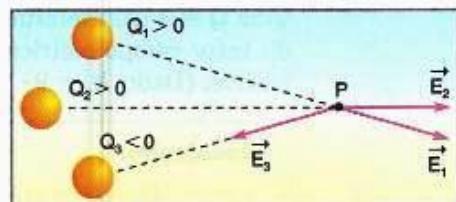
$$2,88 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$



CAMPO ELÉTRICO DE VÁRIAS CARGAS PUNTIFORMES FIXAS

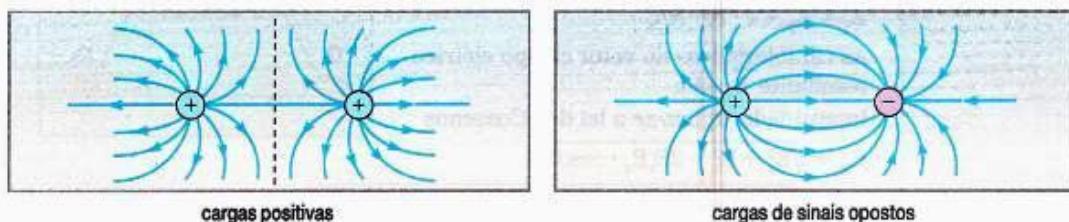
Vejamos o que ocorre num determinado ponto P de uma região onde se encontram várias cargas puntiformes fixas, por exemplo, Q_1 , Q_2 e Q_3 .

Cada carga cria um campo elétrico como se as outras não existissem. Portanto, em P existirá um vetor campo elétrico para cada carga. O vetor campo elétrico resultante \vec{E}_R , em P , é dado pela soma dos vetores campo elétrico \vec{E}_1 , \vec{E}_2 e \vec{E}_3 , criados, respectivamente, pelas cargas Q_1 , Q_2 e Q_3 . Assim:



$$\vec{E}_R = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$

O campo elétrico resultante da interação de duas cargas puntiformes de módulos iguais pode ser melhor visualizado quando representado por linhas de força



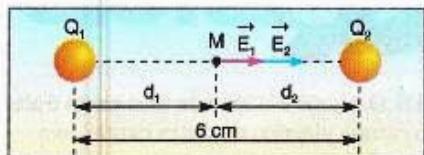
APLICAÇÃO

A7

Dois cargas puntiformes de $4 \cdot 10^{-6}$ C e $-5 \cdot 10^{-6}$ C estão fixas e separadas entre si, no vácuo, pela distância de 6 cm. Determine a intensidade do vetor campo elétrico no ponto médio M do segmento que une as cargas. (Dado: $k_0 = 9 \cdot 10^9$ N · m²/C².)

Resolução:

$$\begin{cases} Q_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C} \\ Q_2 = -5 \cdot 10^{-6} \text{ C} \\ \text{Dados: } d = 6 \text{ cm} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ m} \\ d_1 = d_2 = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m} \\ k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \end{cases}$$



• Cálculo da intensidade do campo elétrico de afastamento \vec{E}_1 :

$$E_1 = k_0 \cdot \frac{|Q_1|}{d_1^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-6}}{(3 \cdot 10^{-2})^2} \rightarrow E_1 = 4 \cdot 10^7 \text{ N/C}$$

• Cálculo da intensidade do campo elétrico de aproximação \vec{E}_2 :

$$E_2 = k_0 \cdot \frac{|Q_2|}{d_2^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{5 \cdot 10^{-6}}{(3 \cdot 10^{-2})^2} \rightarrow E_2 = 5 \cdot 10^7 \text{ N/C}$$

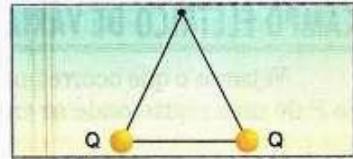
• Cálculo da intensidade do campo elétrico resultante \vec{E}_R :

$$E_R = E_1 + E_2 \rightarrow E_R = 4 \cdot 10^7 + 5 \cdot 10^7 \rightarrow E_R = 9 \cdot 10^7 \text{ N/C}$$

Resposta: $9 \cdot 10^7 \text{ N/C}$

A8

Em dois vértices de um triângulo equilátero de lado 0,3 m encontram-se duas cargas positivas $Q = 4 \mu\text{C}$. Determine as características do vetor campo elétrico resultante no outro vértice. (Dado: $k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.)

**Resolução:**

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_2 = Q = 4 \mu\text{C} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C} \\ \text{Dados: } d_1 &= d_2 = d = 0,3 \text{ m} \\ k_0 &= 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \end{aligned}$$

Os campos \vec{E}_1 e \vec{E}_2 têm mesma intensidade. Logo:

$$E_1 = E_2 = k_0 \cdot \frac{|Q|}{d^2}$$

$$E_1 = E_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-6}}{(0,3)^2}$$

$$E_1 = E_2 = 4 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

As características do vetor campo elétrico resultante \vec{E}_R são:

Intensidade: aplica-se a lei dos Cossenos

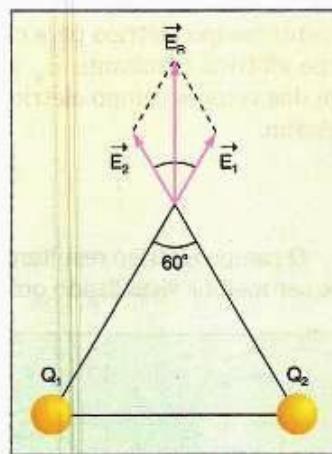
$$E_R = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cdot \cos 60^\circ}$$

$$E_R = \sqrt{(4 \cdot 10^5)^2 + (4 \cdot 10^5)^2 + 2 \cdot 4 \cdot 10^5 \cdot 4 \cdot 10^5 \cdot \frac{1}{2}}$$

$$E_R = 4\sqrt{3} \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

Direção: vertical

Sentido: para cima



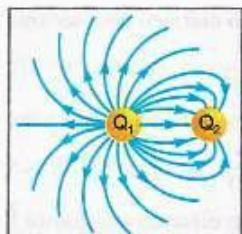
Resposta: O vetor campo elétrico resultante tem módulo $4\sqrt{3} \cdot 10^5 \text{ N/C}$, direção vertical e sentido para cima.

QUESTÕES

Q45 O campo elétrico de uma carga é alterado pelo campo elétrico de outra carga? sim

Q46 (Unicamp-SP)

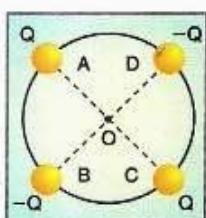
A figura a seguir mostra as linhas de força do campo eletrostático criado por um sistema de duas cargas puntiformes, Q_1 e Q_2 .



- Nas proximidades de que carga o campo eletrostático é mais intenso? Por quê?
- Qual é o sinal do produto $Q_1 \cdot Q_2$?

respostas no final do livro

Q47 (Fuvest-SP) Considere duas cargas Q e duas cargas $-Q$ dispostas sobre uma circunferência de centro O , como mostra a figura. Em que pontos do plano da circunferência o campo elétrico é nulo?

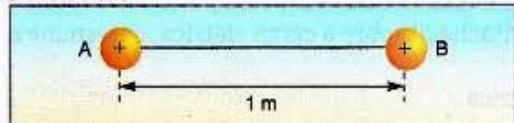


resposta no final do livro

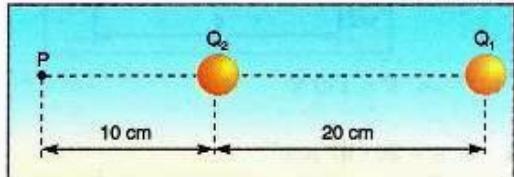
Q48 (Mack-SP) O campo elétrico \vec{E}_1 de uma carga puntiforme Q , a uma distância d , tem intensidade x . Portanto, determine a intensidade do campo elétrico \vec{E}_2 de uma carga $4Q$, a uma distância $2d$, em função de x . $E_2 = x$

Q49 (PUCCAMP-SP) A figura representa dois pontos, *A* e *B*, de uma reta separados 1 m. Duas cargas de mesmo sinal são colocadas nesses pontos. Sendo a carga colocada em *A* quatro vezes maior que a colocada em *B*, determine o ponto onde o campo elétrico resultante é nulo.

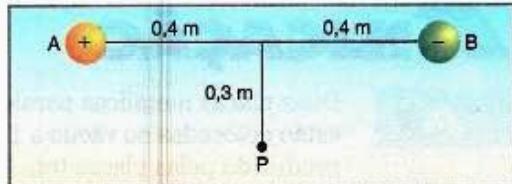
$\frac{2}{3}$ m à direita de *A*



Q50 (UFGO) Uma carga puntiforme positiva $Q_1 = 18 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ dista, no vácuo, 20 cm de uma carga puntiforme negativa $Q_2 = -8,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, conforme a figura. Qual é a intensidade do vetor campo elétrico \vec{E} criado por essas duas cargas no ponto *P*, sendo $k_0 = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$? $(5,4 \cdot 10^5 \text{ N/C})$



Q51 (UFOP-MG) Duas cargas elétricas, uma positiva $Q = 1,0 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ e uma negativa $Q = -1,0 \cdot 10^{-8} \text{ C}$, estão fixas e separadas pela distância $d = 0,8 \text{ m}$.



Dado: $k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ respostas no final do livro

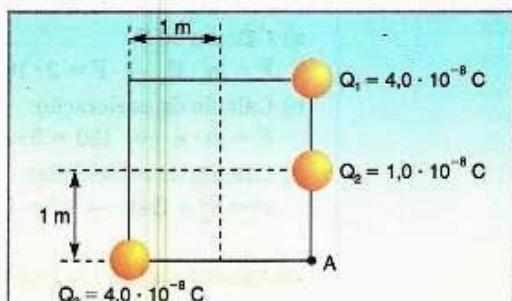
a) Calcule e represente o campo elétrico no ponto *P*.

b) Desenhe as linhas de força do campo resultante, criado pelas duas cargas – inclusive aquela que passa pelo ponto *P*.

Q52 (UFPB) Três cargas puntiformes estão distribuídas conforme a figura:

Calcule o módulo do campo elétrico resultante, em N/C, no ponto *A*.

$(k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)$ $90\sqrt{5} \text{ N/C}$

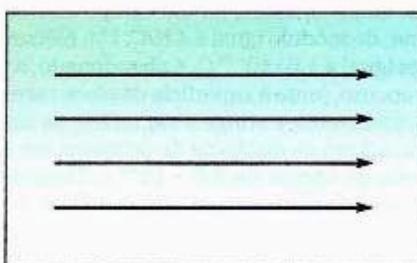


CAMPO ELÉTRICO UNIFORME

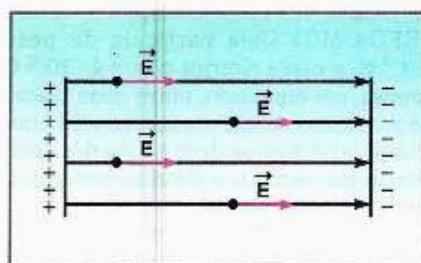
É aquele em que o vetor campo elétrico \vec{E} é constante em todos os pontos do campo, isto é, tem sempre a mesma intensidade, a mesma direção e o mesmo sentido.

Num campo elétrico uniforme as linhas de força são retas paralelas igualmente espaçadas que apresentam o mesmo sentido.

É o caso, por exemplo, do campo elétrico entre duas placas planas e paralelas eletrizadas com cargas de sinais contrários.



linhas de força de um campo uniforme



campo uniforme entre as placas

APLICAÇÃO

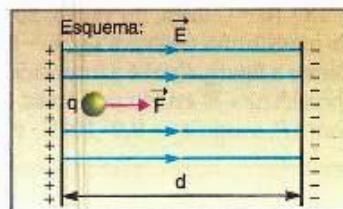
A9

Duas placas metálicas paralelas, eletrizadas com cargas de sinais contrários, estão colocadas no vácuo a 10 cm de distância uma da outra. O campo elétrico produzido pelas placas tem intensidade $6 \cdot 10^7 \text{ N/C}$. Uma carga elétrica puntiforme de $2 \mu\text{C}$ e massa $5 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$ é abandonada na placa positiva. Supondo desprezível a força de atração gravitacional sobre a carga elétrica, determine a intensidade da:

- força atuante sobre a carga elétrica
- aceleração da carga elétrica
- velocidade com que a carga elétrica atinge a placa negativa

Resolução:

Dados: $\begin{cases} E = 6 \cdot 10^7 \text{ N/C} \\ d = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m} \\ Q = 2 \text{ mC} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C} \\ m = 5 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \\ v_0 = 0 \end{cases}$



a) Cálculo de F :

$$F = |q| \cdot E \rightarrow F = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^7 \rightarrow F = 120 \text{ N}$$

b) Cálculo da aceleração:

$$F = m \cdot a \rightarrow 120 = 5 \cdot 10^{-6} \cdot a \rightarrow a = 24 \cdot 10^6 \text{ m/s}^2$$

c) Cálculo da velocidade:

$$v^2 = v_0^2 + 2ad \rightarrow v^2 = 0 + 2 \cdot 24 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \rightarrow v = \sqrt{4,8 \cdot 10^6}$$

$$\therefore v = 2,2 \cdot 10^3 \text{ m/s}$$

Respostas: a) 120 N; b) $24 \cdot 10^6 \text{ m/s}^2$; c) $= 2,2 \cdot 10^3 \text{ m/s}$

QUESTÕES

Q53 Defina campo elétrico uniforme.

Q54 (PUC-SP) Caracterize o campo elétrico capaz de equilibrar no ar, próximo ao solo, uma gota de óleo de massa igual a $4,0 \cdot 10^{-10} \text{ g}$ e carga $Q = +10 \cdot e$ ($e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$). Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.

vertical, ascendente e com intensidade $2,5 \cdot 10^6 \text{ N/C}$

Q55 (EFOA-MG) Uma partícula de peso $P = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N}$, e carga elétrica $q = +4 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ está suspensa, em equilíbrio, entre duas placas metálicas paralelas e horizontais, eletricamente carregadas. O equilíbrio se deve à ação dos campos gravitacionais terrestre e elétrico, uniformes, existentes entre essas placas.

a) Faça um esboço gráfico descrevendo essa situação, contendo as placas paralelas, o sinal das cargas elétricas das placas, as linhas de

resposta no final do livro

força do campo elétrico, a partícula e o sinal da carga elétrica da partícula.

b) Qual a intensidade do campo elétrico entre as placas? $0,5 \text{ N/C}$

Q56 (UnB-DF) Na região entre duas placas planas e paralelas, carregadas com cargas iguais e de sinais opostos, há um campo elétrico uniforme, de módulo igual a 4 N/C . Um elétron, de carga igual a $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, é abandonado, a partir do repouso, junto à superfície da placa carregada negativamente e atinge a superfície da placa oposta, a 2 cm de distância da primeira, em um intervalo de tempo de $2,0 \cdot 10^{-8} \text{ s}$. Considerando a massa do elétron igual a $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, determine, em km/s, a velocidade do elétron no momento em que ele atinge a segunda placa, tomando somente a parte inteira de seu resultado.

$2 \cdot 10^7 \text{ km/s}$

CAPÍTULO 27

TRABALHO E POTENCIAL ELÉTRICO

TRABALHO DA FORÇA ELÉTRICA

Antes de iniciarmos o estudo do trabalho da força elétrica, convém rever as propriedades dos *campos conservativos* e das forças desses campos, as *forças conservativas*, já que a força elétrica assim é classificada.

No estudo da Mecânica, vimos que a *energia potencial* está associada às forças conservativas da seguinte forma:

- ✓ O trabalho realizado para vencer uma força conservativa, assim como a força da gravidade, não é perdido, mas recuperável na forma de *energia potencial*.
- ✓ O trabalho realizado pela força conservativa *não depende da trajetória*, apenas das posições inicial e final.

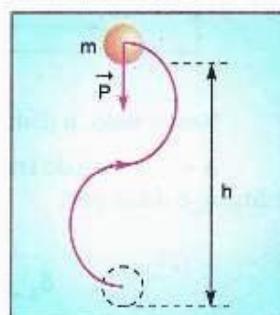
Desse modo, podemos calcular o trabalho realizado entre dois pontos quaisquer de um campo conservativo fazendo a diferença entre as energias potenciais desses pontos

$$\zeta_{AB} = E_{p_A} - E_{p_B}$$

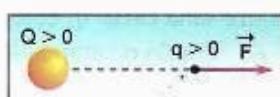
O trabalho realizado para levantarmos um corpo de massa m a uma altura h da superfície da terra, independentemente da trajetória descrita, é igual à energia potencial gravitacional adquirida pelo corpo. Se abandonado, o corpo desloca-se espontaneamente na direção e no sentido da força peso e o trabalho realizado é positivo. Durante a queda, a energia potencial do corpo diminui na mesma proporção que aumenta sua energia cinética.

Sendo a força elétrica conservativa, o seu comportamento é semelhante ao da força peso.

Uma carga de prova q , abandonada num ponto qualquer de um campo elétrico gerado por uma carga puntiforme Q , desloca-se espontaneamente na direção e no sentido da força elétrica. O trabalho realizado é positivo e diminui a energia potencial da carga. Entretanto, se a mesma carga de prova q for deslocada no sentido oposto ao da força elétrica, o trabalho é negativo e aumenta a sua energia potencial.

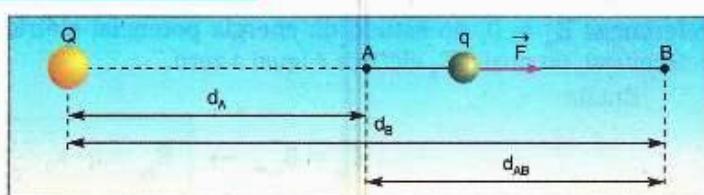


Adotando a superfície da terra como referencial zero.



EXPRESSÃO DO TRABALHO DA FORÇA ELÉTRICA

Considere um campo elétrico criado por uma carga fixa Q , e uma carga de prova q se deslocando de um ponto A para um ponto B , devido à ação da força elétrica.



Se a força elétrica \vec{F} fosse constante, o trabalho realizado seria dado pela expressão geral:

$$\zeta = \mathbf{F} \cdot \mathbf{d}_{AB}$$

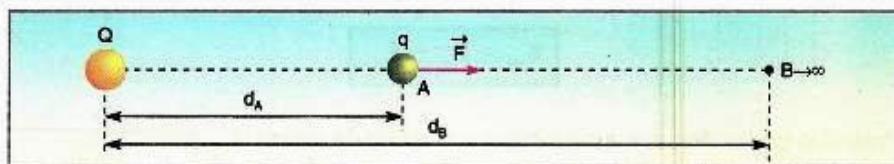
Entretanto, como a força elétrica é variável com a distância, apresentaremos apenas a expressão que fornece o trabalho realizado no deslocamento de A para B , sem preocupações dedutivas, pois estas envolvem recursos de matemática superior.

$$\zeta_{AB} = q \cdot k_0 \cdot Q \cdot \left(\frac{1}{d_A} - \frac{1}{d_B} \right)$$

Deve-se observar que o trabalho da força elétrica não depende da trajetória, mas apenas dos pontos A (inicial) e B (final).

ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

Suponha, agora, o ponto B infinitamente afastado da carga fixa criadora do campo.



Nesse caso, a distância d_B tende ao infinito. Logo, $\frac{1}{d_B} = 0$.

A expressão do trabalho da força elétrica, para deslocar uma carga de um ponto A até o infinito, é dada por:

$$\zeta_{A,\infty} = q \cdot k_0 \cdot Q \left(\frac{1}{d_A} - \frac{1}{d_B} \right) \rightarrow \zeta_{A,\infty} = q \cdot k_0 \cdot \frac{Q}{d_A}$$

Podemos afirmar que esse é o maior trabalho que pode ser realizado pela força elétrica, sobre uma carga q , colocada no ponto A .

Sendo o campo elétrico conservativo:

$$\zeta_{AB} = E_{p_A} - E_{p_B}$$

Assim como no estudo da energia potencial gravitacional se considera a Terra como referencial $E_p = 0$, no estudo da energia potencial elétrica se considera o infinito como referencial, no qual a E_p elétrica é igual a zero.

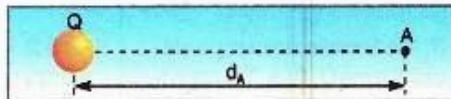
Então:

$$E_{p_A} = \zeta_{A,\infty} \rightarrow E_{p_A} = q \cdot k_0 \cdot \frac{Q}{d_A}$$

POTENCIAL ELÉTRICO

Define-se grandeza escalar *potencial elétrico* como a energia potencial elétrica por unidade de carga. Assim, uma carga de prova q , colocada num ponto A de um campo elétrico de uma carga puntiforme Q , adquire uma energia potencial elétrica E_{p_A} . O potencial elétrico V_A associado a esse ponto é dado por:

$$V_A = \frac{E_{p_A}}{q}$$



$$\text{Sendo } E_{p_A} = q \cdot k_0 \cdot \frac{Q}{d_A} \rightarrow V_A = \frac{q \cdot k_0 \cdot \frac{Q}{d_A}}{q} \therefore V_A = k_0 \cdot \frac{Q}{d_A}$$

O potencial é uma grandeza escalar, associado a cada ponto do campo elétrico, ficando determinado apenas pelo seu valor numérico. Portanto, pode ser positivo ou negativo, dependendo apenas do sinal da carga criadora do campo elétrico.

A unidade do potencial no SI é o volt (V).

$$1 \text{ volt} = \frac{1 \text{ joule}}{1 \text{ coulomb}}$$

1 V é o potencial de um ponto que fornece a uma carga de 1 C, nele colocada, uma energia de 1 J.

APLICAÇÃO

A 10

Num campo elétrico, uma carga de 2 C é levada de um ponto A até um ponto B muito afastado, tendo as forças elétricas realizado um trabalho de 100 J. Determine:

- a energia potencial elétrica da carga no ponto A
- b) o potencial elétrico no ponto A

Resolução:

a) Dados: $\begin{cases} q = 2 \text{ C} \\ \mathcal{E}_{AB} = 100 \text{ J} \end{cases}$



O trabalho é motor, pois $\mathcal{E}_{AB} > 0$. Portanto, o deslocamento é no sentido da força.

$$\mathcal{E}_{AB} = q \cdot k \cdot Q \left(\frac{1}{d_A} - \frac{1}{d_B} \right) \quad d_B \rightarrow \infty \rightarrow \frac{1}{d_B} = 0$$

$$\mathcal{E}_{AB} = q \cdot k \cdot Q \frac{1}{d_A} \rightarrow \mathcal{E}_{AB} = q \cdot k \cdot \frac{Q}{d_A} \rightarrow \mathcal{E}_{AB} = E_{p_A} \rightarrow E_{p_A} = 100 \text{ J}$$

b) o potencial elétrico no ponto A é:

$$V_A = \frac{E_{p_A}}{q} \rightarrow V_A = \frac{100}{2} \rightarrow V_A = 50 \text{ V}$$

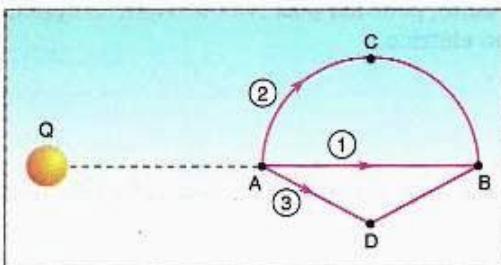
Respostas: a) 100 J; b) 50 V

QUESTÕES

Q57 Por que os campos gravitacional e elétrico são conservativos? resposta no final do livro

Q58 Os pontos *A*, *B*, *C* e *D* estão no campo elétrico de uma carga puntiforme *Q*, fixa. Transportando-se uma carga de prova *q* de *A* até *B* pelo caminho ①, as forças elétricas realizam um trabalho \bar{E} . Determine o trabalho realizado pelas forças elétricas para transportar a mesma carga *q* de *A* até *B*, nas condições anteriores, pelos caminhos ② e ③. $\bar{E}_1 = \bar{E}_2 = \bar{E}_3 = \bar{E}$

Determine o trabalho realizado pelas forças elétricas para transportar a mesma carga *q* de *A* até *B*, nas condições anteriores, pelos caminhos ② e ③. $\bar{E}_1 = \bar{E}_2 = \bar{E}_3 = \bar{E}$



Q59 De que modo, algébrico ou vetorial, podemos somar ou subtrair:

- campo elétrico? vetorial
- energia potencial? algébrico
- potencial elétrico? algébrico

Q60 É possível obter de um potencial elevado uma energia potencial elétrica relativamente baixa. Explique. sim

Q61 A energia potencial elétrica é propriedade do ponto ou da carga? E o potencial?

da carga; do ponto

Q62 Quando uma carga positiva é deslocada contra o sentido do campo elétrico, a sua energia potencial elétrica aumenta ou diminui? Explique.

aumenta

Q63 Potencial elétrico é uma grandeza escalar ou vetorial? Qual é sua unidade no SI?

escalar; volt

Q64 Num campo elétrico, uma carga de prova é levada de um ponto localizado no infinito até um ponto *P*, tendo as forças elétricas realizado trabalho de -80 J . Determine a energia potencial elétrica da carga no ponto *P*. 80 J

Q65 Determine o potencial de um ponto *P*, situado a 30 cm de uma carga de $-6\text{ }\mu\text{C}$. Considere a carga e o ponto *P* no vácuo ($k_0 = 9 \cdot 10^9\text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$). $-1,8 \cdot 10^5\text{ V}$

Q66 Determine a energia potencial que uma carga de $5\text{ }\mu\text{C}$ adquire a 10 cm de uma carga de $0,2\text{ }\mu\text{C}$, fixa, localizada no vácuo. $0,09\text{ J}$

Q67 (Fuvest-SP) Um objeto de pequenas dimensões, com carga elétrica *Q*, cria um potencial igual a $1\,000\text{ V}$, num ponto *A*, a uma distância de $0,10\text{ m}$. Determine o valor:

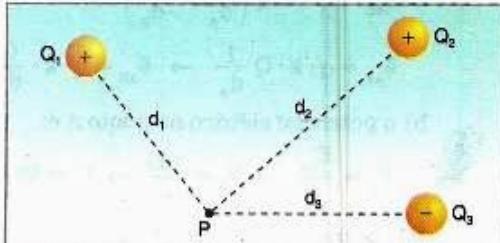
- do campo elétrico no ponto *A* 10^4 N/C
- do potencial e do campo elétrico num ponto *B*, que dista $0,20\text{ m}$ do objeto

500 V e $2,5 \cdot 10^3\text{ N/C}$

POTENCIAL DE VÁRIAS CARGAS

Quando temos vários campos elétricos agindo numa região, o potencial elétrico num ponto *P* qualquer é a soma algébrica dos potenciais originados por cada carga, no ponto considerado.

$$V_p = V_1 + V_2 + V_3$$



APLICAÇÃO

A 11

Determine o potencial no ponto P , devido às cargas puntiformes Q_1 , Q_2 e Q_3 , cujos valores são $2 \mu\text{C}$, $5 \mu\text{C}$ e $-8 \mu\text{C}$, respectivamente. O meio é o vácuo.

Resolução:

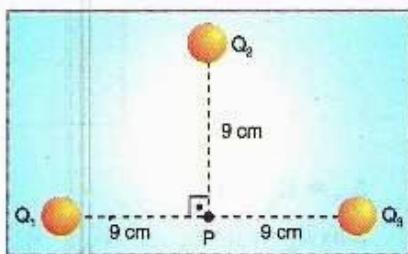
$$\begin{aligned} Q_1 &= 2 \mu\text{C} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C} \\ Q_2 &= 5 \mu\text{C} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ C} \\ Q_3 &= -8 \mu\text{C} = -8 \cdot 10^{-6} \text{ C} \\ k_0 &= 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2 \\ d_1 &= d_2 = d_3 = 0,09 \text{ m} \end{aligned}$$

O potencial no ponto P é dado pela soma algébrica dos potenciais parciais.

$$V_p = V_1 + V_2 + V_3 \rightarrow V_p = k_0 \cdot \frac{Q_1}{d_1} + k_0 \cdot \frac{Q_2}{d_2} + k_0 \cdot \frac{Q_3}{d_3}$$

$$V_p = 9 \cdot 10^9 \cdot \left(\frac{2 \cdot 10^{-6}}{0,09} + \frac{5 \cdot 10^{-6}}{0,09} + \frac{-8 \cdot 10^{-6}}{0,09} \right) = -1 \cdot 10^5 \text{ V}$$

Resposta: $-1 \cdot 10^5 \text{ V}$



QUESTÕES

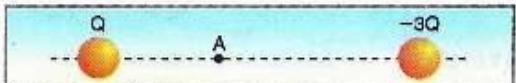
Q68 Como se determina o potencial elétrico num ponto de um campo elétrico criado por várias cargas? *resposta no final do livro*

Q69 Duas cargas elétricas puntiformes, valendo $-8 \mu\text{C}$ e $6 \mu\text{C}$, ocupam dois vértices de um triângulo equilátero de $0,4 \text{ m}$ de lado, no vácuo. Determine o potencial do outro vértice do triângulo. $-4,5 \cdot 10^4 \text{ V}$

Q70 (EFEI-MG) Considere um quadrado de lado igual a $1,00 \text{ m}$. Num dos vértices não há carga e em cada um dos vértices restantes se encontra uma carga igual a $+5,00 \mu\text{C}$. Determine o potencial elétrico no vértice sem carga.

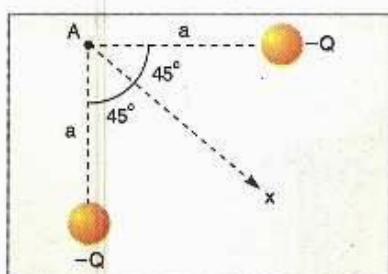
$$-1,22 \cdot 10^6 \text{ V}$$

Q71 (UFCE) Duas cargas puntiformes de valores Q e $-3Q$ estão separadas por uma distância de 104 cm , conforme a figura. O ponto A e pontos infinitamente distantes das cargas têm poten-



cial nulo. Determine, em centímetros, a distância entre a carga $-3Q$ e o ponto A . 78 cm

Q72 (Fuvest-SP) Duas cargas elétricas puntiformes $-Q$ distam a do ponto A , conforme indicado na figura.



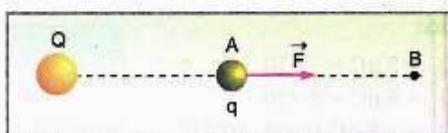
a) A que distância de A sobre a reta Ax devemos colocar uma outra carga elétrica puntiforme $+Q$ para que o potencial elétrico em A seja nulo? $\frac{a}{2}$

b) É esse o único ponto do plano da figura em que a carga $+Q$ pode ser colocada para anular o potencial em A ? Justifique a resposta. *não*

DIFERENÇA DE POTENCIAL

Consideremos o campo elétrico criado pela carga Q fixa.

O trabalho realizado pela força elétrica para deslocar uma carga q de um ponto A até um ponto B desse campo é igual à diferença da energia potencial elétrica entre A e B .



$$\mathcal{E}_{AB} = E_{p_A} - E_{p_B}$$

$$\text{Mas } E_{p_A} = q \cdot V_A \text{ e } E_{p_B} = q \cdot V_B$$

$$\text{Logo, } \mathcal{E}_{AB} = q \cdot V_A - q \cdot V_B$$

$$\text{Então, } \mathcal{E} = q \cdot (V_A - V_B)$$

O termo $(V_A - V_B)$ é chamado de *diferença de potencial elétrico entre os pontos A e B* (abreviadamente ddp) ou *tensão elétrica entre os pontos A e B* .

A ddp entre dois pontos é usualmente representada pela letra U .

$$\text{Então, } \mathcal{E}_{AB} = q \cdot U \rightarrow U = \frac{\mathcal{E}_{AB}}{q}$$

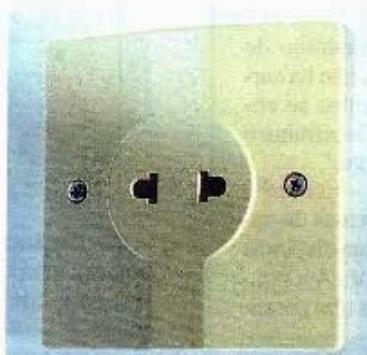
A ddp, $V_A - V_B$, entre dois pontos, A e B , de um campo elétrico é obtida dividindo-se o trabalho realizado pela carga que recebe esse trabalho.

A diferença de potencial elétrico é uma grandeza amplamente utilizada em eletricidade. A partir dela, explica-se o movimento de cargas elétricas.

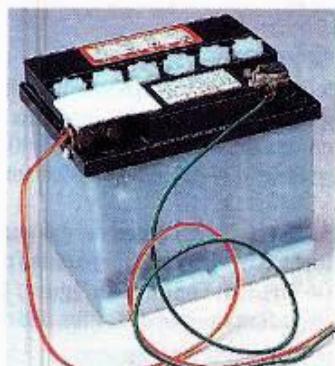


Foto: Sérgio Dutra/Brilho Net

Entre os terminais de uma pilha a ddp vale 1,5 V.



Numa tomada, a ddp é de 110 V ou 220 V.

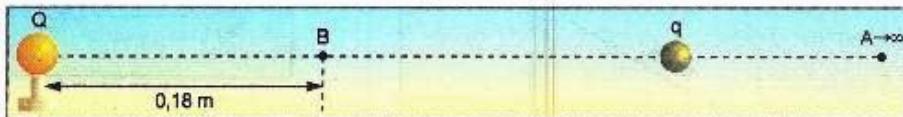


Entre os terminais de uma bateria existe uma ddp de 12 V.

APLICAÇÃO

A12

Sobre um suporte isolante encontra-se uma carga Q . Um operador transporta do ponto A , muito distante, para um ponto B , 0,18 m de Q , uma carga $q = 2 \mu\text{C}$, realizando um trabalho contra a força de campo de 80 J.



Determine:

- a energia potencial da carga q em A e em B
- b) o potencial elétrico em B
- c) o valor da carga q

Resolução:

$$\text{a)} \quad q = 2 \mu\text{C} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$A \rightarrow \infty \therefore d_A = 0$$

$$\text{Dados: } d_B = 0,18 \text{ m}$$

$\mathcal{E} = -80 \text{ J}$, negativo porque o trabalho realizado foi contra a força de campo

$$\mathcal{E}_{AB} = E_A - E_B; \text{ como } A \rightarrow \infty \rightarrow E_A = 0$$

$$-80 = 0 - E_B$$

$$E_B = 80 \text{ J}$$

$$\text{b)} \quad \mathcal{E}_{AB} = q(V_A - V_B)$$

$$-80 = 2 \cdot 10^{-6} (0 - V_B)$$

$$V_B = 4 \cdot 10^7 \text{ V}$$

$$\text{c)} \quad V_B = k_0 \cdot \frac{Q}{d_B}$$

$$4 \cdot 10^7 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{Q}{0,18}$$

$$Q = 8 \cdot 10^{-4} \text{ C}$$

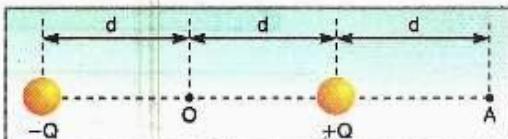
Respostas: a) 0 e 80 J; b) $4 \cdot 10^7 \text{ V}$; c) $8 \cdot 10^{-4} \text{ C}$

QUESTÕES

Q73 (FEI-SP) Determine o trabalho das forças de campo elétrico de uma carga puntiforme $Q = 5,0 \mu\text{C}$ para transportar outra carga puntiforme $q = 2,0 \cdot 10^{-2} \mu\text{C}$ de um ponto A a outro ponto B , distantes 1,0 m e 2,0 m da carga Q , respectivamente. (Dados: $k_0 = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.)

$$4,5 \cdot 10^4 \text{ J}$$

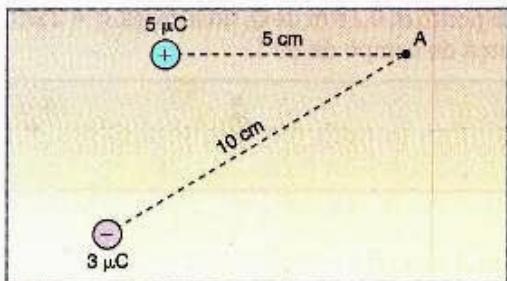
Q74 (Fuvest-SP) São dadas duas cargas elétricas pontuais, Q e $-Q$, de mesmo módulo, situadas como mostra a figura. Sabe-se que o potencial no ponto A vale 5 V, considerando-se nulo



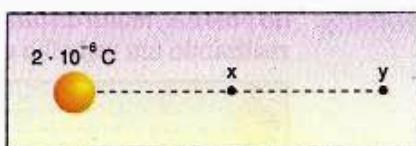
o potencial no infinito. Qual o trabalho realizado pela força de campo quando se desloca uma carga positiva de 1 nC (10^{-9} C):

- a) do infinito até o ponto A ? $-5 \cdot 10^{-8} \text{ J}$
- b) do ponto A até o ponto O ? $5 \cdot 10^{-9} \text{ J}$

Q75 (Centec-BA) Com base na figura, e sendo $k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$, determine o trabalho realizado pelo campo elétrico para trazer uma carga de 2 C do infinito até o ponto A. $-1,26 \cdot 10^6 \text{ J}$



Q76 Num campo elétrico, transporta-se uma carga puntiforme de $2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ de um ponto X até um ponto Y. O trabalho da força elétrica é de $-6 \cdot 10^{-6} \text{ J}$.

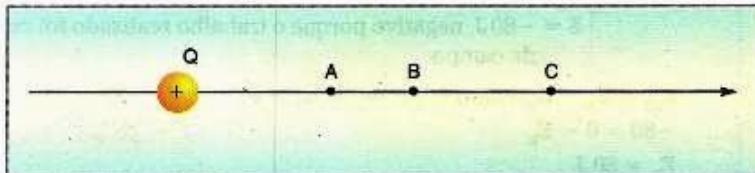


Determine:

- ddp entre os pontos X e Y $-3 \cdot 10^1 \text{ V}$
- o potencial elétrico de X, adotando-se o ponto Y como referência -30 V

VARIAÇÃO DO POTENCIAL AO LONGO DE UMA LINHA DE FORÇA

Considere um campo elétrico originado de uma carga puntiforme fixa e positiva Q , e uma linha de força de afastamento partindo de Q .



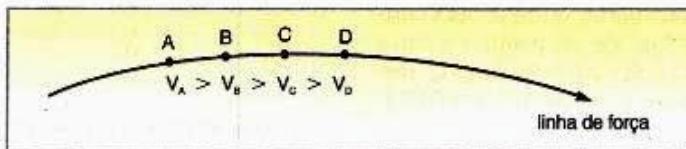
Podemos calcular o potencial dos pontos A, B e C pela expressão:

$$V = k_0 \cdot \frac{Q}{d}, \text{ como } d_A < d_B < d_C, \text{ temos: } V_A > V_B > V_C$$

Abandonando-se no ponto B uma carga de prova q , também positiva, ela se desloca espontaneamente no sentido da linha de força para pontos de menor potencial. Se abandonássemos uma carga q negativa, ela iria se deslocar contra a linha de força para pontos de maior potencial.

Para os dois casos, vale:

Percorrendo uma linha de força no seu sentido, encontramos sempre pontos de menor potencial.



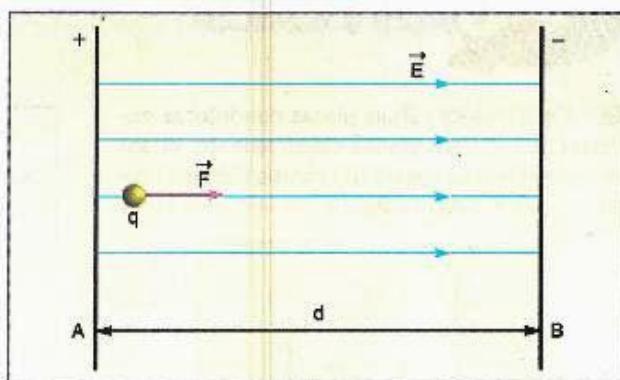
Se a carga que originou o campo fosse negativa, as linhas de força seriam de aproximação, mas a conclusão seria a mesma.

DIFERENÇA DE POTENCIAL NUM CAMPO ELÉTRICO UNIFORME

Considere o campo elétrico uniforme entre duas placas paralelas eletrizadas com cargas iguais e de sinais contrários, separadas pela distância d .

O trabalho realizado pela força elétrica para deslocar uma carga de prova q positiva, da placa A até a placa B , é dado por:

$$\mathcal{W}_{AB} = q(V_A - V_B) \quad \textcircled{1}$$



Como o campo elétrico \vec{E} e a força \vec{F} , que agem na carga q , são constantes, o trabalho realizado pela força \vec{F} pode ser calculado pela expressão geral do trabalho:

$$\mathcal{W}_{AB} = F \cdot d$$

Sendo $F = q \cdot E$, temos:

$$\mathcal{W}_{AB} = q \cdot E \cdot d \quad \textcircled{2}$$

Igualando \textcircled{1} e \textcircled{2}:

$$q(V_A - V_B) = q \cdot E \cdot d$$

$$V_A - V_B = E \cdot d$$

$$U_{AB} = E \cdot d$$

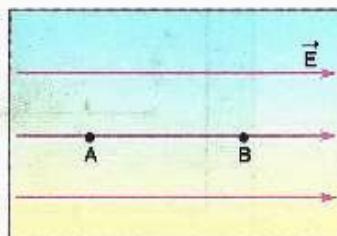
Essa expressão permite calcular a ddp entre dois pontos de um campo uniforme, e é muito importante no estudo dos fenômenos elétricos.

Com base nela utiliza-se voltmetro como unidade de \vec{E} no SI.

APLICAÇÃO

A 13

Determine a ddp entre dois pontos, A e B , de um campo elétrico uniforme de intensidade 10^5 N/C , sabendo que a distância entre esses pontos é de $0,2 \text{ cm}$.



Resolução:

Dados: $E = 10^5 \text{ N/C}$ e $d = 0,2 \text{ cm} = 0,002 \text{ m}$.

Como o campo elétrico é uniforme:

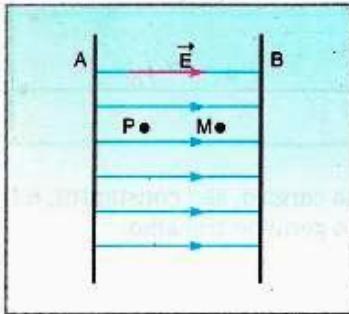
$$U_{AB} = E \cdot d$$

$$U_{AB} = 10^5 \cdot 0,002 = 200 \text{ V}$$

Resposta: 200 V

QUESTÕES

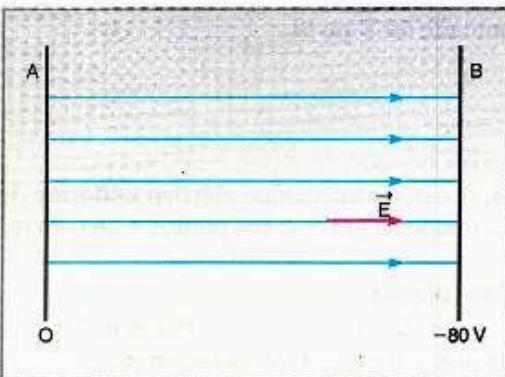
Q77 (UFPel-RS) Duas placas condutoras extensas, A e B, carregadas eletricamente, criam no espaço que as separam um campo elétrico uniforme, como mostra a figura. respostas no final do livro



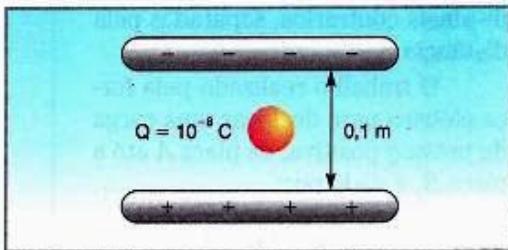
- Qual o sinal da carga elétrica em cada uma das placas?
- O potencial elétrico é maior no ponto P ou no ponto M?
- Se um elétron for abandonado no interior do campo elétrico, qual o sentido do seu movimento?

Justifique as respostas.

Q78 Na figura estão representados os vetores de um campo elétrico \vec{E} . As placas paralelas A e B, de potenciais indicados, estão distanciadas 2,0 cm. Determine a intensidade do campo elétrico entre as placas. $4 \cdot 10^3 \text{ V/m}$



Q79 Uma partícula com carga de 10^{-8} C encontra-se em equilíbrio entre duas placas eletrizadas, conforme indica a figura.



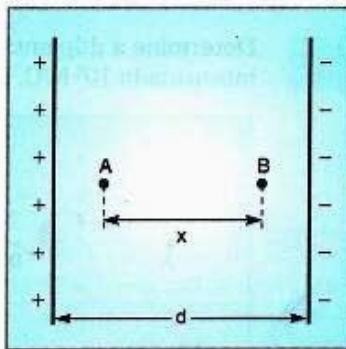
Sabendo que a ddp entre as placas é 200 V e a aceleração da gravidade é 10 m/s^2 , determine a massa da partícula. $2 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$

Q80 Duas placas metálicas paralelas, eletrizadas com cargas de sinais contrários, estão coladas no vácuo a 10 cm de distância uma da outra. O campo elétrico produzido pelas placas tem intensidade $6 \cdot 10^7 \text{ N/C}$. Uma carga elétrica puntiforme de $2 \mu\text{C}$ e massa igual a $5 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$ é abandonada na placa positiva. Supondo desprezível a força de atração gravitacional sobre a carga elétrica, determine:

- a força atuante sobre a carga elétrica 120 N
- a aceleração da carga elétrica $2,4 \cdot 10^6 \text{ m/s}^2$
- a velocidade com que a carga elétrica atinge a placa negativa $= 2,2 \cdot 10^3 \text{ m/s}$

Q81 (UFPR) Uma partícula de carga $2,0 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ é colocada entre duas placas condutoras paralelas e muito extensas, separadas entre si pela distância $d = 4,0 \text{ mm}$. É mantida uma diferença de potencial de 20 V entre as placas. Determine o trabalho realizado pela força eletrostática para mover a partícula do ponto A ao ponto B, conforme a figura abaixo, na qual $x = 2,0 \text{ mm}$.

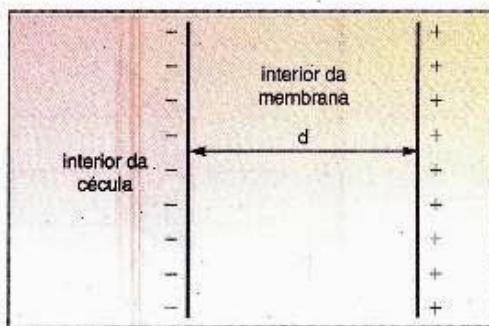
$2 \cdot 10^{-8} \text{ J}$



Q82 (UFRJ) A membrana que envolve cada uma de nossas células musculares tem uma espessura d igual a $5,0 \cdot 10^{-9}$ m. Quando o músculo está relaxado, há uma diferença de potencial de $9,0 \cdot 10^{-2}$ volts ao longo da espessura da membrana; tal diferença deve-se a um acúmulo de cargas positivas na parede externa da membrana e de cargas negativas em sua parede interna.

Nessas condições, calcule o módulo do campo elétrico médio E no interior da membrana e indique se E aponta para dentro ou para fora da célula.

$1,8 \cdot 10^7$ N/C, apontando para o interior da célula

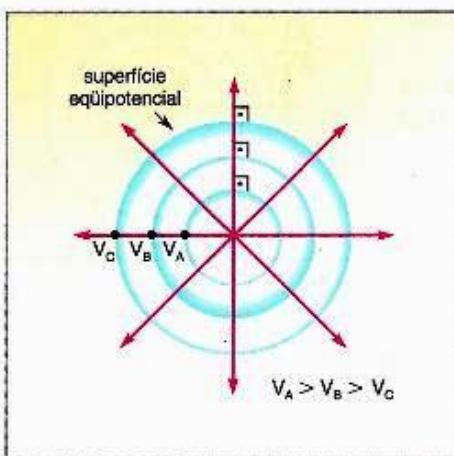


SUPERFÍCIE EQÜIPOTENCIAL

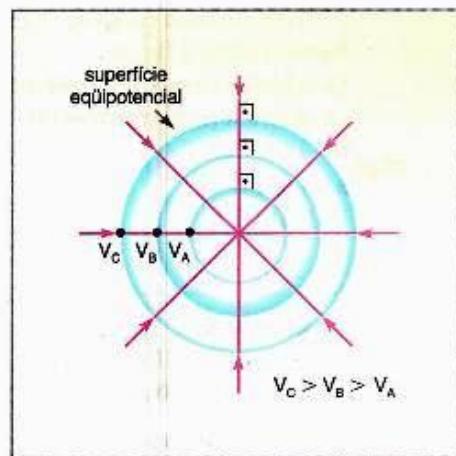
Chama-se superfície eqüipotencial aquela na qual o potencial é constante em todos os seus pontos.

Numa superfície eqüipotencial as linhas de força são sempre perpendiculares às superfícies eqüipotenciais.

No campo elétrico criado por uma carga puntiforme as superfícies eqüipotenciais são esféricas com centro na carga.



Carga puntiforme positiva.



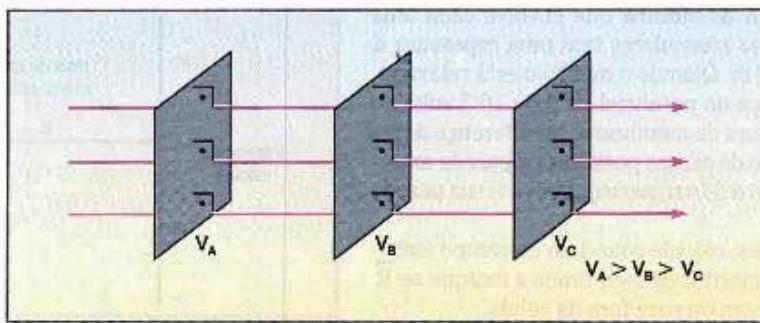
Carga puntiforme negativa.

Cada uma das superfícies esféricas concêntricas à carga puntiforme é uma superfície eqüipotencial.

As linhas de força são perpendiculares às superfícies eqüipotenciais.

No campo elétrico uniforme, as superfícies eqüipotenciais são planos paralelos entre si, perpendiculares às linhas de força.

Num campo uniforme, as superfícies eqüipotenciais são perpendiculares às linhas de força e paralelas entre si.



O trabalho realizado pela força elétrica no deslocamento de uma carga puntiforme sobre uma superfície eqüipotencial é nulo.

Essa propriedade se deve ao fato de não existir ddp entre dois pontos de uma mesma superfície eqüipotencial.

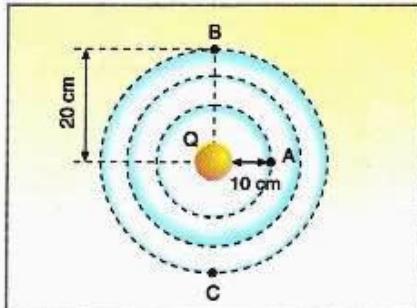
APLICAÇÃO

A 14

Dois pontos, A e B , pertencem a superfícies eqüipotenciais, situadas a 10 cm e 20 cm de uma carga $Q = 50 \mu\text{C}$, conforme indica a figura.

Determine o trabalho realizado pela força elétrica para transportar uma carga de $4 \mu\text{C}$ de:

- A até B
- B até C



Resolução:

Dados: $d_A = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$, $d_B = d_C = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$,
 $Q = 50 \mu\text{C} = 50 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ e $q = 4 \mu\text{C} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$

a) Cálculo do potencial nos pontos A , B e C :

$$V_A = k_0 \cdot \frac{Q}{d_A} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{50 \cdot 10^{-6}}{0,1} = 450 \cdot 10^4 \text{ V}$$

$$V_B = V_C = k_0 \cdot \frac{Q}{d_B} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{50 \cdot 10^{-6}}{0,2} = 225 \cdot 10^4 \text{ V}$$

$$\mathfrak{E}_{AB} = q(V_A - V_B) = 4 \cdot 10^{-6} (450 - 225) \cdot 10^4 = 9 \text{ J}$$

b) $\mathfrak{E}_{BC} = q(V_B - V_C) = 0$ (Os pontos B e C pertencem à mesma superfície eqüipotencial.)

Respostas: a) 9 J; b) zero

QUESTÕES

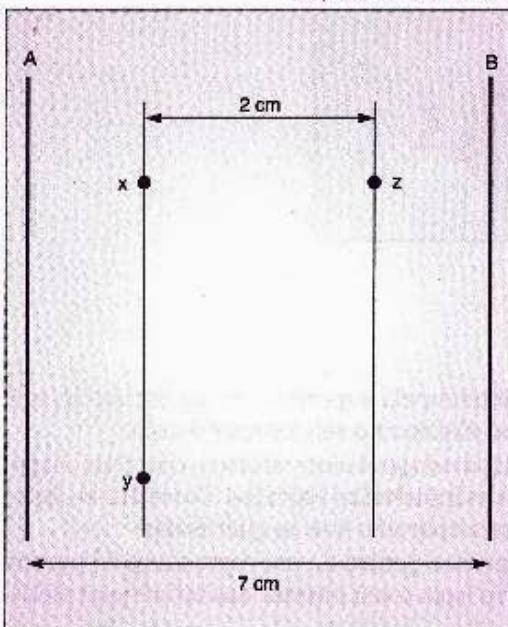
Q83 Defina superfície eqüipotencial.

Q84 (FEI-SP) Estudando-se um campo eletrostático, verificou-se que as superfícies eqüipotenciais são superfícies esféricas de centro comum O . Neste campo o potencial aumenta com a distância do ponto ao centro O . Descreva para tal campo as direções e sentido das linhas de campo. *A carga no centro O é negativa; as linhas de força são radiais e voltadas para o centro.*

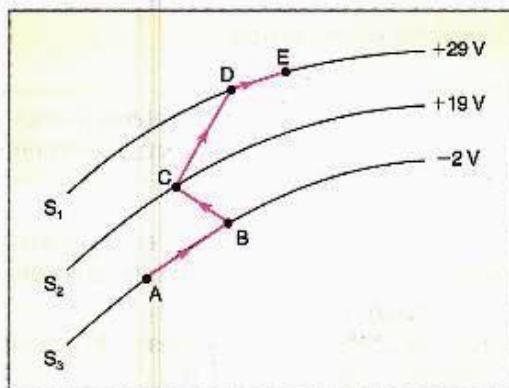
Q85 (UFPel-RS) Considere as placas planas e paralelas A e B , de dimensões infinitas, carregadas eletricamente, mostradas na figura. Duas superfícies eqüipotenciais entre essas placas estão representadas. O potencial do ponto x é $+20\text{ V}$ e o do ponto z é -20 V . A distância entre as placas eletrizadas é 7 cm .

- Qual o trabalho elétrico dispendido para transportar uma carga positiva de $1,0\text{ }\mu\text{C}$ entre os pontos x e y ? **nula**
- Qual o valor da intensidade de campo elétrico entre as placas? $2 \cdot 10^5\text{ N/C}$
- Represente, no ponto z da figura, o vetor intensidade de campo elétrico.

resposta no final do livro



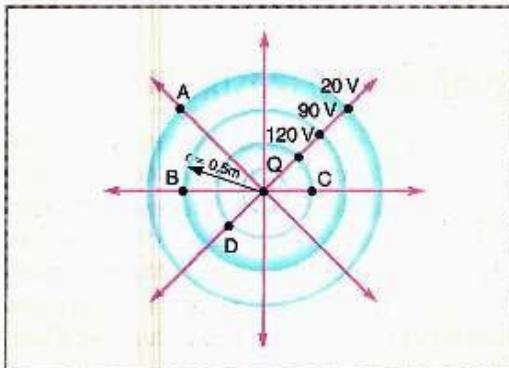
Q86 (UFPR) Considere as superfícies eqüipotenciais S_1 , S_2 e S_3 na figura com seus respectivos potenciais elétricos indicados. Determine o trabalho da força elétrica para se transportar uma carga de $2\text{ }\mu\text{C}$ do ponto A ao ponto E , percorrendo a trajetória indicada. $6,2 \cdot 10^{-3}\text{ J}$



Q87 (Uni-Rio-Cefet-Ence) No esquema abaixo, apresentam-se as superfícies eqüipotenciais e as linhas de força no campo de uma carga elétrica puntiforme Q fixa.

Considere que o meio é o vácuo ($k_0 = 9 \cdot 10^9\text{ Nm}^2/\text{C}^2$) e determine:

- o valor de Q $5 \cdot 10^{-9}\text{ C}$
- o valor do campo elétrico em B $1,8 \cdot 10^2\text{ N/C}$
- o trabalho realizado pela força elétrica sobre a carga $q = -2,0 \cdot 10^{-10}\text{ C}$ para levá-la de A para C $2 \cdot 10^{-8}\text{ J}$



CAPÍTULO 28

CONDUTORES EM EQUILÍBRIO ELETROSTÁTICO E CAPACITÂNCIA

DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS ELÉTRICAS NUM CONDUTOR EM EQUILÍBRIO

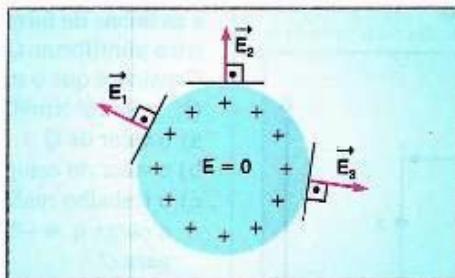
Quando eletrizamos um condutor, de qualquer formato, as cargas elétricas se distribuem por ele até conseguir o maior afastamento possívelumas das outras, atingindo, então, o *equilíbrio eletrostático*.

Um condutor eletrizado está em equilíbrio eletrostático quando nele não ocorre movimento ordenado de cargas elétricas.

Como as cargas elétricas em excesso num condutor têm mesmo sinal, elas se repelem e, ao procurar uma distância maior entre elas, distribuem-se na superfície externa do condutor.

Portanto:

- ✓ As cargas elétricas em excesso de um condutor em equilíbrio eletrostático distribuem-se pela sua superfície externa.
- ✓ O campo elétrico no interior de um condutor eletrizado em equilíbrio eletrostático é nulo.
- ✓ Na superfície de um condutor eletrizado em equilíbrio eletrostático, o vetor campo elétrico é perpendicular à superfície.



BLINDAGEM ELETROSTÁTICA

Como sabemos, as cargas elétricas se distribuem pela superfície de um condutor, seja ele *oco* ou *maciço*, e, consequentemente, o campo elétrico no seu interior é nulo.

Uma aplicação prática dessa propriedade é a *blindagem eletrostática*, que é um dispositivo empregado na proteção de aparelhos contra as influências elétricas. Constitui-se, basicamente, numa capa ou rede metálica que envolve o aparelho que se quer isolar.

A blindagem eletrostática mostra que uma pessoa dentro de um carro atingido por um raio nada sofrerá, pois a estrutura metálica do carro isola o seu interior das influências elétricas externas.

DENSIDADE ELÉTRICA SUPERFICIAL

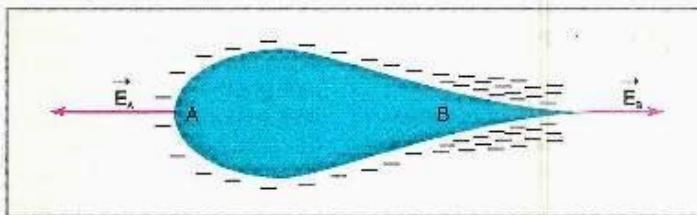
Define-se como *densidade elétrica superficial* de um condutor eletrizado a relação entre a sua quantidade de carga Q e a área S da sua superfície.

$$\sigma = \frac{Q}{S} \text{ medida no SI em: } \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$$

∴ Para um condutor esférico de raio R :

$$S = 4\pi R^2, \text{ então: } \sigma = \frac{Q}{4\pi R^2}$$

Sabe-se que, numa esfera eletrizada, a distribuição de carga na sua superfície é uniforme, enquanto num condutor de forma não-esférica a concentração de cargas é *maior* nas regiões mais pontiagudas do condutor.



PODER DAS PONTAS

Num condutor eletrizado, a densidade elétrica superficial é maior nas pontas e o campo elétrico, que é proporcional a ela, pode atingir valores muito intensos, a ponto de ionizar as moléculas de ar que se encontram nas proximidades. Isso implica também que as regiões pontiagudas favorecem as *descargas elétricas*, bem como o processo de carga.

Esse fenômeno é denominado *poder das pontas*.

A passagem de cargas elétricas através de um meio inicialmente isolante devido ao poder das pontas é largamente usada na prática.

O pára-raios é um dispositivo metálico e pontiagudo colocado na parte mais alta do local que se quer proteger. Atua de modo a descarregar as nuvens eletrizadas, atrair para si as descargas elétricas sob a forma de relâmpagos. É claro que o pára-raios é ligado à terra, que serve como elemento receptor ou fornecedor de elétrons.

O seu funcionamento pode ser explicado assim: suponha uma nuvem carregada negativamente passando perto da ponta do pára-raios. Nessas condições, ela pode induzir cargas positivas na ponta, que, por sua vez, podem ionizar o ar atmosférico, tornando-o condutor. Então, a nuvem se descarrega, escoando elétrons para a terra, através de uma faísca da nuvem para o pára-raios.



O fenômeno é semelhante se a nuvem estiver com cargas positivas, mas, nesse caso, sobem elétrons da terra para a nuvem, através de uma faísca do pára-raios para a nuvem.

Nos aviões, as descargas elétricas tendem a escoar ao longo das partes metálicas externas, não penetrando no interior do mesmo e retornando para a atmosfera.

Desse modo, passageiros e componentes eletrônicos ficam protegidos contra os relâmpagos entre nuvens.

Nos barcos, o pára-raios deve ser instalado no mastro e ligado à água por meio de um cabo condutor isolado.



Corbis Stock Photo

QUESTÕES

Q88 Explique por que, ao se carregar um condutor, as cargas se distribuem pela sua superfície.

Q89 Durante uma tempestade com relâmpagos, quais procedimentos devem ser tomados por uma pessoa que estiver: *respostas no final do livro*

- dentro de um automóvel?
- num barco em alto-mar?
- em campo aberto?
- dentro de casa?

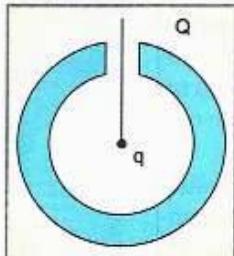
Q90 É possível construir um escudo protetor contra o campo gravitacional? E quanto ao campo elétrico? Explique.

Q91 Em um prego eletrizado, qual das extremidades apresenta maior quantidade de cargas elétricas? *a ponta do prego*

Q92 (PUC-SP) Por que nos pára-raios são geralmente utilizados metais pontiagudos?

resposta no final do livro

Q93 (UFPE) Uma grande esfera condutora, oca e isolada, está carregada com carga $Q = 60 \text{ mC}$. Através de uma pequena abertura no topo da esfera, é introduzida uma pequena esfera, de carga $q = -6 \text{ mC}$, suspensa por um fio isolante. Se a pequena esfera toca a superfície interna da esfera maior, qual será a carga final da superfície externa da esfera maior? 54 mC



Q94 (UFPEL) Para os gregos da Antigüidade, os relâmpagos eram dardos caprichosamente jogados por Heféstos em sua oficina vulcânica do monte Etna. Finalidade: dar a Zeus instrumentos divinos para descarregar sua cólera sobre o mundo ou advertir os mortais.

Hoje sabemos que os relâmpagos são fenômenos luminosos associados às descargas elétricas no ar, que denominamos raios.

A figura mostra uma nuvem carregada positivamente atraindo elétrons do solo. Esses elétrons, pelo poder das pontas, acumulam-se nas extremidades superiores do pára-raios.



- Qual a direção e qual o sentido do vetor intensidade do campo elétrico no ponto P ?
- Qual a condição para que ocorra um raio entre a nuvem e o pára-raios?
- Quando ocorre uma descarga elétrica entre nuvens, o que percebemos primeiro, o relâmpago ou o trovão? Por quê?

respostas no final do livro

O que é o gerador de Van de Graaff? Como ele funciona?

CAMPO E POTENCIAL DE UM CONDUTOR ESFÉRICO

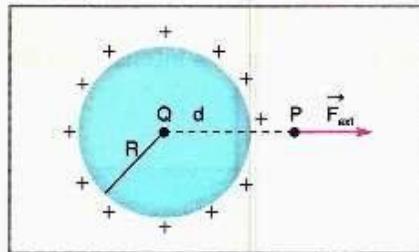
Considere um condutor esférico de raio R , no vácuo, eletrizado com carga Q e em equilíbrio eletrostático. Para o cálculo do potencial adota-se o referencial no infinito.

PONTO EXTERNO À ESFERA

Externamente, supõe-se que a carga Q seja puntiforme e concentrada no centro da esfera.

$$E_{\text{ext}} = k_0 \cdot \frac{|Q|}{d^2}$$

$$V_{\text{ext}} = k_0 \cdot \frac{Q}{d}$$

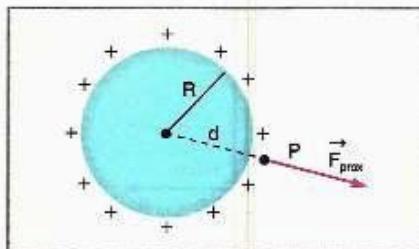


PONTO INFINTAMENTE PRÓXIMO À ESFERA

Para pontos muito próximos à superfície, considera-se $d = R$.

$$E_{\text{prox}} = k_0 \cdot \frac{|Q|}{R^2}$$

$$V_{\text{prox}} = k_0 \cdot \frac{Q}{R}$$

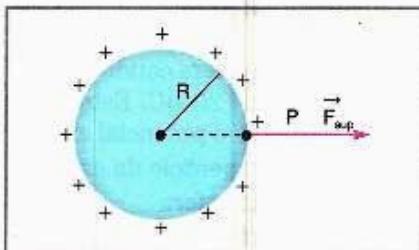


PONTO DA SUPERFÍCIE DA ESFERA

Para os pontos da superfície, a intensidade do vetor campo elétrico tem seu valor reduzido à metade.

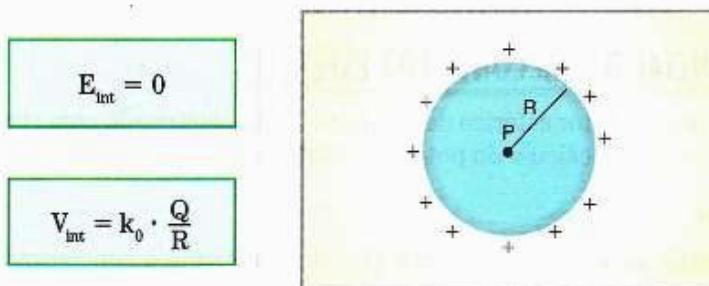
$$E_{\text{sup}} = \frac{1}{2} \cdot k_0 \cdot \frac{|Q|}{R^2}$$

$$V_{\text{sup}} = k_0 \cdot \frac{Q}{R}$$

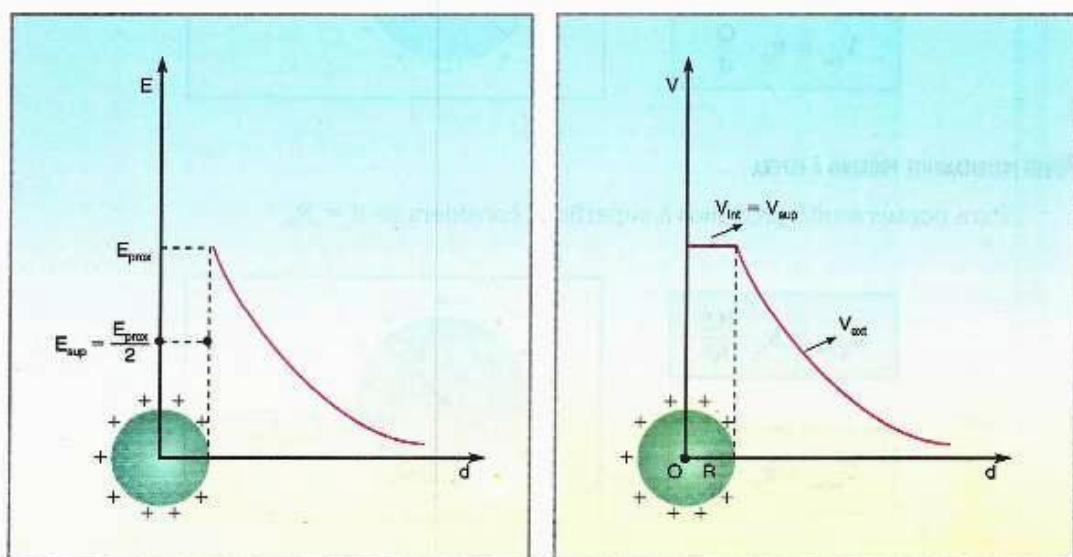


PONTO INTERNO

Internamente o campo é nulo e o potencial constante e igual ao potencial na sua superfície.



A seguir, temos os gráficos da intensidade do campo e do potencial elétrico em função da distância do centro da esfera.



APLICAÇÃO

A14

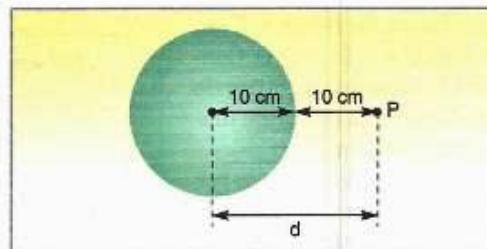
Considere uma esfera condutora de raio 10 cm. Ela se encontra eletrizada com carga elétrica de $20 \mu\text{C}$. Estando ela no vácuo, determine a intensidade do campo elétrico e o potencial em um ponto P :

- a 10 cm da superfície da esfera
- no interior da esfera
- na sua superfície

Resolução:

Dados: $Q = 20 \mu\text{C} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, $R = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$, $k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.

- a) Sendo P um ponto externo, calcula-se a intensidade do campo e o potencial como se a carga Q fosse puntiforme e localizada no centro da esfera.



Assim, $d = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$.

$$E_{\text{ext}} = k_0 \cdot \frac{|Q|}{d^2} \rightarrow E_{\text{ext}} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{20 \cdot 10^{-6}}{(0,2)^2} = 4,5 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

$$V_{\text{ext}} = k_0 \cdot \frac{Q}{d} \rightarrow V_{\text{ext}} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{20 \cdot 10^{-6}}{0,2} = 9 \cdot 10^5 \text{ V}$$

- b) Em todos os pontos internos do condutor o campo elétrico é nulo ($E_{\text{int}} = 0$) e o potencial é igual ao potencial num ponto da superfície.

$$V_{\text{int}} = k_0 \cdot \frac{Q}{R} \rightarrow V_{\text{int}} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{20 \cdot 10^{-6}}{0,1} = 1,8 \cdot 10^6 \text{ V}$$

- c) Na superfície, temos:

$$E_{\text{sup}} = \frac{1}{2} \cdot k_0 \cdot \frac{Q}{R^2} \rightarrow E_{\text{sup}} = \frac{1}{2} \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{20 \cdot 10^{-6}}{(0,1)^2} = 9 \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

Como vimos no item b, $V_{\text{sup}} = V_{\text{int}}$.

Assim: $V_{\text{sup}} = 1,8 \cdot 10^6 \text{ V}$.

Respostas: a) $E_{\text{ext}} = 4,5 \cdot 10^5 \text{ N/C}$; $V_{\text{ext}} = 9 \cdot 10^5 \text{ V}$; b) $E_{\text{int}} = 0$; $V_{\text{int}} = 1,8 \cdot 10^6 \text{ V}$; c) $E_{\text{sup}} = 9 \cdot 10^6 \text{ N/C}$; $V_{\text{sup}} = 1,8 \cdot 10^6 \text{ V}$

QUESTÕES

Q95 O potencial elétrico no interior de uma esfera metálica eletrizada é nulo? E o campo elétrico? [resposta no final do livro](#)

Q96 Uma esfera condutora de 0,2 m de raio está carregada com uma carga de $-6 \mu\text{C}$ e situada no vácuo. Determine a intensidade do campo elétrico nos pontos A , B e C situados, respectivamente, a 0,1 m, 0,2 m e 0,6 m do centro da esfera. $E_A = 0$, $E_B = 6,75 \cdot 10^5 \text{ N/C}$ e $E_C = 1,5 \cdot 10^5 \text{ N/C}$

Q97 Consideremos uma esfera condutora de raio 50 cm, eletrizada positivamente e localizada no vácuo. Num ponto a 80 cm do centro da esfera, o vetor campo elétrico tem intensidade $1,8 \cdot 10^4 \text{ N/C}$. Determine:

- a) a carga elétrica da esfera $1,28 \cdot 10^{-8} \text{ C}$
- b) o potencial elétrico num ponto interno $= 2,3 \cdot 10^4 \text{ V}$
- c) o potencial elétrico num ponto situado na superfície $= 2,3 \cdot 10^4 \text{ V}$
- d) o potencial elétrico num ponto situado a 2 m do centro da esfera $5,76 \cdot 10^3 \text{ V}$

Q98 Num ponto situado a 3 m do centro de uma esfera de raio 1 m, eletrizada positivamente e localizada no vácuo, o vetor campo elétrico tem intensidade $8 \cdot 10^5 \text{ N/C}$. Determine a carga elétrica distribuída na superfície da esfera. $8 \cdot 10^{-4} \text{ C}$

Q99 Uma esfera condutora de raio $r = 5 \text{ cm}$ está eletrizada com carga $Q = -2 \cdot 10^{-9} \text{ C}$. Considere $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$. Construa o gráfico do potencial elétrico gerado por essa esfera em função da distância do centro da esfera.

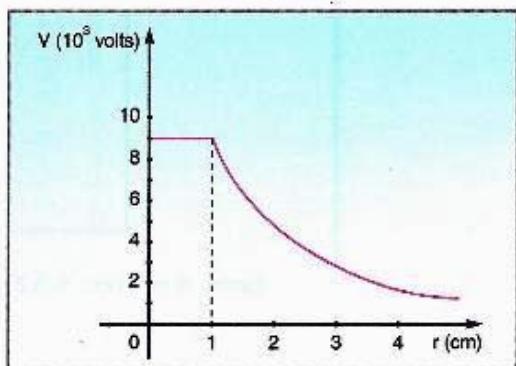
resposta no final do livro

Q100 (UFC) A figura representa o potencial criado por uma casca esférica, de raio igual a 1 cm, condutora, carregada uniformemente com uma carga $Q = 10^{-6} \text{ C}$, em função da distância de seu centro r .

- a) Qual a diferença de potencial entre dois pontos no interior da esfera? zero

b) Esboce o gráfico da intensidade do campo elétrico como função da distância ao centro r . resposta no final do livro

c) Descreva o movimento de uma carga puntiforme positiva quando colocada próxima da casca esférica. Será repelida.



CAPACIDADE DE UM CONDUTOR

Considere um condutor, inicialmente neutro, sendo paulatinamente eletrizado.

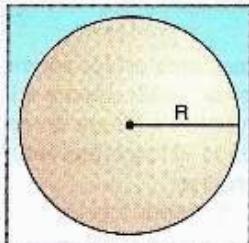
Deseja-se saber até que ponto se consegue transferir cargas para esse condutor, ou seja, até que ponto ele tem capacidade de armazenar cargas elétricas.

Sabe-se, experimentalmente, que essa capacidade do condutor depende da sua dimensão, da sua forma e do meio que o envolve.

Define-se como *capacidade* ou *capacitância* de um condutor eletrizado e isolado de outros o quociente da sua carga armazenada Q pelo seu potencial V .

$$C = \frac{Q}{V}$$

Para um condutor esférico de raio R , isolado e no vácuo, temos:



$$V = k \cdot \frac{Q}{R}; \text{ como } C = \frac{Q}{V}, \text{ vem:}$$

$$C = \frac{Q}{k \cdot \frac{Q}{R}} \therefore C = \frac{R}{k}$$

A capacidade de um condutor esférico é diretamente proporcional ao seu raio.

A unidade de capacidade no SI é o *farad* (F).

$$1 \text{ farad} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ volt}}$$

É usual o emprego dos submúltiplos:

- ✓ 1 microfarad = 1 μF = 10^{-6} F
- ✓ 1 nanofarad = 1 nF = 10^{-9} F
- ✓ 1 picofarad = 1 pF = 10^{-12} F

ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA ARMAZENADA POR UM CONDUTOR ELETRIZADO

Considere um condutor isolado de capacidade C , inicialmente neutro. Para que seja carregado com carga Q e adquira potencial elétrico V , um trabalho deve ser realizado. Esse trabalho fica armazenado no condutor sob a forma de *energia potencial elétrica*, cuja expressão é:

$$E_p = \frac{Q \cdot V}{2}$$

Como $Q = C \cdot V$, resulta: $E_p = \frac{C \cdot V^2}{2}$,

em que E_p é a energia potencial elétrica armazenada no condutor, medida, no SI, em joule.

APLICAÇÃO

A 15

Um condutor isolado no vácuo e eletrizado com carga igual a $4 \mu\text{C}$ tem potencial elétrico de $2 \cdot 10^3$ V. Determine:

- a capacidade do condutor
- a energia potencial elétrica armazenada no condutor

Resolução:

Dados: $Q = 4 \mu\text{C} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, $V = 2 \cdot 10^3 \text{ V}$

a) A capacidade é calculada por:

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{4 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^3} = 2 \cdot 10^{-9} \text{ F} \therefore C = 2 \text{ nF}$$

b) A energia potencial elétrica armazenada é:

$$E_p = \frac{Q \cdot V}{2} = \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3}{2} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

Respostas: a) 2 nF; b) $4 \cdot 10^{-3}$ J

QUESTÕES

Q101 Qual é o maior condutor elétrico que temos à nossa disposição? o planeta Terra

Q102 Considerando a Terra como um condutor esférico imerso no vácuo, calcule sua capacidade eletrostática. Considere o raio da Terra $6,3 \cdot 10^6$ m e $k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$. 7 \cdot 10^{-1} \text{ F}

Q103 Qual é a carga elétrica de um condutor de capacidade $2,0 \cdot 10^{-8} \text{ F}$ e potencial de $2\ 000 \text{ V}$? 4 \cdot 10^{-5} \text{ C}

Q104 Qual a energia armazenada em um condutor de capacidade 5 pF , quando carregado com uma carga de $10 \mu\text{C}$? 10 \text{ J}

Q105 A capacidade eletrostática de um condutor esférico A , imerso no vácuo, é $C_A = 1 \text{ nF}$, e seu potencial é $V_A = 1 \cdot 10^6 \text{ V}$. Dado $k_0 = 9 \cdot 10^9$ unidades do SI, determine:

- o raio do condutor 9 m
- sua carga elétrica 1 \cdot 10^{-4} \text{ C}
- sua energia potencial 5 \text{ J}

Q106 Um condutor com capacidade de $1 \mu\text{F}$ é carregado a um potencial de 40 V . Qual a velocidade que se deve imprimir a um corpo de massa igual a 1 kg , inicialmente em repouso, para que adquira a mesma energia do condutor?

$$4 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

CONTATO ENTRE CONDUTORES ELETRIZADOS

Suponha dois condutores eletrizados com cargas Q_1 e Q_2 , isolados e com capacidades C_1 e C_2 , respectivamente. Sejam V_1 e V_2 seus potenciais, com $V_1 \neq V_2$.



Colocando-os em contato, através de um fio de capacidade desprezível, as cargas se redistribuirão, devido à ddp, até que os condutores atinjam o equilíbrio eletrostático, cessando o movimento de cargas. Nessa condição, dizemos que os condutores atingiram o mesmo potencial elétrico.

Considerando o sistema eletricamente isolado, vale o princípio da conservação das cargas elétricas.

$$\text{Logo: } Q_1 + Q_2 = Q'_1 + Q'_2 \\ C_1 V_1 + C_2 V_2 = C_1 V + C_2 V$$

$$V = \frac{C_1 V_1 + C_2 V_2}{C_1 + C_2} \quad \text{ou} \quad V = \frac{Q_1 + Q_2}{C_1 + C_2}$$

Essas expressões representam o potencial comum entre dois condutores postos em contato.

APLICAÇÃO

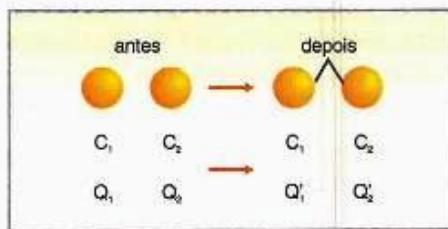
A 16

Dois condutores, de capacidades $C_1 = 3 \mu\text{F}$ e $C_2 = 2 \mu\text{F}$, estão eletrizados com cargas $Q_1 = 9 \mu\text{C}$ e $Q_2 = 1 \mu\text{C}$, respectivamente. Supondo-se que eles sejam ligados por um fio metálico, determine:

- o potencial do equilíbrio
- a nova carga de cada condutor

Resolução:

Dados: $\begin{cases} Q_1 = 9 \mu\text{C} = 9 \cdot 10^{-6} \text{ C} \\ Q_2 = 1 \mu\text{C} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ C} \\ C_1 = 3 \mu\text{F} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ F} \\ C_2 = 2 \mu\text{F} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ F} \end{cases}$



a) $V_E = \frac{Q_1 + Q_2}{C_1 + C_2} = \frac{9 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 10^{-6}} = \frac{10 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-6}} = 2 \quad \therefore V_E = 2 \text{ V}$

b) $Q'_1 = C_1 V_E = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 2 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ C}$

$Q'_2 = C_2 V_E = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 2 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$

Respostas: a) 2 V; b) $Q'_1 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ e $Q'_2 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$

QUESTÕES

Q107 Se ligarmos dois condutores esféricos, eletrizados com cargas de mesmo sinal, haverá descargas elétricas? **sim**

Q108 (FEI-SP) Duas esferas condutoras, de raios $R_1 = 10 \text{ cm}$ e $R_2 = 15 \text{ cm}$, estão eletrizadas, no vácuo, e seus potenciais são, respectivamente, $V_1 = 1\ 000 \text{ V}$ e $V_2 = 2\ 000 \text{ V}$. As esferas são colocadas em contato e depois afastadas uma da outra. Qual o novo potencial de cada esfera?

$1,6 \cdot 10^3 \text{ V}$

Q109 Uma esfera metálica A tem 5 cm de raio, outra esfera metálica, B , tem 10 cm de raio. As

duas esferas isoladas recebem a mesma carga, de $+6 \cdot 10^{-8} \text{ C}$, e são imediatamente ligadas por um fio condutor, fino e comprido. Determine, após o equilíbrio, as cargas das esferas A e B .

$4 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ e $8 \cdot 10^{-8} \text{ C}$

Q110 (EEM-SP) Uma esfera condutora de raio $R_1 = 10 \text{ cm}$ está eletrizada com uma carga $Q = 2,0 \cdot 10^{-9} \text{ C}$. Qual o potencial dessa esfera? Qual seu novo potencial após ter sido colocada em contato e depois separada de uma segunda esfera de raio $R_2 = 10 \text{ cm}$, inicialmente neutra? Qual sua nova carga? (Dado: $k_0 = 9 \cdot 10^9$ unidades do SI.) 180 V , 90 V e $1 \cdot 10^{-9} \text{ C}$

CAPÍTULO 29

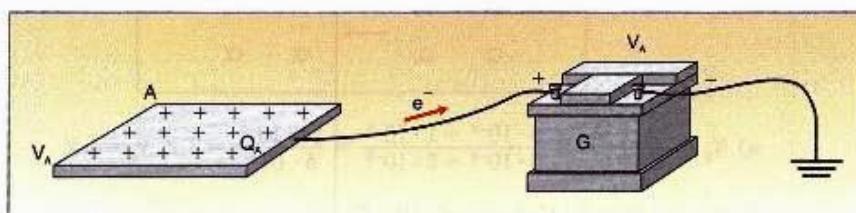
CAPACITORES

INTRODUÇÃO

Os condutores isolados, estudados anteriormente, não possuem grande capacidade de armazenar cargas elétricas, pois, mesmo com uma pequena carga, adquirem potenciais muito altos. Dessa forma, o campo elétrico também é alto e o condutor se descarrega com facilidade.

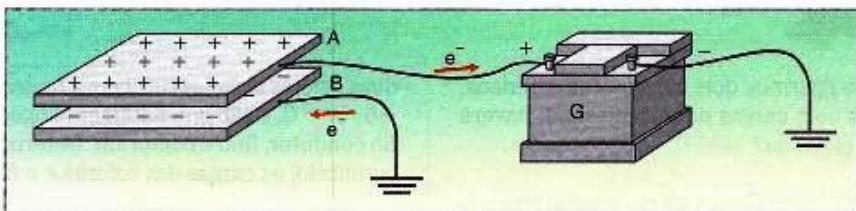
Uma maneira de conseguir aumentar a capacidade de armazenar cargas de um condutor é colocá-lo na presença de outro condutor, pois este último, devido ao fenômeno da indução, ocasiona uma diminuição no potencial do corpo próximo a ele. Diminuindo-se o potencial, o condutor pode receber mais cargas elétricas até atingir novamente o potencial-limite.

Suponhamos, por exemplo, um condutor A em forma de placa e cujo máximo potencial que ele consegue suportar sem descarregar é V_A . Ligamos então essa placa ao pólo positivo de um gerador que fornece um potencial constante V_A .



O gerador retira elétrons da placa A eletrizando-a positivamente, até que ela atinja o potencial V_A em equilíbrio com o pólo positivo do gerador. Nessa situação, a placa A recebeu uma carga Q_A e está na capacidade-limite de armazenar cargas.

Se, porém, aproximarmos do condutor A uma outra placa condutora, B , e a ligarmos à terra, começam a vir elétrons da terra para ela, devido à indução.



As cargas negativas fazem com que o potencial V_A da placa A diminua, pelo fato de produzirem em A um potencial negativo $-V_B$.

O potencial resultante em A é:

$$V'_A = V_A + (-V_B) \rightarrow V'_A < V_A$$

Como surgiu uma nova ddp entre a placa A e o gerador ($V_A - V'_A$), este inicia a retirada de mais alguns elétrons, até que o condutor A retorne ao potencial de equilíbrio V_A .

Dessa forma, a placa A conseguiu armazenar maior quantidade de cargas, sem descarregar.

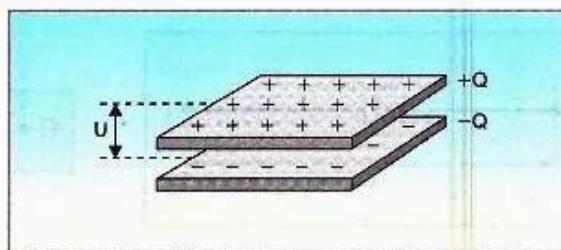
$$Q'_A > Q_A$$

DEFINIÇÃO

Capacitores ou condensadores são dispositivos que têm por função armazenar cargas elétricas. São constituídos essencialmente por dois condutores separados por um material isolante, como ar, papel, vidro, óleo etc.

Os condutores são chamados de *armaduras* e o material isolante de *dieletrico*.

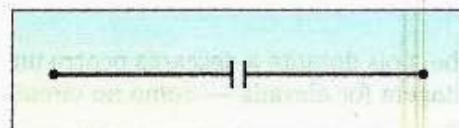
Um capacitor carregado adquire em cada uma de suas armaduras cargas de mesmo módulo, porém de sinais opostos. Após carregar o capacitor, o gerador pode ser desligado das armaduras, que se mantêm eletrizadas pelo fato de não existir nenhum condutor entre elas por onde as cargas possam passar.

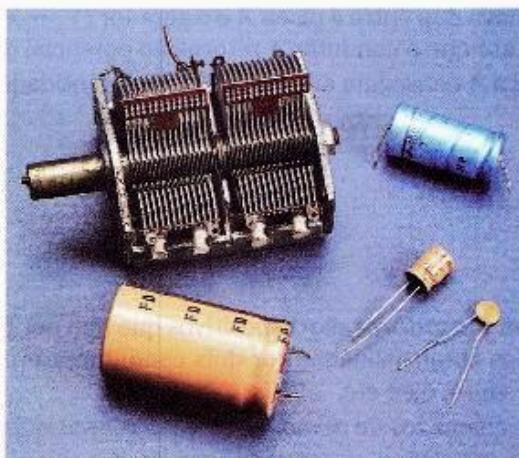


De acordo com a forma das armaduras, os capacitores podem ser: planos, cilíndricos ou esféricos.



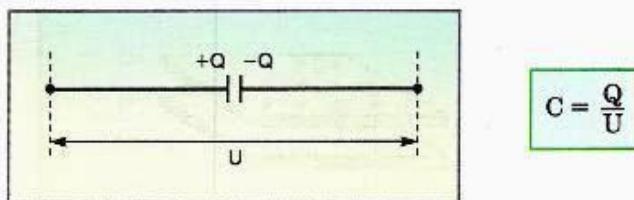
Simbolizamos um capacitor, qualquer que seja a forma de suas armaduras, com dois traços de mesmo comprimento, paralelos entre si, como mostra a figura a seguir.





Vários tipos de capacitores.

A medida da capacidade de um capacitor armazenar cargas elétricas é a *capacitância* C , dada pela razão entre a carga Q da armadura positiva e a ddp U , em valor absoluto, existente entre as armaduras. Sua unidade no SI, é o *farad* (F).



A capacidade é uma constante característica de cada capacitor e depende das dimensões e forma das armaduras, da distância que as separam e da natureza do dielétrico colocado entre as armaduras.

ENERGIA ARMAZENADA POR UM CAPACITOR

Nos circuitos elétricos, e principalmente na eletrônica, os capacitores são utilizados como dispositivos armazenadores de energia elétrica. O gerador, ao carregar o capacitor, fornece-lhe energia potencial elétrica que poderá ser utilizada pelo circuito através da "descarga do capacitor".

Essa energia potencial elétrica, armazenada pelo capacitor quando está carregado, é dada pela igualdade:

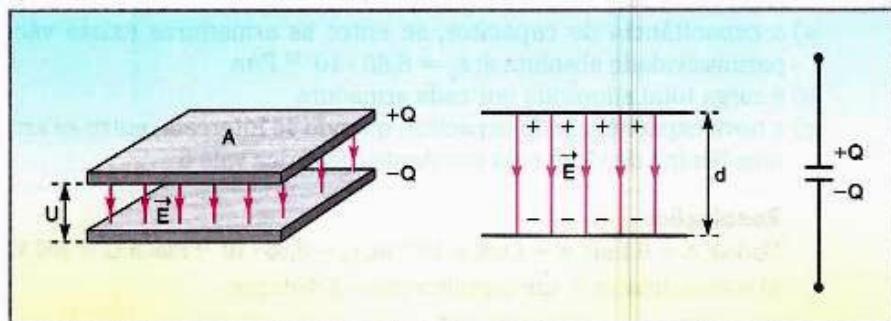
$$E_p = \frac{CU^2}{2}$$

Um capacitor carregado se descarrega quando existe um caminho condutor entre suas placas.

Evite ser esse caminho, pois durante a descarga ocorre uma transferência de energia, que pode ser fatal se a voltagem for elevada — como no circuito do tubo de um televisor, mesmo depois de desligado.

CAPACITOR PLANO

É um capacitor formado por placas planas, iguais, paralelas e próximas umas das outras, separadas por um dielétrico.



A capacidade C de um capacitor plano:

- ✓ é diretamente proporcional à área A das armaduras
- ✓ é inversamente proporcional à distância d entre as armaduras
- ✓ varia com a natureza do dielétrico colocado entre as armaduras

Matematicamente, temos:

$$C = \epsilon \cdot \frac{A}{d}$$

A constante de proporcionalidade ϵ , determinada experimentalmente, depende da natureza do dielétrico entre as armaduras e é denominada *permitividade* (ou *permissividade*) absoluta do dielétrico. Corresponde ao produto da constante de permitividade do vácuo ϵ_0 pela constante dielétrica k do elemento isolante.

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot k$$

Sendo: $\epsilon_0 = 8,8 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$.

Algumas constantes dielétricas:

DIELÉTRICO	k
vácuo	1,0000
ar	1,0005
parafina	2
papel	3,5

Como o campo elétrico entre as placas paralelas é uniforme ($U = Ed$), obtemos:

$$C = \frac{Q}{U} \rightarrow C = \frac{Q}{Ed}$$

Aplicação

A 17

Um capacitor plano tem armaduras de área $0,1 \text{ m}^2$, separadas pela distância de 1 cm. A ddp entre as armaduras vale 100 volts. Determine:

- a capacidade do capacitor, se entre as armaduras existe vácuo, cuja permissividade absoluta é: $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$
- a carga total adquirida por cada armadura
- a nova capacidade do capacitor, quando se intercala, entre as armaduras, uma lâmina de vidro cuja constante dielétrica vale 6

Resolução:

Dados: $A = 0,1 \text{ m}^2$, $d = 1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ e $U = 100 \text{ V}$.

- a capacidade de um capacitor plano é dada por:

$$C = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,1}{10^{-2}} \rightarrow C = 8,85 \cdot 10^{-11} \text{ F}$$

- a carga em cada armadura é dada por:

$$Q = C \cdot U = 8,85 \cdot 10^{-11} \cdot 100 \rightarrow Q = 8,85 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

- a constante de permitividade absoluta do vidro é: $\epsilon_{\text{vidro}} = \epsilon_0 \cdot k$

$$\epsilon_{\text{vidro}} = \epsilon_0 \cdot 6 \rightarrow \epsilon_{\text{vidro}} = 6 \cdot 8,85 \cdot 10^{-9} \text{ F/m}$$

A nova capacidade será:

$$C' = \epsilon_{\text{vidro}} \cdot \frac{A}{d} = \frac{6 \cdot 8,85 \cdot 10^{-9} \cdot 0,1}{10^{-2}} \rightarrow C' = 5,31 \cdot 10^{-10} \text{ F}$$

Respostas: a) $8,85 \cdot 10^{-11} \text{ F}$; b) $8,85 \cdot 10^{-9} \text{ C}$; c) $5,31 \cdot 10^{-10} \text{ F}$

QUESTÕES

Q111 Analise as afirmações a seguir, relativas a um capacitor carregado e isolado da fonte de tensão. Quais são verdadeiras? I e III

- A carga diminui quando se separam as placas do capacitor.
- A carga permanece constante, independente do afastamento entre as placas.
- A ddp diminui com a separação entre as placas.
- A ddp aumenta com a separação entre as placas.

Q112 O capacitor é um dispositivo eletrônico que armazena cargas elétricas. Um dos tipos de capacitor é constituído por duas placas planas e paralelas, separadas por um meio não condutor. Em relação a esse tipo de capacitor, são feitas as seguintes afirmações:

- A capacidade elétrica ou capacidade depende apenas da geometria do capacitor e da constante dielétrica do meio que separa as placas.

II) Se substituirmos o vácuo por um dielétrico, a capacidade elétrica de um capacitor de placas paralelas separadas por vácuo aumenta.

- III) Se aumentarmos a distância entre as placas do capacitor, sua capacidade elétrica diminui.
- IV) O campo elétrico entre as placas do referido capacitor é constante e seu sentido é o da placa carregada positivamente para a placa carregada negativamente.

Quais dessas afirmações são verdadeiras?

Todas são verdadeiras.

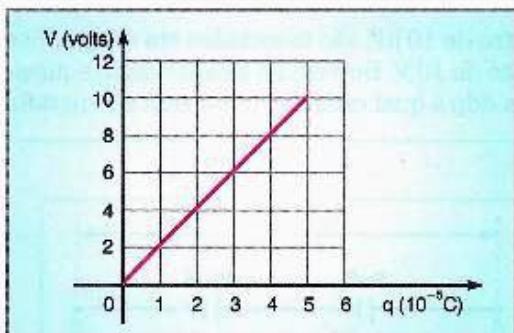
Q113 Um condensador de capacidade $10^{-4} \mu\text{F}$ é ligado a um gerador de tensão de 200 V. Determine sua carga elétrica. $2 \cdot 10^{-8} \text{ C}$

Q114 Um capacitor plano a vácuo possui armaduras com área de $0,1 \text{ m}^2$, separadas por uma distância de 4 cm. A ddp entre as armaduras é 1 000 V. Determine:

- sua capacidade
- sua carga
- sua energia potencial

a) $2,2 \cdot 10^{-11} \text{ F}$ b) $2,2 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ c) $1,1 \cdot 10^{-9} \text{ J}$

Q115 (UFPE) O gráfico a seguir representa a variação da diferença de potencial entre as pla-



cas de um capacitor plano de placas paralelas e capacidade igual a $5,0 \cdot 10^{-5} \text{ F}$, quando carregado de uma carga inicial $q_i = 0$ até uma carga final $q_f = 5,0 \cdot 10^{-5} \text{ C}$.

Determine o valor, em unidades de 10^{-5} J , da energia armazenada no capacitor. **25 J**

Q116 (FAAP-SP) Um capacitor de $10 \mu\text{F}$, com ar entre as placas, é ligado a uma fonte de 50 V e depois desligado.

- Quais são as cargas nas placas do capacitor e a ddp entre elas? $5 \cdot 10^{-4} \text{ C e } 50 \text{ V}$
- A região entre as placas é preenchida com teflon, de constante dielétrica igual a $2,1 \text{ F/m}$. Quais são as cargas nas placas e a nova ddp?

$$5 \cdot 10^{-4} \text{ C e } 23,8 \text{ V}$$

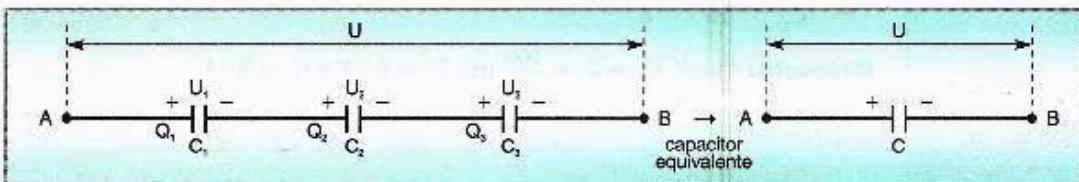
ASSOCIAÇÃO DE CAPACITORES

Os capacitores podem ser associados entre si a fim de atender às necessidades de certos tipos de circuito, como, por exemplo, os circuitos eletrônicos.

Há três tipos de associação de capacitores: em série, em paralelo e mista.

1º tipo: Associação em série

Numa associação em série, a armadura negativa de um capacitor está ligada à armadura positiva do capacitor seguinte.



As cargas armazenadas em todos os capacitores são iguais, uma vez que todos se carregam por indução.

Essa associação pode ser substituída por um único capacitor, o qual, submetido à mesma ddp da associação, armazena a mesma quantidade de carga. Esse capacitor, denominado *capacitor equivalente*, possui as seguintes características:

✓ a carga Q é igual à das demais capacitores

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$$

✓ a ddp é igual à soma das ddp's de cada capacitor

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

A partir dessas expressões, pode-se calcular a capacidade do capacitor equivalente, através da igualdade:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

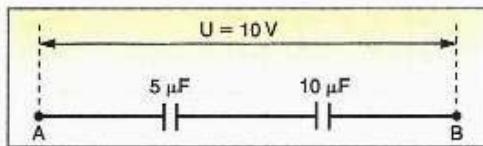
APLICAÇÃO

A 18

Dois capacitores, um de $5 \mu\text{F}$ e outro de $10 \mu\text{F}$, são associados em série e lhes é aplicada nos terminais uma tensão de 10 V . Determine a capacidade equivalente, a carga de cada capacitor e a ddp à qual cada capacitor está submetido.

Resolução:

$$\text{Dados: } \begin{cases} C_1 = 5 \mu\text{F} \\ C_2 = 10 \mu\text{F} \\ U = 10 \text{ V} \end{cases}$$



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{5} + \frac{1}{10} = \frac{2+1}{10} = \frac{3}{10} \rightarrow C = \frac{10}{3} \mu\text{F}$$

A carga de cada capacitor é a mesma do capacitor equivalente. Então:

$$Q = Q_1 = Q_2 = C \cdot U = \frac{10}{3} \cdot 10 = \frac{100}{3} \mu\text{C}$$

A ddp para cada capacitor será:

$$U_1 = \frac{Q_1}{C_1} = \frac{\frac{100}{3}}{5} = \frac{20}{3} \approx 6,7 \text{ V}$$

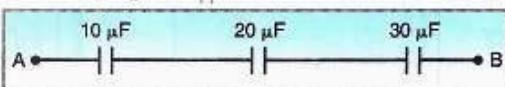
$$U_2 = \frac{Q_2}{C_2} = \frac{\frac{100}{3}}{10} = \frac{10}{3} \approx 3,3 \text{ V}$$

Resposta: $\frac{10}{3} \mu\text{F}$, $Q_1 = Q_2 = \frac{100}{3} \mu\text{C}$, $U_1 \approx 6,7 \text{ V}$ e $U_2 \approx 3,3 \text{ V}$

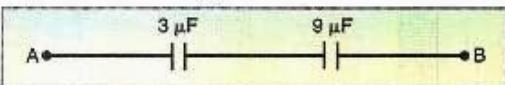
QUESTÕES

Q117 A capacidade do capacitor equivalente de dois capacitores associados em série é menor que a capacidade de cada um deles? sim

Q118 Determine a capacidade equivalente do circuito a seguir. $\frac{60}{11} \mu\text{F}$



Q119 Dois capacitores são associados em série, como indica a figura.



Fornecendo à associação uma carga de $18 \mu\text{C}$, determine:

a) a capacidade equivalente $\frac{9}{4} \mu\text{F}$

b) a carga de cada capacitor $Q_1 = Q_2 = 18 \mu\text{C}$

c) a ddp em cada capacitor $U_1 = 6 \text{ V}$ e $U_2 = 2 \text{ V}$

d) a ddp da associação 8 V

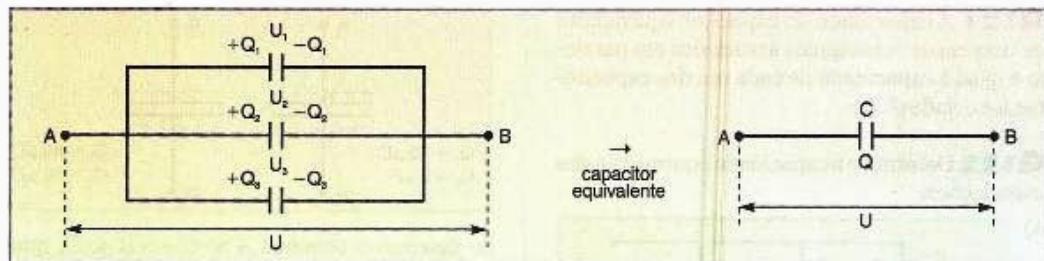
e) a energia armazenada da associação

$$7,2 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

Q120 (Mack-SP) Uma esfera condutora elétrica tem um diâmetro de $1,8 \text{ cm}$ e se encontra no vácuo ($k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$). Dois capacitores idênticos, quando associados em série, apresentam uma capacidade equivalente à da esfera. Determine a capacidade de cada um desses capacitores. $2 \cdot 10^{-12} \text{ F}$; $4 \cdot 10^{-12} \text{ F}$

2º tipo: Associação em paralelo

Numa associação em paralelo, todas as armaduras positivas estão ligadas a um ponto de mesmo potencial, assim como todas as negativas estão ligadas a um outro ponto de potencial comum.



A ddp é a mesma em todos os capacitores, uma vez que todos estão ligados aos mesmos dois pontos.

Essa associação também pode ser substituída por um único capacitor equivalente, com as seguintes características:

✓ a ddp é igual à dos demais capacitores $U_1 = U_2 = U_3 = U$

✓ a carga armazenada é igual à soma das cargas de cada capacitor $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

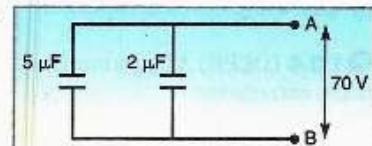
A partir dessas expressões, pode-se calcular a capacidade do capacitor equivalente.

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

APLICAÇÃO

A 18

- Dada a associação na figura abaixo, calcule:
- a capacidade da associação equivalente
 - a carga de cada capacitor
 - a energia armazenada na associação
 - a carga total armazenada



Resolução:

Dados: $C_1 = 5 \mu\text{F}$, $C_2 = 2 \mu\text{F}$ e $U = 70 \text{ V}$.

$$\text{a)} C = C_1 + C_2 \rightarrow C = 5 + 2 \rightarrow C = 7 \mu\text{F}$$

$$\begin{aligned} \text{b)} Q_1 &= C_1 U \rightarrow Q_1 = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 70 = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ C} \\ Q_2 &= C_2 U \rightarrow Q_2 = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 70 = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ C} \end{aligned}$$

$$\text{c)} E_p = \frac{C \cdot U^2}{2} \rightarrow E_p = \frac{7 \cdot 10^{-6} \cdot 4900}{2} \rightarrow E_p = 1,715 \cdot 10^2 \text{ J}$$

$$\text{d)} Q = Q_1 + Q_2 \rightarrow Q = 3,5 \cdot 10^{-4} + 1,4 \cdot 10^{-4} \rightarrow Q = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ C}$$

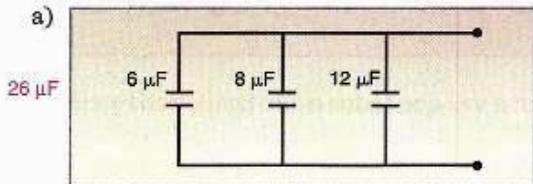
Respostas: a) $7 \mu\text{F}$; b) $3,5 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ e $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ C}$; c) $1,715 \cdot 10^2 \text{ J}$; d) $4,9 \cdot 10^{-4} \text{ C}$

QUESTÕES

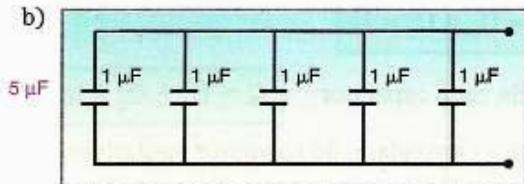
Q121 A capacidade do capacitor equivalente de dois capacitores iguais associados em paralelo é igual à capacidade de cada um dos capacitores associados? **não**

Q122 Determine a capacidade equivalente das associações:

a)



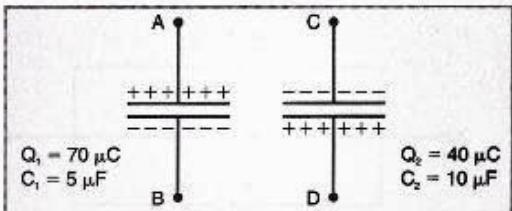
b)



Q123 Dois capacitores de $2 \mu\text{F}$ e $3 \mu\text{F}$ são associados em paralelo e o conjunto é colocado sob uma ddp de $1\,000\text{ V}$.

- Qual a capacidade do capacitor equivalente?
- Qual a carga em cada capacitor?
- Qual a ddp em cada capacitor?

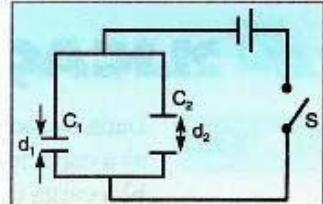
Q124 (UEPB) A figura mostra dois condensadores carregados.



Se ligarmos o terminal A ao C e o B ao D , qual será a ddp entre os terminais dos condensadores após o equilíbrio? **2 V**

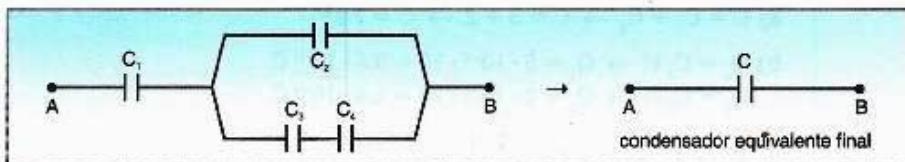
Q125 (PUC-PR) Dois capacitores, um de $1,00 \cdot 10^{-3}\text{ F}$ e outro de $2,20 \cdot 10^{-3}\text{ F}$, associados em paralelo, são ligados a uma fonte de tensão de 20 V . Determine a carga elétrica total acumulada nas placas positivas dos capacitores, após eles estarem plenamente carregados. **$6,4 \cdot 10^{-2}\text{ C}$**

Q126 (UFPE) No circuito abaixo, os capacitores de placas paralelas C_1 e C_2 têm placas de mesma área separadas pelas distâncias d_1 e d_2 , respectivamente. Muito tempo após a chave S ter sido fechada, as cargas nas placas desses capacitores já atingiram seus valores máximos, Q_1 e Q_2 , respectivamente. Se $d_2 = 2d_1$, determine o valor da razão Q_1/Q_2 . **2**



3º tipo: Associação mista

É aquela na qual encontramos, ao mesmo tempo, condensadores associados em série e em paralelo, como na figura.



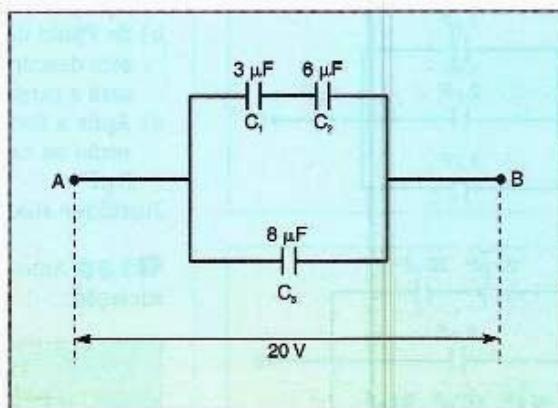
A determinação do capacitor equivalente final é feita mediante o cálculo dos capacitores equivalentes de cada uma das associações, a respeito dos quais se tem certeza de estarem em série ou em paralelo.

APLICAÇÃO

A19

Na associação de capacitores da figura, determine:

- o capacitor equivalente
- a carga de cada capacitor

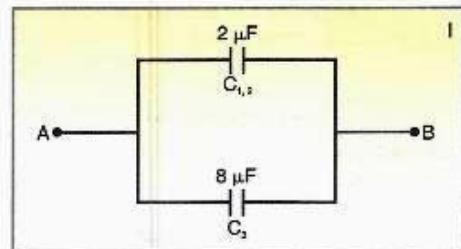


Resolução:

- a) Resolvendo a associação em série:

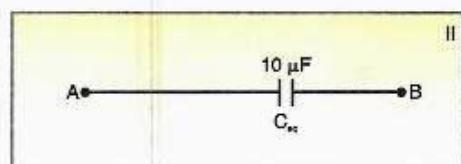
$$\frac{1}{C_{1,2}} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{2+1}{6}$$

$$C_{1,2} = \frac{6}{3} = 2 \mu\text{F}$$



Resolvendo a associação em paralelo, temos o equivalente:

$$C_{eq} = 8 + 2 = 10 \mu\text{F}$$



- b) Podemos observar na figura I, que os capacitores de 2 μF e 8 μF estão em paralelo. Portanto, têm a mesma ddp.

$$Q_{1,2} = C_{1,2} \cdot U \rightarrow Q_{1,2} = 2 \cdot 20 = 40 \mu\text{C}$$

Como C₁ está em série com C₂, apresentam a mesma carga de C_{1,2}.

$$Q_{1,2} = Q_1 = Q_2 = 40 \mu\text{C}$$

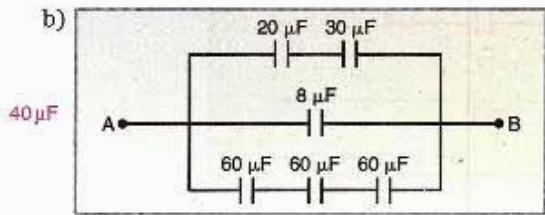
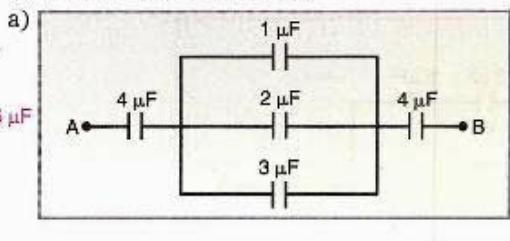
Em C₃ a ddp é de 20 V. Então:

$$Q_3 = C_3 \cdot U \rightarrow Q_3 = 8 \cdot 20 = 160 \mu\text{C}$$

Respostas: a) 10 μF; b) Q₁ = Q₂ = 40 μC e Q₃ = 160 μC

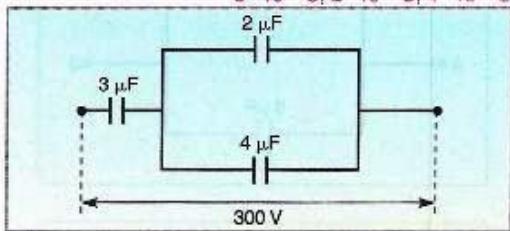
QUESTÕES

Q127 Calcule a capacidade do condensador equivalente das associações:

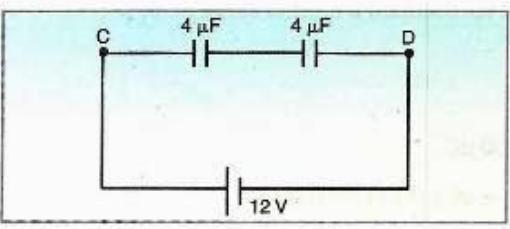
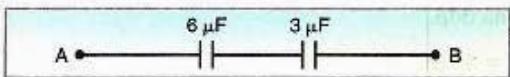


Q128 (UFMT) Calcule a carga em cada condensador da associação a seguir.

$$6 \cdot 10^{-4} \text{ C}; 2 \cdot 10^{-2} \text{ C}; 4 \cdot 10^{-4} \text{ C}$$



Q129 (UFPel-RS) O estudante Paulo, realizando experiências com capacitores, utilizou uma bateria de 12 V. Abaixo, estão mostradas duas associações que Paulo montou, uma delas ligada à bateria.

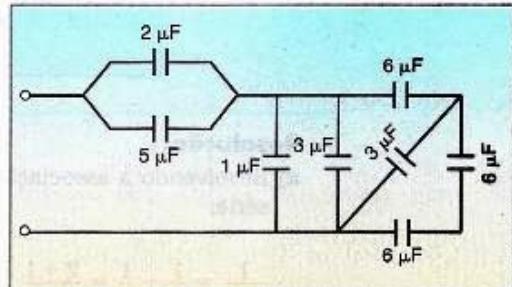


A partir do enunciado, responda:

- Quais as cargas elétricas dos capacitores de $4 \mu\text{F}$? $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ C}$
- Se Paulo desligar o conjunto CD da bateria, sem descarregá-lo, e ligar A a C e B a D, qual será a carga do novo conjunto formado?
- Após a formação da nova associação, quais serão as cargas dos capacitores de $6 \mu\text{F}$ e $3 \mu\text{F}$? $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ C}$

Justifique suas respostas.

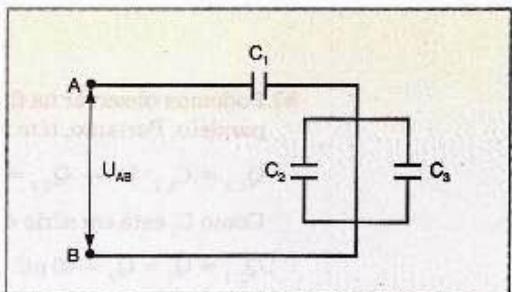
Q130 Ache a capacidade equivalente da associação. $\sim 3 \mu\text{F}$



Q131 (EFEI-MG) Como devem ser ligados três capacitores, de $1 \mu\text{F}$ cada, a fim de produzir uma capacidade total de $\frac{2}{3} \mu\text{F}$? resposta no final do livro

Q132 Calcule a energia armazenada na associação de capacitores indicada na figura abaixo.

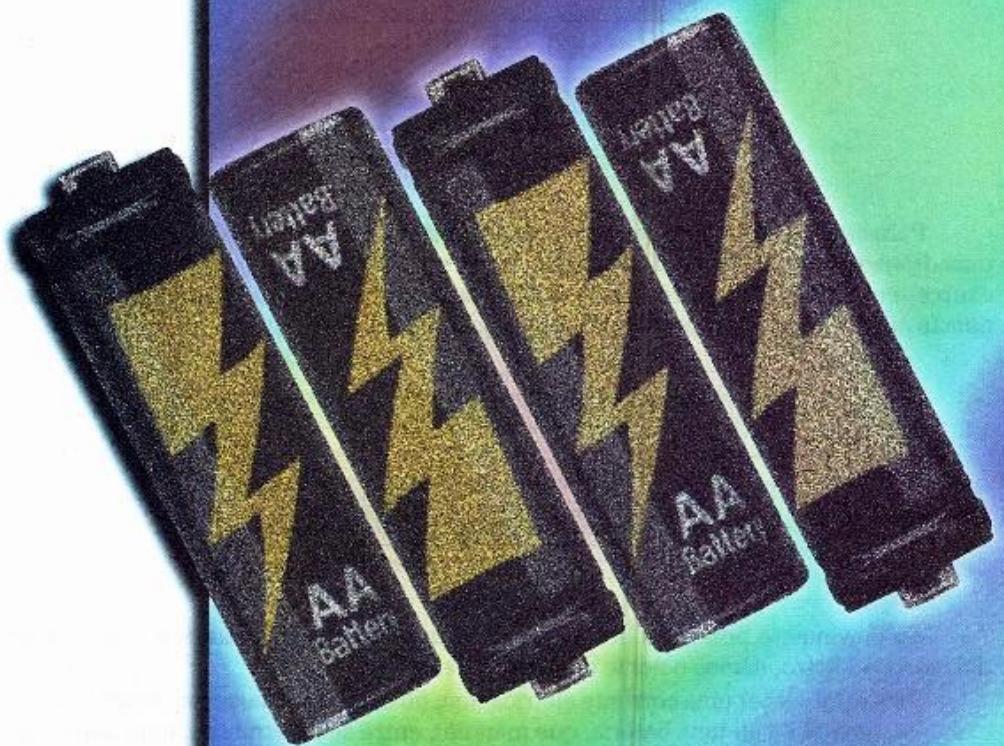
$$10^{-2} \text{ J}$$



$$U_{AB} = 100 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} C_1 &= 2,5 \mu\text{F} \\ C_2 &= 7,0 \mu\text{F} \\ C_3 &= 3,0 \mu\text{F} \end{aligned}$$

UNIDADE XI



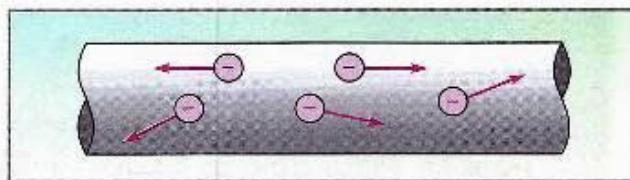
Eletrodinâmica

CAPÍTULO 30

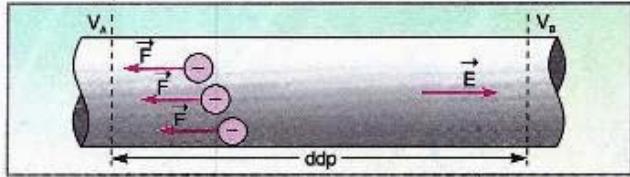
CORRENTE ELÉTRICA

O QUE É A CORRENTE ELÉTRICA

Consideremos o fio metálico da figura. Sendo um elemento condutor, esse fio apresenta uma grande quantidade de elétrons livres, que se movimentam de maneira desordenada no seu interior.



Para conseguir um movimento ordenado, estabelece-se entre dois pontos do condutor uma *diferença de potencial* (ddp), que cria no seu interior o campo elétrico \vec{E} . Esse campo exerce em cada elétron livre uma força \vec{F} , capaz de movimentar esse elétron no sentido oposto ao do campo elétrico, já que a carga q dos elétrons é negativa e $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$.



Ao movimento ordenado dos elétrons portadores de carga elétrica, devido à ação de um campo elétrico, damos o nome de *corrente elétrica*.

Para estabelecer uma corrente elétrica num fio condutor usa-se um *gerador*, como, por exemplo, uma pilha ou uma bateria, que mantém, entre seus terminais, uma ddp constante.

A origem da palavra *corrente* está ligada a uma analogia que os primeiros físicos faziam entre a eletricidade e a água. Eles imaginavam que a eletricidade era como a água, isto é, um fluido que escoava como a água corrente. Os fios eram os encanamentos por onde passava essa corrente de eletricidade.

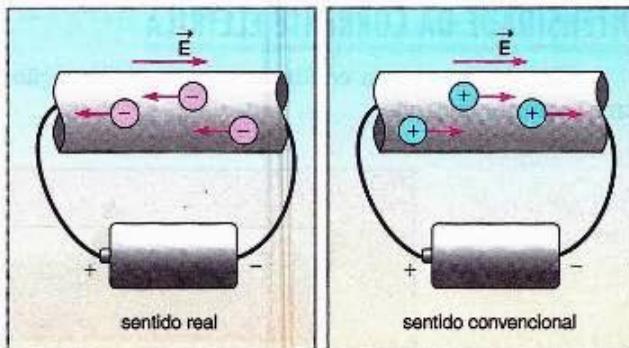
SENTIDO DA CORRENTE ELÉTRICA

Nos condutores sólidos, o sentido da corrente elétrica é o sentido do movimento dos elétrons no seu interior. Esse é o *sentido real* da corrente elétrica.

No estudo da eletricidade, entretanto, adota-se um *sentido convencional*, que é o do movimento das cargas positivas, e que corresponde ao sentido do campo elétrico \vec{E} no interior do condutor.

Assim, sempre que tratarmos de corrente elétrica, estaremos adotando o sentido convencional.

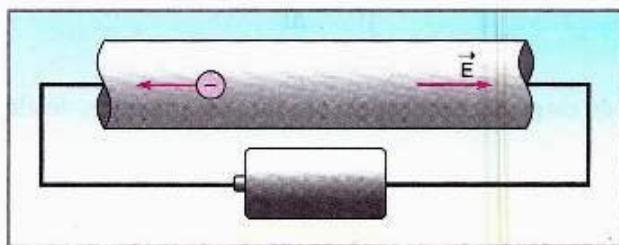
O sentido da corrente elétrica é o do deslocamento imaginário das cargas positivas do condutor, isto é, o mesmo do campo elétrico no seu interior.



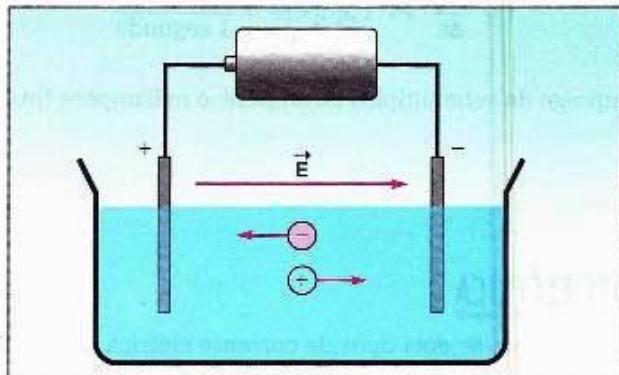
NATUREZA DA CORRENTE ELÉTRICA

Quanto à natureza, a corrente elétrica pode ser classificada em *eletrônica* e *iônica*.

Corrente eletrônica é aquela constituída pelo deslocamento dos elétrons livres. Ocorre, principalmente, nos condutores metálicos.



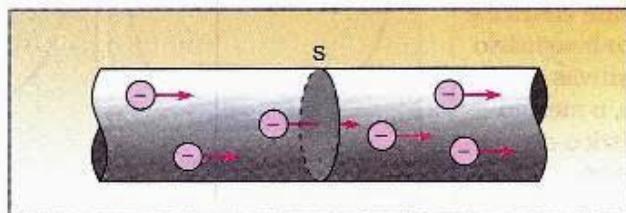
Corrente iônica é aquela constituída pelo deslocamento dos íons positivos e negativos, movendo-se simultaneamente em sentidos opostos. Ocorre nas soluções eletrolíticas — soluções de ácidos, sais ou bases — e nos gases ionizados — lâmpadas fluorescentes.



Nas soluções eletrolíticas, as partículas portadoras de carga são os íons, que se movimentam sob a ação da força do campo elétrico. Os íons positivos se movimentam no mesmo sentido do campo elétrico E , enquanto os negativos se movimentam no sentido oposto.

INTENSIDADE DA CORRENTE ELÉTRICA

Consideremos um condutor metálico de secção transversal S , sendo percorrido por uma corrente elétrica.



Suponha que, num intervalo de tempo Δt , pela secção transversal S , passe uma quantidade de carga ΔQ , em módulo.

Define-se como intensidade da corrente elétrica i a relação:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

A quantidade de carga ΔQ é dada pelo produto do número n de elétrons pela carga do elétron.

$$\Delta Q = ne$$

Em homenagem ao físico e matemático francês André Marie Ampère (1775-1836), a unidade de corrente elétrica no SI é o ampère (A).

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \rightarrow 1 \text{ ampère} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ segundo}}$$

É comum o emprego de submúltiplos do ampère: o miliampère (mA) e o micro-ampère (μA):

- ✓ $1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$
- ✓ $1 \mu \text{A} = 10^{-6} \text{ A}$

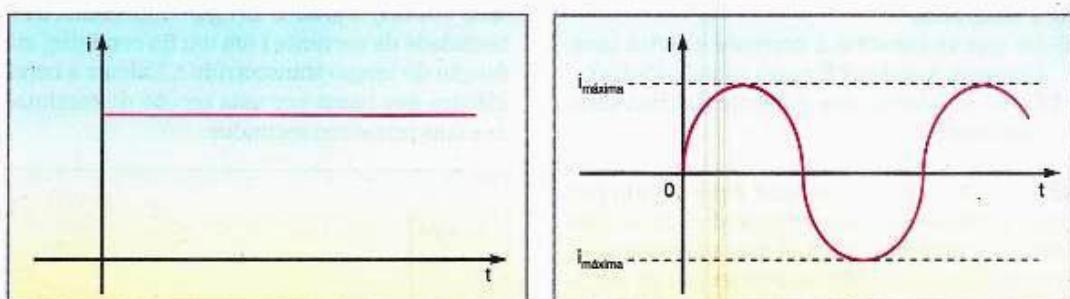
TIPOS DE CORRENTE ELÉTRICA

Comumente consideram-se dois tipos de corrente elétrica: a *contínua* (CC) e a *alternada* (CA).

Corrente contínua é aquela cujo sentido se mantém constante.

Quando, além do sentido, a intensidade também se mantém constante, a corrente é chamada *corrente contínua constante*. É o que ocorre, por exemplo, nas correntes estabelecidas por uma bateria de automóvel e por uma pilha.

Corrente alternada é aquela cuja intensidade e cujo sentido variam periodicamente. Esse é o caso das correntes utilizadas em residências, que são fornecidas pelas usinas hidrelétricas, em que temos uma corrente alternada de freqüência 60 ciclos por segundo. Suas representações gráficas são:

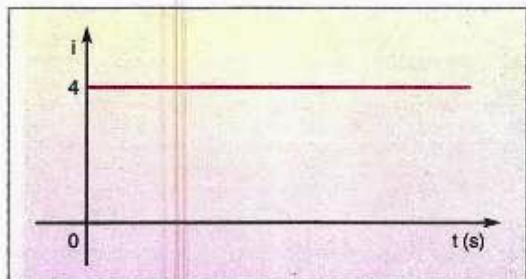


APLICAÇÃO

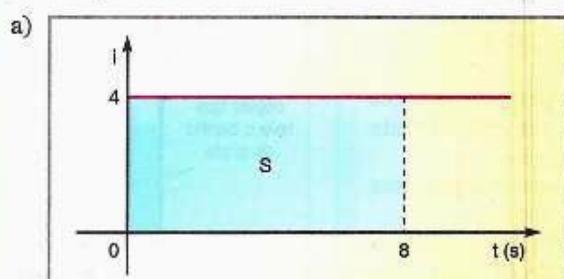
A1

A intensidade da corrente elétrica em um condutor metálico em função do tempo é fornecida pelo gráfico da figura. Sendo a carga elementar $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, determine:

- a) a carga elétrica que atravessa uma secção do condutor em 8 s.
- b) o número de elétrons que atravessa uma secção do condutor durante esse mesmo tempo



Resolução:



$$S \stackrel{N}{=} \Delta Q$$

A área S da figura representa a quantidade de carga que percorre o condutor em 8 s. Logo:

$$\Delta Q = i \cdot \Delta t \rightarrow \Delta Q = 4 \cdot 8 \rightarrow \Delta Q = 32 \text{ C}$$

$$\text{b)} \Delta Q = n \cdot e \rightarrow 32 = n \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \rightarrow n = 2 \cdot 10^{20} \text{ elétrons}$$

Respostas: a) 32 C; b) $2 \cdot 10^{20}$ elétrons

QUESTÕES

Q1 Responda:

- De que se constitui a corrente elétrica num condutor metálico? E numa solução iônica?
- Como se obtém uma corrente elétrica num condutor?

Q2 (UFSC) Um fio condutor é percorrido por uma corrente elétrica constante de 0,25 A. Calcule, em coulombs, a carga que atravessa uma secção reta do condutor, num intervalo de 160 s.

40 C

Q3 Num relâmpago, em 10^{-4} s descem, em média, $2 \cdot 10^{16}$ elétrons da nuvem para a terra. Ache a intensidade da corrente elétrica devida a esse movimento de cargas.



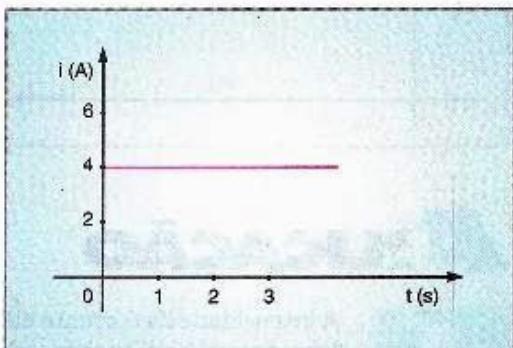
Considerando $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C. $3.2 \cdot 10^4$ A

Q4 (PUC-SP) Uma lâmpada permanece acesa durante 1 h, sendo percorrida por uma corrente elétrica de intensidade igual a 0,5 A.

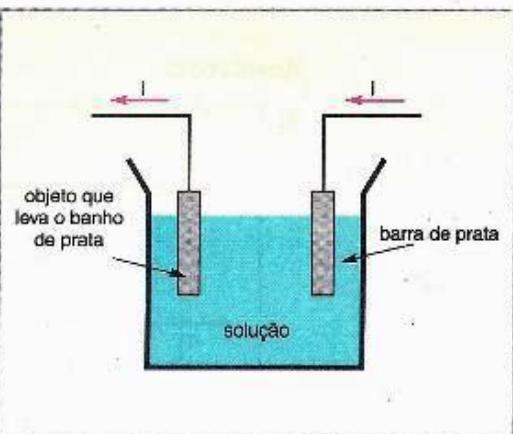
- Qual a carga elétrica que passou por uma secção de seu filamento? 1800 C
- Quantos elétrons passaram? $1.125 \cdot 10^{19}$ elétrons
(Dado: carga do elétron = $-1,6 \cdot 10^{-19}$ C.)

Q5 Uma bateria de automóvel, completamente carregada, libera $1,3 \cdot 10^6$ C de carga. Determine, aproximadamente, o tempo em horas que uma lâmpada, ligada nessa bateria, ficará acesa, sabendo que necessita de uma corrente constante de 2,0 A para ficar em regime normal de funcionamento. ≈ 18 h

Q6 (UFRS) O gráfico da figura representa a intensidade de corrente i em um fio condutor, em função do tempo transcorrido t . Calcule a carga elétrica que passa por uma secção do condutor nos dois primeiros segundos. 8 C



Q7 (Unicamp-SP) A figura abaixo mostra como se pode dar um banho de prata em objetos como, por exemplo, talheres. O dispositivo consiste de uma barra de prata e do objeto que se quer banhar imersos em uma solução condutora de eletricidade. Considere que uma corrente de 6,0 A passa pelo circuito e que cada coulomb de carga transporta aproximadamente 1,1 mg de prata.



- Calcule a carga que passa nos eletrodos em uma hora. 21600 C
- Determine quantos gramas de prata são depositados sobre o objeto da figura em um banho de 20 min. 7,92 g

VOCÊ SABIA?

A PROPAGAÇÃO DA CORRENTE ELÉTRICA

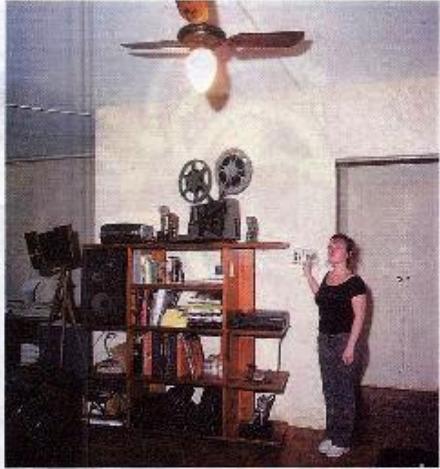
Quando apertamos o interruptor de luz de uma casa, instantaneamente a luz se acende. Sabe por que isso ocorre?

Já vimos que a corrente elétrica consiste no movimento dos elétrons ao longo de um fio condutor, desde os pontos de menor potencial para os de maior potencial.

Como as ondas eletromagnéticas se propagam com a velocidade da luz (300 000 km/s), poderíamos pensar que os elétrons se movimentam no fio condutor com essa velocidade.

Mas os elétrons se movimentam no fio com velocidade de alguns centímetros por segundo. Ou seja, eles se movem bem devagar se compararmos sua velocidade com a velocidade das ondas eletromagnéticas.

A luz se acende rapidamente porque ao apertarmos o interruptor surge uma ddp nos extremos do fio condutor, fazendo com que elétrons livres do metal entrem, de uma única vez, em movimento. Desse modo, em todos os pontos do fio condutor surge corrente no mesmo instante, embora cada elétron se move bem devagar.



Sérgio Della Jr/The Next

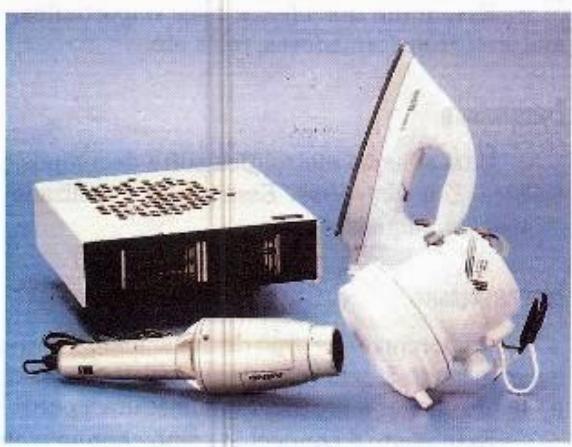
EFEITOS DA CORRENTE ELÉTRICA

Ao percorrer um condutor, a corrente elétrica pode produzir os seguintes efeitos:

EFEITO TÉRMICO OU EFEITO JOULE

Os constantes choques que os elétrons livres sofrem durante o seu movimento no interior do condutor fazem com que a maior parte da energia cinética desses átomos se transforme em calor, provocando um aumento na temperatura do condutor.

O fenômeno do aquecimento de um condutor, devido à passagem da corrente elétrica, é chamado de *efeito térmico ou efeito Joule*. Esse efeito é a base de funcionamento de vários aparelhos — chuveiro elétrico, secador de cabelos, aquecedor de ambiente, ferro elétrico etc.

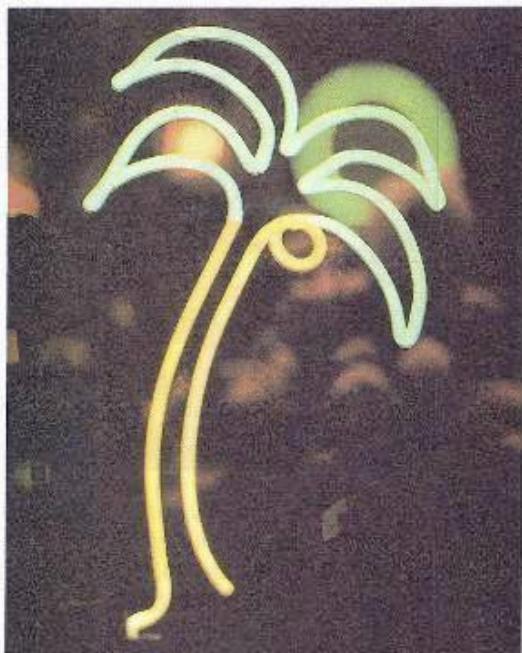


Sérgio Della Jr/The Next

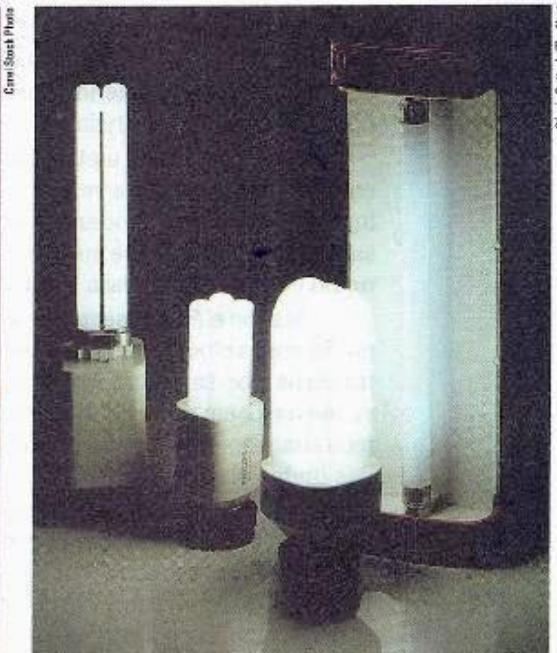
EFEITO LUMINOSO

Em determinadas condições, a passagem da corrente elétrica através de um gás rarefeito faz com que ele emita luz.

As lâmpadas fluorescentes e os anúncios luminosos são aplicações desse efeito. Neles há a transformação *direta* de energia elétrica em energia luminosa.



Lâmpadas de néon.



Lâmpadas fluorescentes.

EFEITO MAGNÉTICO

Um condutor percorrido por uma corrente elétrica cria um campo magnético na região próxima a ele.

Esse é um dos efeitos mais importantes, constituindo a base do funcionamento dos motores, transformadores, relés etc.

EFEITO QUÍMICO

Uma solução eletrolítica sofre decomposição quando é atravessada por uma corrente elétrica. É a *eletrolise*. Esse efeito é utilizado, por exemplo, no revestimento de metais: cromagem, niquelização etc.

EFEITO FISIOLÓGICO

Ao percorrer o corpo de um animal, a corrente elétrica provoca a contração dos músculos, causando a sensação de formigamento e dor, proporcional à intensidade da corrente, podendo chegar a provocar queimaduras, perda de consciência e parada cardíaca.

Esse efeito é conhecido como *choque elétrico*.

ELEMENTOS DE UM CIRCUITO ELÉTRICO

De uma maneira geral, denomina-se *círculo elétrico* ao conjunto de caminhos que permitem a passagem da corrente elétrica, no qual aparecem outros dispositivos elétricos ligados a um gerador.

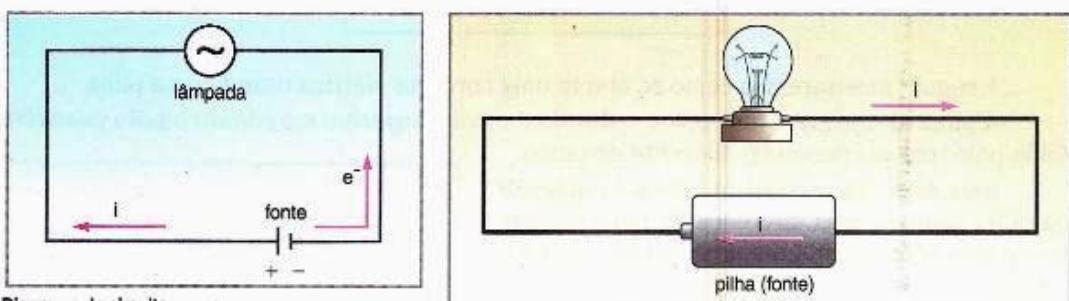


Diagrama de circuito.

Quando o caminho a seguir pela corrente é único, ele é chamado *círculo simples*.

Num círculo simples, todos os seus pontos são percorridos pela mesma intensidade de corrente.

Para a existência da corrente elétrica são necessários: uma fonte de energia elétrica, um condutor em circuito fechado e um elemento para utilizar a energia da fonte.

A seguir, vamos descrever alguns elementos que compõem um circuito elétrico.

✓ Gerador elétrico

É um dispositivo capaz de transformar em energia elétrica outra modalidade de energia.

O gerador não gera ou cria cargas elétricas. Sua função é fornecer energia às cargas elétricas que o atravessam. Industrialmente, os geradores mais comuns são os químicos e os mecânicos.

Os geradores químicos transformam energia química em energia elétrica. Exemplos: pilha e bateria.

Os geradores mecânicos transformam energia mecânica em elétrica. Exemplo: dinamo e alternador de motor de automóvel.

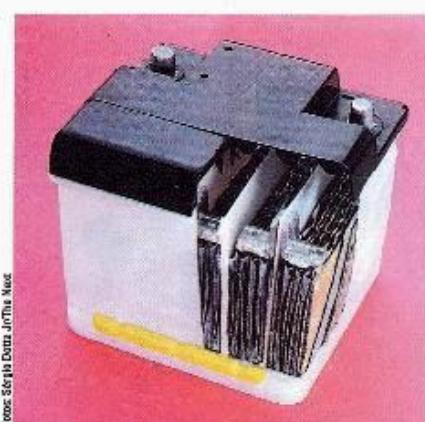
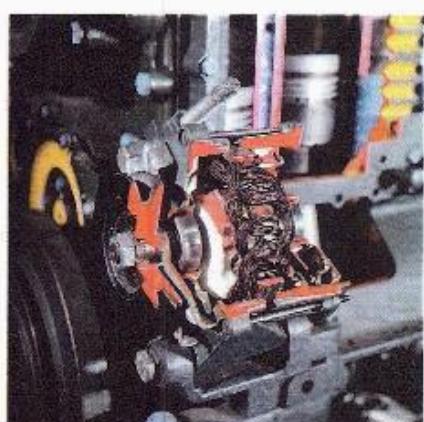
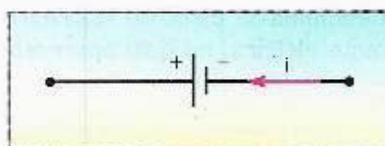


Foto: Estevão Dutra Jr/Thaísa Moraes
As placas de chumbo de uma bateria, imersas numa solução de ácido sulfúrico, transformam energia química em elétrica.



O alternador transforma a energia mecânica da rotação do motor do automóvel em energia elétrica.

A representação desses geradores no circuito é:



A seguir, mostraremos como se obtém uma corrente elétrica usando uma pilha.

A pilha elétrica tem dois pólos: o *ânode* é o *pólo negativo* e o *cátodo* o *pólo positivo*. Cada polo tem um potencial diferente do outro.

Uma série de reações químicas no interior da pilha mantém essa diferença de potencial entre os dois pólos. Quando unimos ambos os pólos com um condutor, os elétrons, por terem carga negativa, tendem a se mover para as zonas em que o potencial elétrico é maior. Assim, unindo os pólos com um condutor, os elétrons passam através deste, do ânode ao cátodo, estabelecendo-se uma corrente elétrica.

Embora os elétrons circulem desde o ânode até o cátodo, historicamente se estabeleceu que a corrente elétrica circula do polo positivo ao negativo.

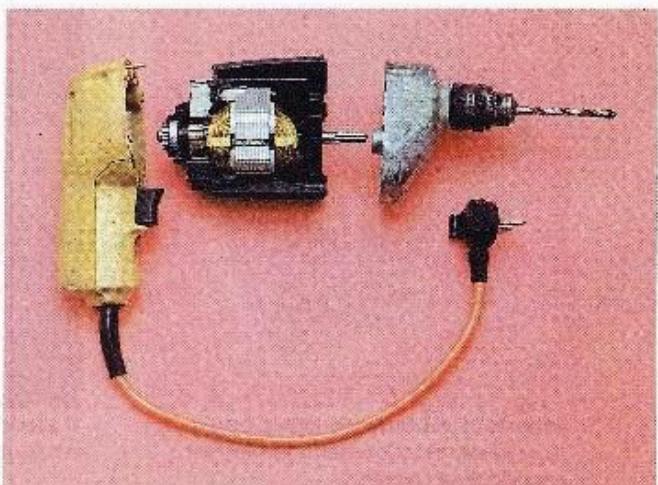
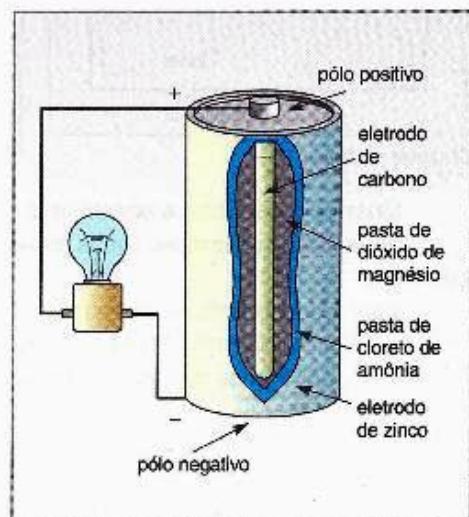
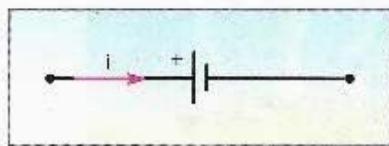
Isso ocorreu devido ao desconhecimento que se tinha sobre a natureza da corrente. Apesar de incorreto, esse critério é mantido ainda hoje.

✓ Receptor elétrico

É um dispositivo que transforma energia elétrica em outra modalidade de energia – não exclusivamente térmica.

O principal receptor é o motor elétrico, que transforma energia elétrica em mecânica, além da parcela de energia dissipada sob a forma de calor.

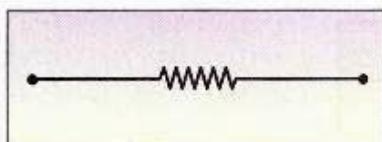
Veja a representação no circuito:



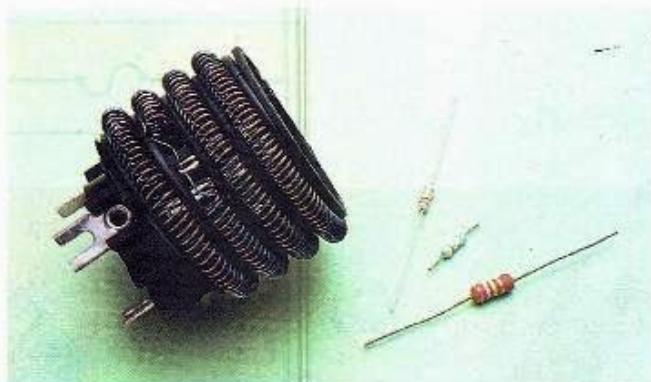
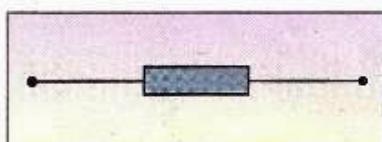
✓ Resistor elétrico

É um dispositivo que transforma toda a energia elétrica consumida *integralmente* em calor. Como exemplo, podemos citar os aquecedores, o ferro elétrico, o chuveiro elétrico, a lâmpada comum e os fios condutores em geral.

Representação no circuito:



ou

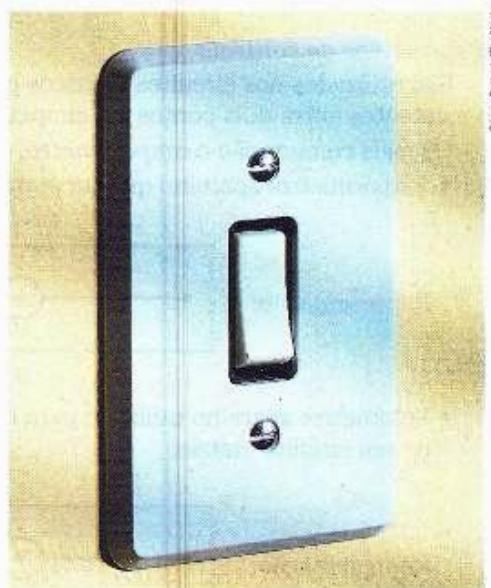
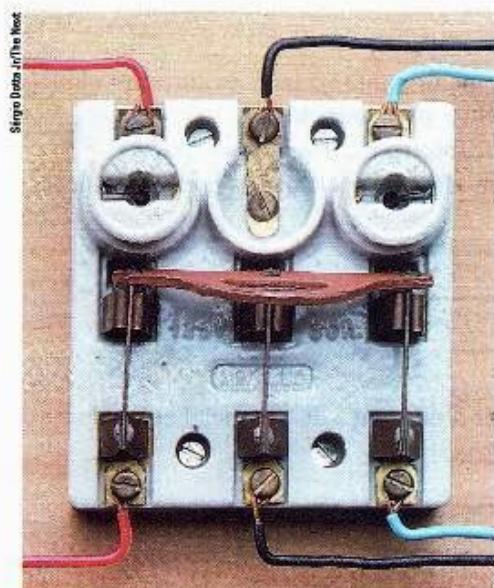
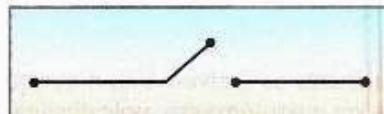


Resistor metálico de um chuveiro e resistores de carbono.

✓ Dispositivos de manobra

São elementos que servem para acionar ou desligar um circuito elétrico (como as chaves e os interruptores).

Representação no circuito:



✓ Dispositivos de segurança

São dispositivos que, ao serem atravessados por uma corrente de intensidade maior que a prevista, interrompem a passagem da corrente elétrica, preservando da destruição os demais elementos do circuito. Os mais comuns são os fusíveis e os disjuntores.

Representação no circuito:

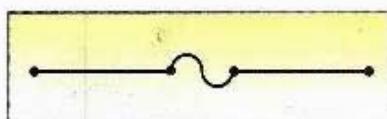
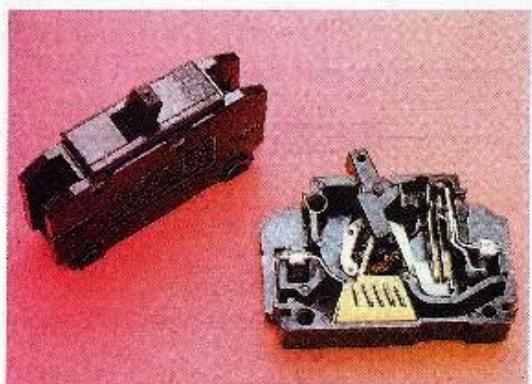


Foto: Mariana Góes



Os fusíveis ao se fundirem por efeito Joule, precisam ser trocados.



Os disjuntores são chaves que, através de efeito magnético, desligam-se automaticamente.

Os disjuntores que substituem os fusíveis têm a vantagem de não se queimarem em caso de sobrecarga de energia, ou curto-circuito, pois desligam o circuito automaticamente.

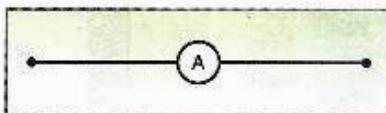
✓ Dispositivos de controle

São utilizados nos circuitos elétricos para medir a intensidade da corrente elétrica e a ddp existentes entre dois pontos ou, simplesmente, para detectá-las.

Os mais comuns são o amperímetro, o voltímetro e o galvanômetro.

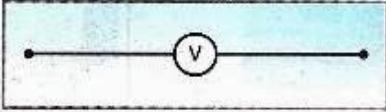
- Amperímetro: aparelho que serve para medir a intensidade da corrente elétrica.

Representação:



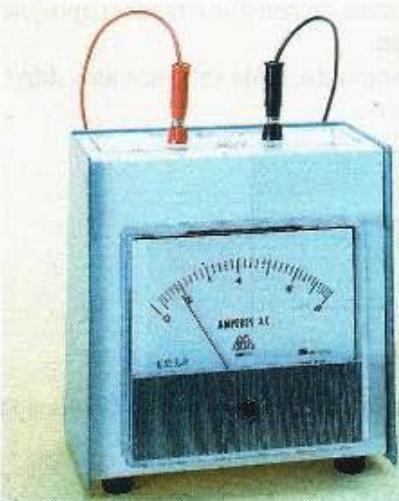
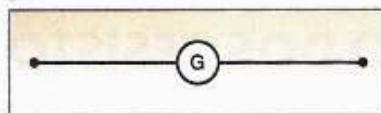
- Voltímetro: aparelho utilizado para medir a diferença de potencial entre dois pontos de um circuito elétrico.

Representação:

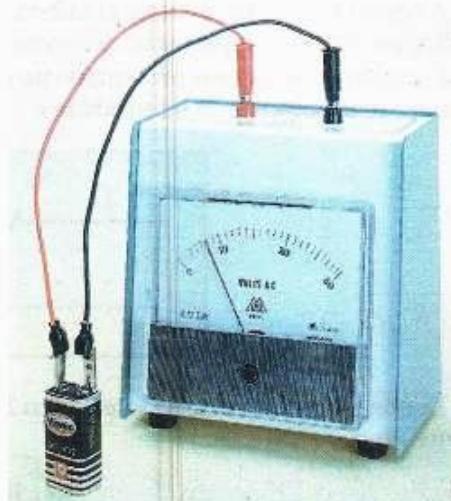


- Galvanômetro: aparelho utilizado para indicar a passagem da corrente ou a existência de uma ddp.

Representação:



Amperímetro.



Voltímetro.

QUESTÕES

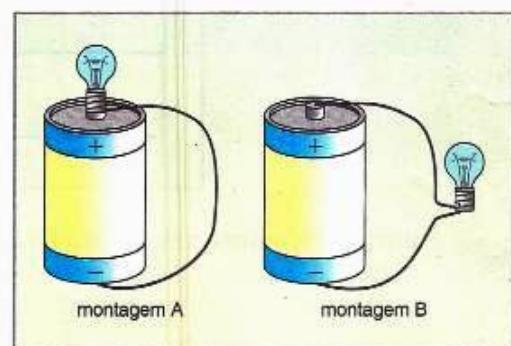
Q8 Descreva o efeito Joule. Dê exemplos de sua aplicação em dispositivos utilizados numa residência. *resposta no final do livro*

Q9 Como poderia ser utilizada a corrente elétrica para atendimento numa parada cardíaca? *resposta no final do livro*

Q10 Explique a função e faça a representação esquemática dos seguintes dispositivos de um circuito elétrico: *respostas no final do livro*

- bateria
- motor elétrico
- resistor
- chave
- fusível
- amperímetro e voltímetro

Q11 (EFOA-MG) As figuras mostram duas tentativas de se acender uma lâmpada de lanterna,



- Na montagem A, a lâmpada se acenderá ou não? Justifique a resposta. *não*
- Na montagem B, a lâmpada se acenderá ou não? Justifique a resposta. *não*

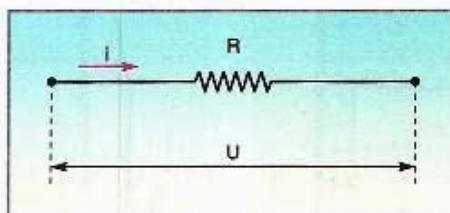
CAPÍTULO 31

ESTUDO DOS RESISTORES

RESISTÊNCIA ELÉTRICA

A resistência elétrica é uma grandeza característica do resistor e mede a oposição que seus átomos oferecem à passagem da corrente elétrica.

Considere o resistor representado no trecho do circuito, onde se aplica uma ddp U e se estabelece uma corrente de intensidade i .



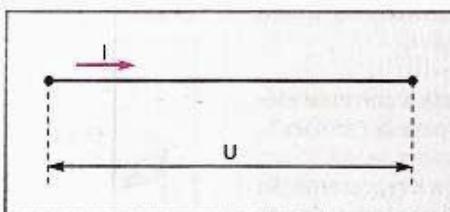
Define-se como *resistência elétrica* R do resistor o quociente da ddp U aplicada pela corrente i que o atravessa.

$$R = \frac{U}{i}$$

Portanto, quanto maior a resistência elétrica R de um resistor, menor é a corrente i que o atravessa.

Os fios metálicos que fazem parte de um circuito elétrico também apresentam resistência elétrica. Porém ela é tão pequena que, comparada com a dos demais resistores do circuito, pode ser considerada desprezível.

A representação desses fios no circuito é uma linha contínua.



A unidade de resistência elétrica no SI é o *ohm* (Ω).

$$R = \frac{U}{i} \rightarrow 1 \text{ ohm} = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}}$$

1 ohm é a resistência que um resistor, submetido à ddp de 1 V, impõe à passagem de uma corrente de 1 A.

Os múltiplos e submúltiplos usuais são:

NOME	SÍMBOLO	VALOR
quiloohm	$k\Omega$	$10^3 \Omega$
megaohm	$M\Omega$	$10^6 \Omega$
microohm	$\mu\Omega$	$10^{-6} \Omega$

LEIS DE OHM

1ª LEI DE OHM

Estudando a corrente elétrica que percorre um resistor, o físico e matemático alemão Georg Simon Ohm (1787-1854) determinou, experimentalmente, que a resistência R é constante para determinados tipos de condutores mantidos em temperatura ambiente.

Na experiência, tendo aplicado sucessivamente as tensões $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$ entre os terminais de um mesmo resistor e obtido, respectivamente, as correntes $i_1, i_2, i_3, \dots, i_n$, Ohm verificou que esses valores guardavam entre si uma relação constante:

$$\frac{U_1}{i_1} = \frac{U_2}{i_2} = \frac{U_3}{i_3} = \dots = \frac{U_n}{i_n} \text{ constante} = \frac{U}{i} = R$$

Daí:

$$R = \frac{U}{i} \quad \textcircled{1}$$

$$U = Ri \quad \textcircled{2}$$

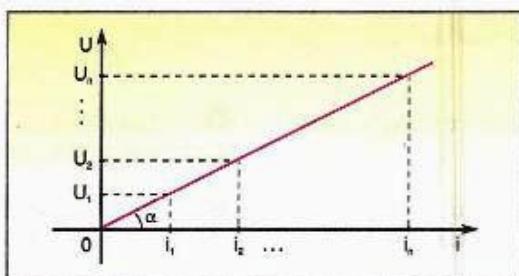
As expressões $\textcircled{1}$ e $\textcircled{2}$ correspondem à 1ª lei de Ohm, que pode ser enunciada assim:

Num resistor, mantido a uma temperatura constante, a intensidade da corrente elétrica é diretamente proporcional à ddp que a originou.

Essa lei de Ohm é válida para alguns resistores, denominados *resistores ôhmicos*.

O gráfico da ddp aplicada num elemento em função da corrente é chamado *curva característica do elemento*.

Para os resistores ôhmicos, a curva característica é uma *reta* que passa pela origem. Representação gráfica de um resistor ôhmico:



A declividade dessa reta é numericamente igual à resistência elétrica.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U_1}{i_1} = \frac{U_2}{i_2} = \dots = \frac{U_n}{i_n} = R \rightarrow \operatorname{tg} \alpha = R$$

Se o gráfico da ddp em função da corrente não é uma reta, o resistor é denominado **não-ôhmico**.

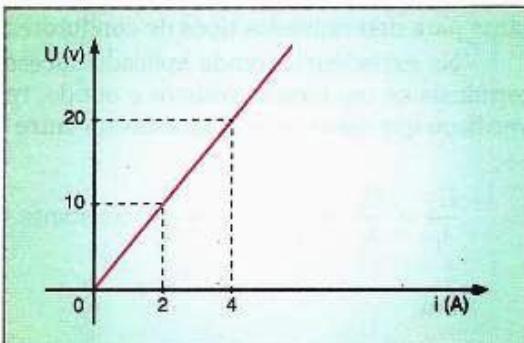
Nesse caso, a resistência é variável. Para pequenas variações no ddp, quase todos os resistores obedecem à lei de Ohm.

APLICAÇÃO

A2

O gráfico representa a curva característica de um resistor. Determine:

- a resistência elétrica desse resistor
- a ddp aplicada ao resistor quando percorrido por uma corrente de 10 A



Resolução:

- Sendo o gráfico uma reta passando pela origem, o resistor obedece à lei de Ohm, logo:

$$R = \frac{U}{i} \rightarrow R = \frac{10}{2} = \frac{20}{4} \rightarrow R = 5 \Omega$$

- Como o resistor é ôhmico:

$$R = 5 \Omega$$

$$i = 10 \text{ A} \rightarrow U = Ri \rightarrow U = 5 \cdot 10 \rightarrow U = 50 \text{ V}$$

Respostas: a) 5Ω ; b) 50 V

QUESTÕES

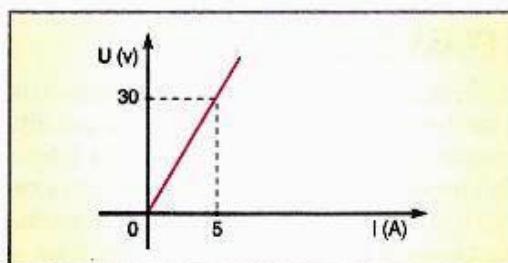
Q12 Qual é a diferença entre resistor e resistência?

Q13 Qual ddp se deve aplicar a um resistor ôhmico de resistência 200Ω , para se obter uma corrente de 100 mA ? 20 V

Q14 Um chuveiro tem resistência de 10Ω . Qual é a corrente, quando ligado em 220 V ? 22 A

Q15 Uma serpentina de aquecimento, ligada a uma linha de 110 V , consome 5 A . Determine a resistência dessa serpentina. 22Ω

- Q16** A curva característica de um resistor ôhmico está representada no gráfico. Determine:



- a) a resistência do resistor 6Ω
 b) a ddp no resistor quando percorrido por uma corrente de $1,5\text{ A}$ 9 V

- Q17** (FMTM-MG) Um resistor, quando submetido a uma tensão de 10 V , é percorrido por uma corrente elétrica de $0,5\text{ A}$. O mesmo resistor, quando submetido a uma tensão de 50 V , é percorrido por uma corrente elétrica de $2,0\text{ A}$.

- a) Qual o valor da resistência desse resistor em cada caso? 20Ω ; 25Ω
 b) Trata-se de um resistor ôhmico? Justifique.

não

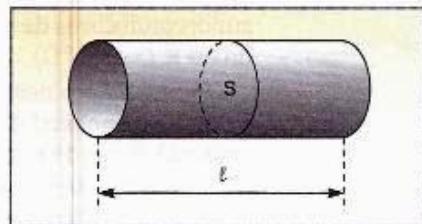
2º LEI DE OHM

Ohm verificou experimentalmente que a resistência de um resistor depende tanto do material que o constitui e das suas dimensões como da sua temperatura.

Consideremos o resistor da figura de comprimento ℓ e secção transversal de área S .

A uma dada temperatura, Ohm verificou que a resistência R do resistor é:

- ✓ diretamente proporcional ao seu comprimento — Aumentando-se o comprimento do resistor, aumenta também sua resistência, pois maior será a oposição do resistor à passagem da corrente.
- ✓ inversamente proporcional à área de sua secção — Aumentando-se a espessura do resistor, diminui sua resistência.



Levando-se em conta esses fatores, pode-se escrever a 2ª lei de Ohm:

$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

O coeficiente de proporcionalidade ρ ($\text{r}\delta$) é denominado *resistividade elétrica* do material que constitui o resistor.

A resistividade é uma característica do material e corresponde à resistência de um resistor de comprimento unitário e de secção unitária.

Dessa forma:

$$R = \rho$$

Portanto, quanto menor a resistividade de um material, menor a sua resistência elétrica. A unidade de resistividade no SI é $\Omega \cdot \text{m}$.

A resistividade de um material varia com a temperatura.

Nos corpos metálicos a resistividade decresce com a diminuição da temperatura. Determinados metais a temperaturas próximas do zero absoluto apresentam resistividade quase nula. É o fenômeno da *supercondutividade*. Nesse caso, as substâncias são chamadas de *supercondutores*.

A supercondutividade foi verificada no mercúrio, no chumbo, nos óxidos de ítrio, de bário e de cobre.

VOCÊ SABIA?

SUPERCONDUTORES EVITAM PERDA DE ENERGIA

O combate ao desperdício de energia não é mais apenas uma reivindicação de ambientalistas. A bandeira também está sendo levantada por aqueles que trabalham no setor de comunicações, principalmente no campo da telefonia celular. Evitando a dissipação de energia na condução dos pulsos elétricos, evitam-se também as perdas acústicas. O uso de supercondutores de alta temperatura tem se mostrado eficiente na economia energética. A tecnologia já está sendo comercializada nos Estados Unidos e no Japão.

Descobertos no final da década de 1980, os supercondutores de alta temperatura são cabos feitos à base de óxidos de cobre que operam a temperaturas inferiores a 120 K (-153°C) — consideradas altas para o padrão desse material. O resfriamento dos cabos é feito com nitrogênio líquido, uma tecnologia bem mais barata que a usada para resfriar os chamados supercondutores de baixa temperatura, que funcionam a temperaturas abaixo de 30 K (-243°C).

Segundo o pesquisador argentino Francisco de la Cruz, coordenador do Programa Nacional de Supercondutores do Centro Atômico de Bariloche (Argentina), o uso de supercondutores permite melhor sintonia, diminuindo o risco de que as ligações sejam incompletas ou que apresentem ruídos. "Eles aumentam a sensibilidade dos aparelhos de emissão e recepção de ondas, permitindo sintonizar com mais precisão em diferentes freqüências", diz De la Cruz.

No entanto, os supercondutores devem ser cobertos com um metal condutor para garantir o fluxo da corrente. "Os condutores metálicos asseguram a estabilidade do comportamento elétrico do cabo", afirma o pesquisador. O metal geralmente usado é a prata, pois além de ser um excelente condutor, não reage com os compostos de óxido de cobre, como os demais materiais. O grande problema do uso de supercondutores é o alto custo. Eles são em média 100 vezes mais caros que os cabos tradicionais, como os de alumínio.

Ciência Hoje, vol. 24, nº 142, setembro/98

APLICAÇÃO

A3

A resistividade do cobre a 20°C é $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$. Determine a resistência de um fio de cobre de 1 m de comprimento e $0,2 \text{ cm}^2$ de área de secção transversal nessa temperatura.

Resolução:

Dados: $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, $\ell = 1 \text{ m}$ e $S = 0,2 \text{ cm}^2 = 0,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.

$$R = \rho \frac{\ell}{S} \rightarrow R = 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{1}{0,2 \cdot 10^{-4}} \rightarrow R = 8,5 \cdot 10^{-4} \Omega$$

Resposta: $8,5 \cdot 10^{-4} \Omega$

QUESTÕES

Q 18 O que é resistividade?

Q 19 Considerando-se o comprimento, a área da secção transversal e a resistividade elétrica de um fio, podemos afirmar corretamente que sua resistência elétrica é diretamente proporcional:

- a) à sua resistividade elétrica e inversamente proporcional ao seu comprimento
- b) à sua resistividade elétrica e à sua área transversal
- c) ao seu comprimento e inversamente proporcional à sua área transversal
- d) ao inverso da resistividade elétrica e da área transversal

Quais afirmações são verdadeiras? c

Q 20 A resistência elétrica de um resistor varia com a temperatura? De que maneira? sim

Q 21 Um fio de ferro de 2 m de comprimento tem resistência de $5\ \Omega$. Sabendo que a resistividade elétrica do ferro é $10,0 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$, determine a área de sua secção transversal. $4 \cdot 10^{-8}\ m^2$

Q 22 A resistência elétrica de um fio de 300 m de comprimento e 0,3 cm de diâmetro é de $12\ \Omega$. Determine a resistência elétrica de um fio de mesmo material com diâmetro de 0,6 cm e 150 m de comprimento. $1,5\ \Omega$

Q 23 O filamento de tungstênio de uma lâmpada tem resistência de $40\ \Omega$ a $20^\circ C$. Sabendo que

sua secção transversal mede $0,12\ mm^2$ e que a resistividade vale $5,51\ \mu\Omega \cdot m$, determine o comprimento do filamento. $0,87\ m$

Q 24 (EFOA-MG) Dois pedaços de fios de cobre cilíndricos têm o mesmo comprimento. Um tem diâmetro 2 mm e resistência clérica R_2 , o outro tem diâmetro 3 mm e resistência elétrica R_3 .

- a) Qual o valor da razão R_2/R_3 ? $\frac{9}{4}$
- b) Nas instalações elétricas os fios mais grossos são utilizados para circuitos percorridos por correntes elétricas de maior intensidade. Qual a justificativa, sob o ponto de vista da segurança dessas instalações, desse procedimento? resposta no final do livro

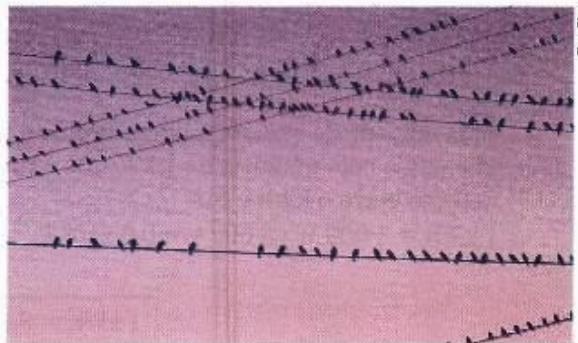
Q 25 (UCGO) A resistência elétrica de um resistor em forma de fio vale $80\ \Omega$. Sabendo que, ao cortar 2 m do mesmo, a resistência passa a valer $60\ \Omega$, determine o comprimento inicial desse fio. $8\ m$

Q 26 Nos terminais de um fio de comprimento 80 m e área de secção reta $0,5\ mm^2$ é aplicada uma ddp de 110 V. Sabendo que o fio é percorrido por uma corrente de intensidade 10 A, determine:

- a) a resistência do fio $11\ \Omega$
- b) a resistividade da substância de que é feito o fio $6,875 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot m$

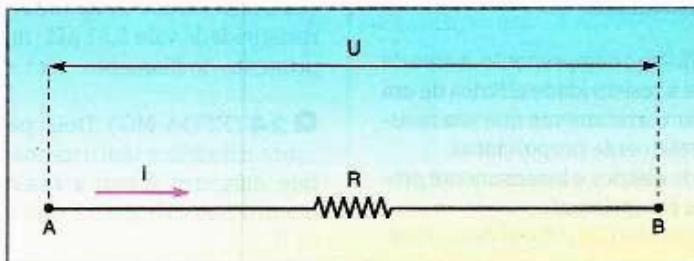
PESQUISE

- I) Por que o corpo humano é bom condutor e o ar seco é mau condutor de eletricidade?
- II) Dê algumas aplicações dos maus condutores elétricos.
- III) Por que um pássaro pousa em um fio elétrico e não leva "choque"?



POTÊNCIA ELÉTRICA DISSIPADA

Consideremos um resistor de resistência R , submetido à ddp U e percorrido por uma corrente i .



Sabemos, da Eletrostática, que o trabalho \mathfrak{E} para deslocar uma quantidade de carga ΔQ do ponto A para o ponto B é dado por:

$$\mathfrak{E} = \Delta Q \cdot (V_A - V_B) \rightarrow \mathfrak{E} = \Delta Q \cdot U$$

Dividindo-se ambos os membros pelo intervalo de tempo Δt decorrido para a carga ΔQ transferir-se de A para B , vem:

$$\frac{\mathfrak{E}}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \cdot U \rightarrow P = UI$$

Para os resistores ôhmicos, pode-se substituir a tensão U pelo seu valor Ri , dado pela 1^a lei de Ohm.

Então: $P = Ri^2$ ou $P = \frac{U^2}{R}$

O termo dissipar é usado no sentido de consumir; logo, a quantidade de energia elétrica consumida no resistor, durante certo intervalo de tempo Δt , vale:

$$\mathfrak{E} = P\Delta t$$

Uma unidade de energia muito utilizada é o quilowatt-hora (kWh). Um kWh é a quantidade de energia com potência de 1 kW, que é transformada no intervalo de 1 h.

Relação entre o kWh e o J

$$1 \text{ kWh} = 1\,000 \text{ W} \cdot 3\,600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

APLICAÇÃO

A4

Um ferro elétrico consome uma potência de 1 100 W quando ligado em 110 V. Determine:

- a intensidade da corrente utilizada pelo ferro elétrico
- a resistência do ferro elétrico
- a energia elétrica consumida pelo ferro elétrico em $\frac{1}{2}$ hora, em joules e quilowatts-hora

Resolução:

Dados: $P = 1\ 100\ W = 1,1\ kW$, $U = 110\ V$ e $\Delta t = \frac{1}{2}\ h = 1\ 800\ s$

a) $P = UI \rightarrow 1\ 100 = 110 \cdot i \rightarrow i = 10\ A$

b) $U = Ri \rightarrow 110 = R \cdot 10 \rightarrow R = 11\ \Omega$

c) $\mathcal{E} = P\Delta t \rightarrow \mathcal{E} = 1\ 100 \cdot 1\ 800 \rightarrow \mathcal{E} = 1,98 \cdot 10^6\ J$

Em kWh:

$$\mathcal{E} = 1,1\ kW \cdot \frac{1}{2}\ h \rightarrow \mathcal{E} = 0,55\ kWh$$

Respostas: a) 10 A; b) 11 Ω; c) $1,98 \cdot 10^6\ J$; 0,55 kWh

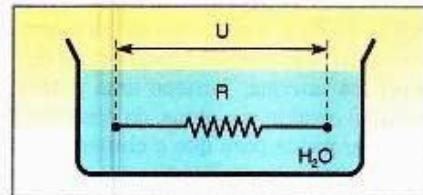
A5

Uma resistência de imersão de $4\ \Omega$ foi ligada a uma fonte de tensão de 110 V. Determine o tempo necessário para que ela aqueça 80 kg de água de $20\ ^\circ C$ para $70\ ^\circ C$.

(Dados: calor específico da água = 1 cal/g · $^\circ C$ e 1 cal = $4,2\ J$.)

Resolução:

Dados: $\begin{cases} R = 4\ \Omega \\ U = 110\ V \\ m = 80\ kg = 80\ 000\ g \\ c = 1\ cal/g \cdot {}^\circ C \\ t_f = 70\ {}^\circ C \\ t_i = 20\ {}^\circ C \end{cases}$



Cálculo da quantidade de calor:

$$Q = mc(t_f - t_i) \rightarrow Q = 80\ 000 \cdot 1(70 - 20) \rightarrow Q = 4 \cdot 10^6\ cal$$

Passando para joule:

$$Q = 4 \cdot 10^6 \cdot 4,2 = 16,8 \cdot 10^6\ J$$

Considerando que toda energia elétrica consumida pelo resistor é transformada em calor, temos:

$$\mathcal{E} = Q \rightarrow P\Delta t = Q \rightarrow \frac{U^2}{R} \cdot \Delta t = Q \rightarrow \frac{110^2}{4} \cdot \Delta t = 16,8 \cdot 10^6 \rightarrow \rightarrow \Delta t = 5,55 \cdot 10^3\ s$$

Resposta: $5,55 \cdot 10^3\ s$

QUESTÕES

Q 27 Os disjuntores têm a mesma função dos fusíveis: impedem que a corrente elétrica atinja valores muito altos que danifiquem o circuito em que estão inseridos. Para isso, interrompem a passagem da corrente. Da mesma forma que os fusíveis, os disjuntores são comercializados pelo valor da corrente máxima que permitem passar pelo circuito.

Suponha que um chuveiro elétrico de potência 5 500 W seja o único aparelho ligado num dos circuitos elétricos de uma casa, cuja tensão é de 220 V. Qual a amperagem mínima do disjuntor mais adequada para proteger esse circuito? **25 A**

Q 28 (UNESP) Um aparelho elétrico para ser ligado no acendedor de cigarros de automóveis, comercializado nas ruas de São Paulo, traz a instrução seguinte:

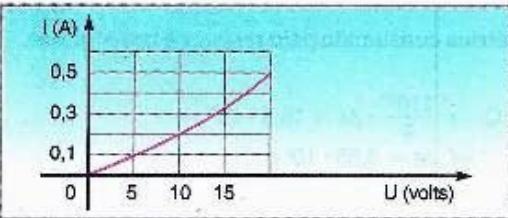
TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO: 12 V
POTÊNCIA CONSUMIDA: 180 W

Essa instrução foi escrita por um fabricante com bons conhecimentos práticos, mas desatento quanto ao significado e uso corretos das unidades do SI (Sistema Internacional) adotado no Brasil.

- Reescreva a instrução, usando corretamente as unidades de medida do SI. **TA: 12 V. PC: 180 W**
- Calcule a intensidade da corrente elétrica utilizada pelo aparelho. **15 A**

Q 29 (UFPB) Um chuveiro elétrico tem resistência de $24\ \Omega$ e, quando ligado à rede de fornecimento de energia, fornece uma potência de 2 kW. Qual o valor, em ohms, da resistência que deveria ser usada para que o chuveiro tivesse a sua potência triplicada? **8 \Omega**

Q 30 (UFPE) Uma lâmpada especial tem uma curva de corrente *versus* diferença de potencial conforme indicado na figura.



Qual a potência que será dissipada, em watts, na lâmpada quando ela estiver submetida à diferença de potencial de 10 V? **2 W**

Q 31 (UFPel-RS) Uma lâmpada usada normalmente em Pelotas, onde a voltagem (ddp) é 220 V, não queima quando utilizada em Rio Grande, em que a voltagem da rede elétrica é de 110 V. No entanto, na situação inversa, queima.

- O efeito Joule explica por que a lâmpada queima. O que é o efeito Joule?
- Compare, qualitativamente, a intensidade da corrente que circula na lâmpada usada normalmente em Rio Grande, com a intensidade da corrente nessa lâmpada quando usada em Pelotas.
- Explique, com base na análise anterior e no efeito Joule, por que a lâmpada queima.

respostas no final do livro

Q 32 (FGV-SP) Um televisor de potência 0,25 kW fica ligado 6 h por dia. Se o preço do quilowatt-hora de energia elétrica é R\$ 0,10, qual o custo mensal da energia elétrica consumida por esse televisor? **R\$ 4,50**

Q 33 (UFRN) Dona Leonor recebeu sua conta mensal de energia elétrica e achou que a quantia cobrada (R\$ 300,00) foi excessiva. Resolveu, então, obter uma estimativa do seu consumo mensal de energia elétrica. Para isso, listou, no quadro abaixo, todos os aparelhos elétricos de sua casa, com as respectivas potências fornecidas pelos fabricantes.

APARELHOS	QUANTIDADE	POTÊNCIA DE CADA APARELHO (WATT)
Geladeira	01	700
Televisão	01	250
Lâmpada	06	60

Vamos ajudar dona Leonor:

296,1 kWh

- Sabendo que dona Leonor vive sozinha, faça uma estimativa da energia elétrica por ela consumida em um mês, usando dados do quadro, bom senso e conhecimentos de Física.
- Sabendo que 1,0 kW · h custa R\$ 0,20, avalie se a quantia cobrada na conta de dona Leonor foi excessiva. **sim**

Q34 (Unicamp-SP) Um forno de microondas opera na voltagem de 120 V e corrente de 5,0 A. Colocam-se neste forno 200 mL de água à temperatura de 25 °C. Admita que toda a energia do forno é utilizada para aquecer a água. Para simplificar, adote 1,0 cal = 4,0 J.

- Qual a energia necessária para elevar a temperatura da água a 100 °C? $6 \cdot 10^4$ J
- Em quanto tempo essa temperatura será atingida? 100 s

Q35 (UCSal-BA) Por um chuveiro fluem 40 L de água durante 7 min. Sabendo-se que a temperatura da água sofre uma variação de 10 °C, determine a potência do chuveiro. Expresse sua resposta em 10^2 W. (Dados: calor específico da água = 1,0 cal/g · °C, sendo 1,0 cal = 4,2 J, densidade da água = 1,0 kg/L.) $40 \cdot 10^2$ W

Q36 (UnB-DF) Considere um resistor de resistência elétrica igual a $10\ \Omega$ conectado a uma

fonte com uma diferença de potencial de 100 V. O calor liberado pelo resistor é, então, utilizado para derreter um bloco de gelo de 100 g a 0 °C. Quantos segundos serão necessários para derretê-lo totalmente? Despreze a parte fracionária do resultado, considere o calor latente de fusão do gelo igual a 80 cal/g e utilize a aproximação: 1 cal = 4,2 J. 33,6 s

Q37 (ESAL-MG) Um aquecedor elétrico de 8 000 W/200 V apresenta um rendimento de 80%, fornecendo uma vazão de 0,08 L/s de água. Se o aquecedor for ligado a uma tomada de 110 V, qual a temperatura da água na saída do aquecedor, sabendo-se que a mesma entra no aparelho a uma temperatura de 22 °C? (Dados: 1 J = 0,24 cal, calor específico da água = 1 cal/g · °C, densidade da água = 1 kg/L.) 26,8 °C

Q38 Numa cafeteira elétrica, o resistor de aquecimento fica localizado no fundo. Por quê?

resposta no final do livro

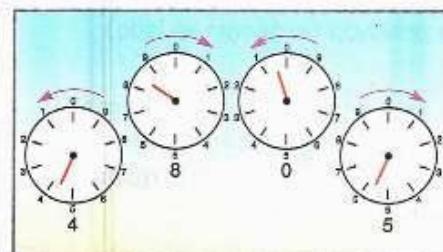
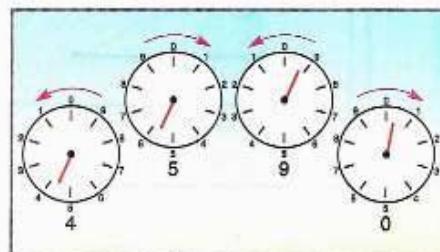
VOCÊ SABIA?

CONSUMO DE ELETRICIDADE

É importante aprender como se lê o medidor (relógio de luz) para acompanhar o consumo de eletricidade de sua casa.

O medidor é composto por quatro relógios. Você deve começar a leitura do primeiro deles, localizado à sua esquerda. Depois, leia os outros sempre da esquerda para a direita. O ponteiro do relógio gira no sentido do menor para o maior algarismo, conforme as setas indicativas abaixo. Anote sempre o último número ultrapassado pelo ponteiro.

Exemplo de leitura do medidor:



Leitura do mês anterior.

Leitura do mês atual.

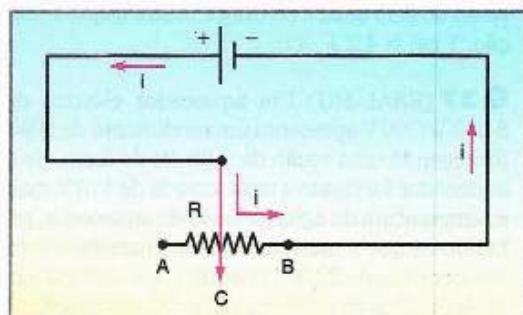
Subtraia a leitura do mês anterior da leitura do mês atual e você terá o consumo mensal em kWh:

$$4\,805 - 4\,590 = 215 \text{ kWh}$$

Fonte: *Manual de economia de energia elétrica no lar – CESP/CPFL/ELETROPAUL/COMGÁS, 1985*

REOSTATOS

São resistores de resistência elétrica variável, constituídos basicamente do resistor propriamente dito e de um dispositivo que permite variar o comprimento do resistor e, desse modo, controlar a intensidade da corrente ou da tensão no circuito.



Esquema de um reostato de cursor.

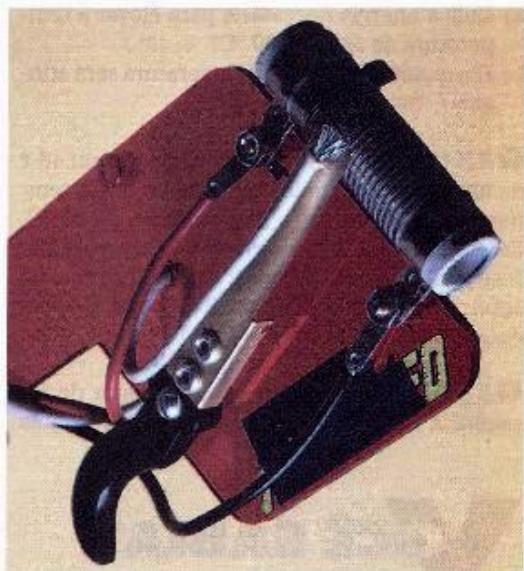
No esquema do reostato, quando o cursor *C* desliza sobre o resistor, no sentido de *A* para *B*, diminui o comprimento do resistor percorrido pela corrente e gradativamente aumenta a intensidade da corrente no circuito. Portanto, a resistência pode variar do seu valor total, cursor *C* em *A*, até um valor praticamente nulo, cursor em *B*.

Na foto acima, temos um reostato formado por um fio metálico enrolado num cilindro isolante de porcelana. Atuando como cursor, o gatilho desliza sobre o fio, variando seu comprimento e, desse modo, controlando a potência transferida para o carrinho de autorama.

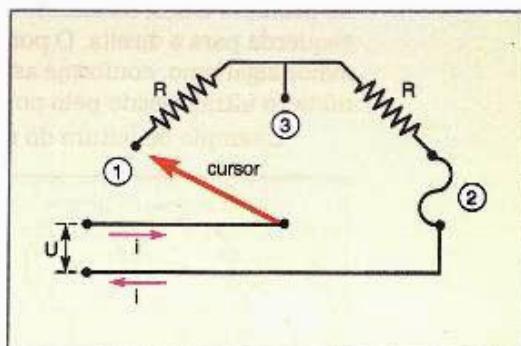
Nos chuveiros elétricos, a variação da resistência através de um *reostato de pontos*, possibilita um maior ou menor aquecimento da água.

Como num chuveiro a ddp é mantida constante, quanto menor a resistência, maior a potência (esquema ao lado).

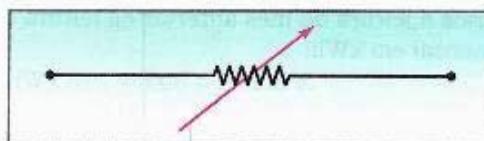
$$P = \frac{U^2}{R}, \text{ então} \quad \left\{ \begin{array}{l} 1: \text{morno} \\ 2: \text{frio} \\ 3: \text{quente} \end{array} \right.$$



Acelerador de carrinho de autorama.

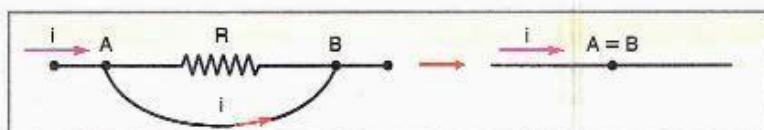


A representação de um reostato no circuito elétrico é feita através do símbolo:



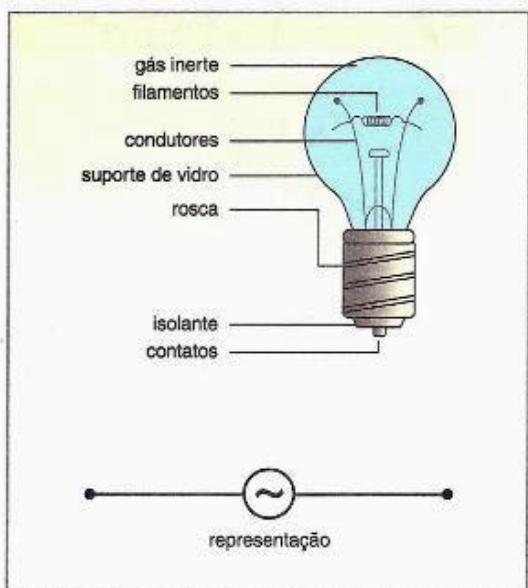
CURTO-CIRCUITO

Dizemos que dois pontos estão em curto-círcito quando eles forem ligados por um condutor de resistência desprezível. O total da corrente é desviado para esse condutor e o resistor, por não ter atuação, pode ser eliminado do trecho curto-circuitado.



LÂMPADA DE INCANDESCÊNCIA

Consta de um fio de tungstênio em forma de espiral, chamado *filamento*, colocado dentro de um bulbo de vidro para evitar a oxidação.



Filamento incandescente emitindo luz.

Dentro do bulbo coloca-se um gás inerte, criptônio ou argônio, que retarda a sublimação do filamento.

Quando atravessado por uma corrente, o filamento se aquece e, tornando-se incandescente, passa a emitir luz.

Na lâmpada vem gravada uma potência nominal e uma tensão nominal. Por exemplo: 60 W-110 V.

A *luminosidade* ou *brilho* da lâmpada relaciona-se com a tensão à qual for ligada:

- ✓ tensão nominal → brilho normal
- ✓ tensão menor que a nominal → brilho menor que o normal
- ✓ tensão maior que a nominal → brilho maior que o normal: a lâmpada pode queimar

QUESTÕES

Q39 Você verifica que o chuveiro elétrico de sua residência não está aquecendo suficientemente a água. Sabendo que a tensão U aplicada ao chuveiro é constante, o que você faria com a resistência do chuveiro para que houvesse maior aquecimento da água? Explique a função da chave seletora "inverno/verão" encontrada nos chuveiros elétricos. *resposta no final do livro*

Q40 (PUC-SP) Durante o inverno, o chuveiro elétrico da residência de um eletricista-aprendiz não esquenta a água o suficiente para proporcionar "aquele" banho. Ele resolve, então, duplicar o comprimento do fio metálico que compõe a resistência do chuveiro, pretendendo, com isso, que ela aqueça mais ainda a mesma quantidade de água.

- O eletricista-aprendiz consegue seu intento? Explique. Se você discorda da ideia dele, dê outra sugestão. *resposta no final do livro*
- Se a ddp nos terminais da resistência de $100\ \Omega$ do chuveiro for de 220 V , qual será a corrente que a percorrerá? Nesse caso, se o quilowatt-hora custar R\$ 0,10, que importância será gasta por semana, caso o chuveiro seja usado durante 1 h por dia? $\sim \text{R\$ 0,34}$

Q41 Somente uma parte da energia elétrica recebida por uma lâmpada é transformada em luz visível. O que ocorre com a parte restante?

É dissipada na forma de energia térmica.

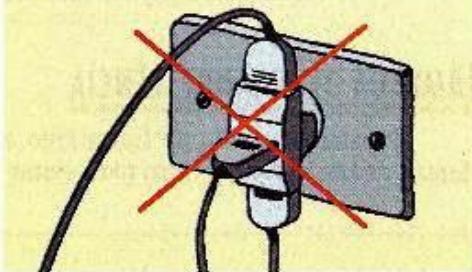
- Q42** Numa lâmpada comum encontram-se as indicações: $60\text{ W}, 120\text{ V}$. *resposta no final do livro*
- Qual o significado dessas especificações?
 - Qual a resistência do filamento? $240\ \Omega$
 - Se a lâmpada for ligada a uma tomada de 220 V , qual a potência que ela transfere por efeito Joule? O que ocorre nesse caso? $\sim 202\text{ W}$

Q43 (Unicamp-SP) Uma lâmpada incandescente ($100\text{ W}, 120\text{ V}$) tem um filamento de tungstênio de comprimento igual a $31,4\text{ cm}$ e diâmetro $4,0 \cdot 10^{-3}\text{ mm}$. A resistividade do tungstênio à temperatura ambiente é de $5,6 \cdot 10^{-8}\text{ ohm} \cdot \text{m}$.

- Qual a resistência do filamento quando ele está à temperatura ambiente? $14\ \Omega$
- Qual a resistência do filamento com a lâmpada acesa? $144\ \Omega$

Q44 Numa inspeção da parte elétrica de uma casa, o eletricista tirou algumas fotos e fez algumas ilustrações do que observou. Para cada fotografia ou ilustração exposta, mostre o que está errado e por que está errado. *respostas no final do livro*

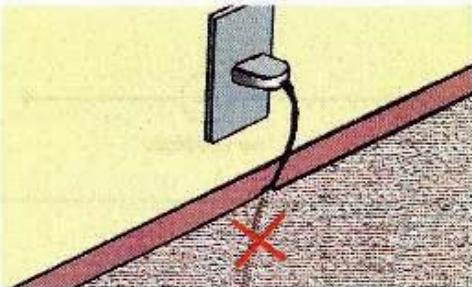
a)



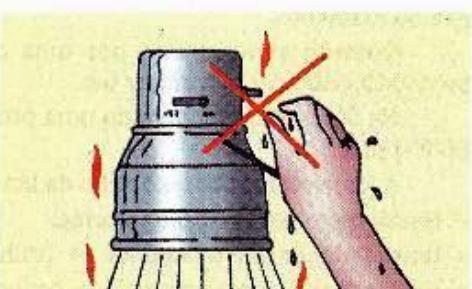
b)



c)



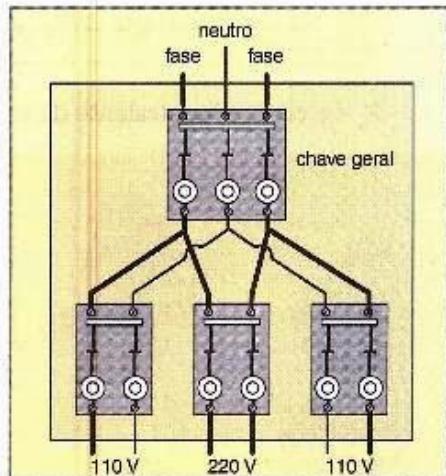
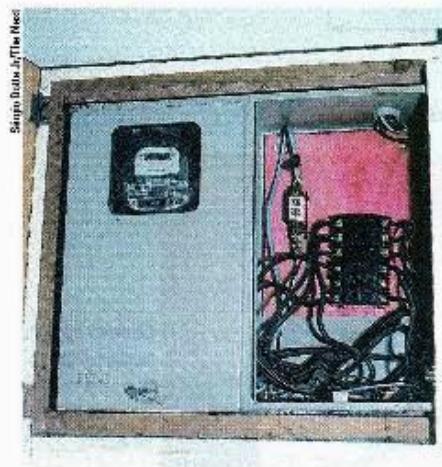
d)



VOCÊ SABIA?

QUADRO DE FORÇA

A caixa que contém o relógio de luz de uma casa possui uma chave geral que funciona como um interruptor de toda a instalação elétrica. Nela chegam três fios do poste da rua: dois fios fase e um neutro.



A tensão entre dois fios fase é 220 V e entre o fase e o neutro, 110 V.

Da chave geral partem três fios para a caixa de distribuição, na qual há três chaves parciais: uma de 220 V e duas de 110 V.

Na chave geral há três fusíveis — um para cada fio — e nas chaves parciais, dois fusíveis.

Aconselha-se utilizar fusíveis somente nos fios fase, pois a queima de um fusível do neutro é difícil de ser detectada e, como consequência, haverá interferência no funcionamento dos aparelhos colocados na rede.

Assim, nas chaves parciais de 110 V deve ser colocado apenas um fusível e na chave parcial de 220 V, dois fusíveis.

Manual de economia de energia elétrica no lar - CERSP/CPFL/ELETROPAUL/COMGÁS, 1985

ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

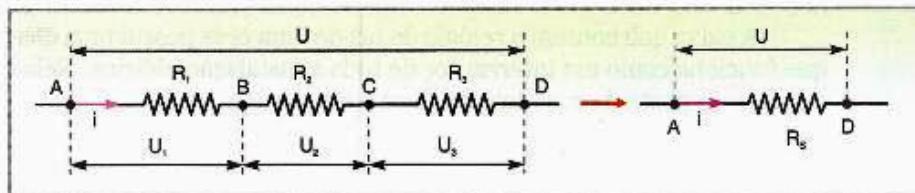
Em muitos casos práticos tem-se a necessidade de uma resistência maior do que a fornecida por um único resistor. Em outros casos, um resistor não suporta a intensidade da corrente que deve atravessá-lo. Nessas situações utilizam-se vários resistores associados entre si.

Os resistores podem ser associados *em série*, *em paralelo* ou numa combinação de ambas, denominada *associação mista*.

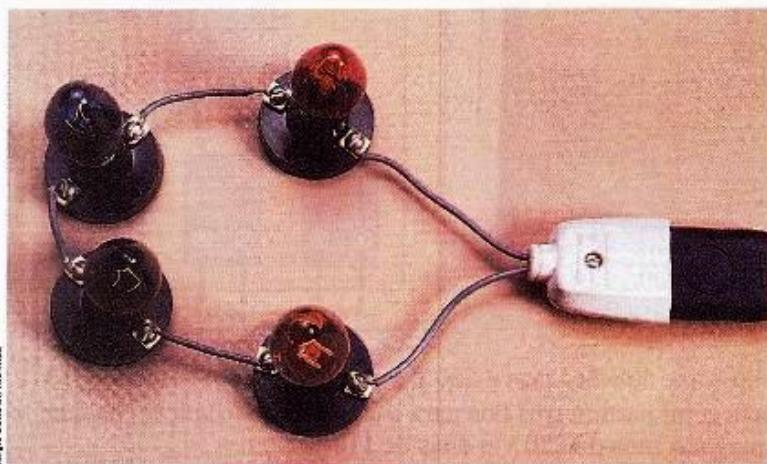
O *resistor equivalente* de uma associação é o resistor que produz o mesmo efeito que a associação, ou seja, submetido à mesma ddp da associação, deixa passar corrente de mesma intensidade.

ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE

Um circuito elétrico com resistores ligados um em seguida ao outro, de modo a oferecer um único caminho para a corrente passar pelos resistores, é chamado *circuito em série*.



R_s é o resistor equivalente da associação.



Círculo com quatro lâmpadas associadas em série e percorridas por uma mesma corrente elétrica. Se uma lâmpada queimar, todas se apagam.

Características da associação em série:

- ✓ a intensidade da corrente i é a mesma em todos os resistores, pois eles estão ligados um após o outro
- ✓ a tensão U na associação é igual à soma das tensões em cada resistor

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

Aplicando-se a 1ª lei de Ohm a cada um dos resistores, podemos calcular a resistência do resistor equivalente da associação, da seguinte forma:

$$\begin{aligned} U &= U_1 + U_2 + U_3 \rightarrow R_s \cdot i = R_1 \cdot i + R_2 \cdot i + R_3 \cdot i \\ R_s \cdot i &= i(R_1 + R_2 + R_3) \end{aligned}$$

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

Note que o resistor equivalente a uma associação de resistores em série tem uma resistência elétrica igual à soma das resistências elétricas de todos os resistores (dois ou mais) da associação.

Para iluminar uma árvore de Natal, por exemplo, usam-se lâmpadas de baixa tensão associadas em série.

APLICAÇÃO

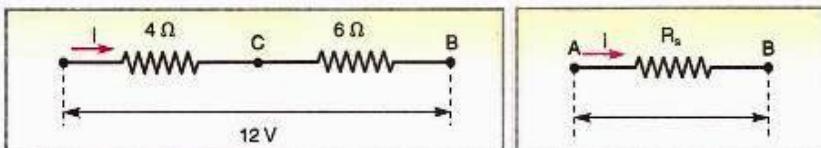
A6

Dois resistores, de 4Ω e 6Ω , são associados em série. Uma bateria fornece aos extremos da associação uma ddp de 12 V. Determine:

- a resistência equivalente da associação
- a intensidade da corrente em cada resistor
- a ddp em cada resistor

Resolução:

- a) Cálculo da resistência equivalente:



$$R_s = R_{AC} + R_{CB} \rightarrow R_s = 4 + 6 \rightarrow R_s = 10\Omega$$

- b) Cálculo da corrente:

Pela lei de Ohm:

$$U_{AB} = R_s \cdot i \rightarrow 12 = 10 \cdot i \rightarrow i = 1,2\text{ A}$$

- c) Como a corrente é comum, vem:

$$U_{AC} = R_{AC} \cdot i \rightarrow U_{AC} = 4 \cdot 1,2 \rightarrow U_{AC} = 4,8\text{ V}$$

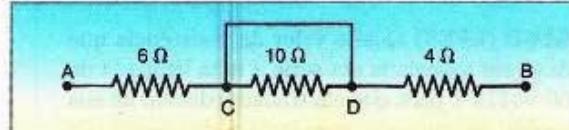
$$U_{CB} = R_{CB} \cdot i \rightarrow U_{CB} = 6 \cdot 1,2 \rightarrow U_{CB} = 7,2\text{ V}$$

Respostas: a) 10Ω ; b) $1,2\text{ A}$; c) $4,8\text{ V}$ e $7,2\text{ V}$

A7

Entre os terminais *A* e *B* da figura aplica-se uma ddp de 20 V. Determine:

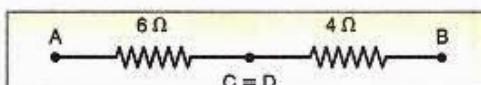
- a resistência equivalente da associação
- a intensidade da corrente na associação



Resolução:

- a) Os pontos *C* e *D* estão em curto-círcito (estão ligados por um fio de resistência desprezível). Portanto, são pontos coincidentes que apresentam o mesmo potencial. Nesse caso, a corrente passará integralmente pelo fio, deixando de existir no circuito o resistor de 10Ω .

Então:



$$R_s = 6 + 4 \rightarrow R_s = 10\Omega$$

- b) Aplicando a lei de Ohm:

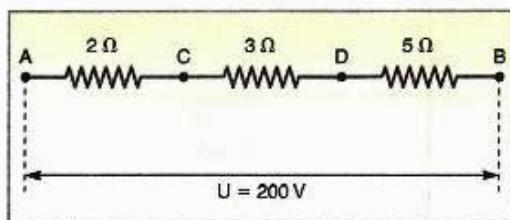
$$U_{AB} = R_s \cdot i \rightarrow 20 = 10 \cdot i \rightarrow i = 2\text{ A}$$

Respostas: a) 10Ω ; b) 2 A

QUESTÕES

Q45 Quais são as características de uma associação de resistores em série?

Q46 Dada a associação, determine:

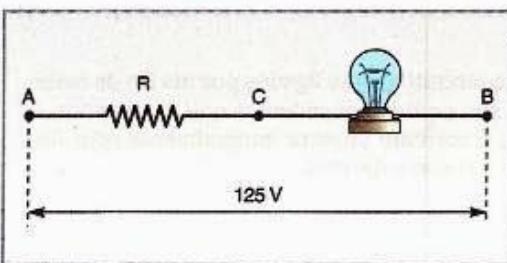


- a resistência do resistor equivalente da associação $10\ \Omega$
- a intensidade da corrente em cada resistor 20 A
- a tensão entre os terminais da cada resistor $40\text{ V}, 60\text{ V e }100\text{ V}$

Q47 (EFOA-MG) Dois resistores, um de 400 ohms e outro de 600 ohms, ligados em série, estão submetidos à tensão de 200 V.

- Qual é a corrente que percorre esses resistores? $0,2\text{ A}$
- Qual é a tensão aplicada no resistor de 600 ohms? 120 V

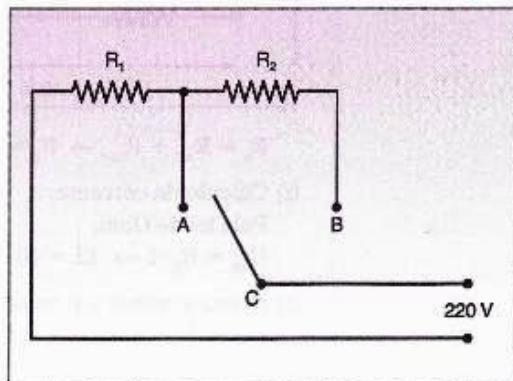
Q48 (UFES) Qual o valor da resistência que deve ser associada em série a uma lâmpada de 60 W/110 V para que ela trabalhe dentro da sua tensão especificada, num local onde a tensão da rede é de 125 V? $27,5\ \Omega$



Q49 (FAAP-SP) Uma associação em série de dois resistores, de $4,0\ \Omega$ e de $6,0\ \Omega$, é ligada aos terminais de um gerador de tensão 20 V. Determine a energia elétrica consumida pelo resistor de $4,0\ \Omega$ durante 1 min. 960 J

Q50 (UFPE) O circuito seguinte ilustra as resistências elétricas de um chuveiro elétrico residencial, onde a chave C permite ligar nas posições “inverno” e “verão”. Quando a chave está na posição A a potência consumida pelo chuveiro é 4 kW. Qual deve ser o valor da resistência R_2 , em ohms, para que o chuveiro consuma 3 kW quando a chave estiver na posição B ?

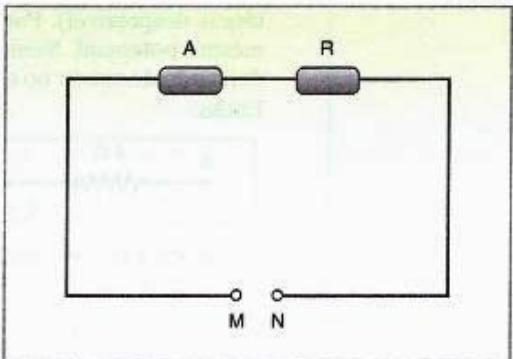
$$\approx 4\ \Omega$$



Q51 (UFPA) Dispõe-se de um aquecedor elétrico A , de potência 3 300 W quando é alimentado por uma tensão elétrica de 110 V. Objetivando diminuir a corrente de entrada no aparelho, associa-se o mesmo a uma caixa de resistências R , conforme o esquema abaixo, estabelecendo-se a voltagem de 110 V entre os pontos M e N .

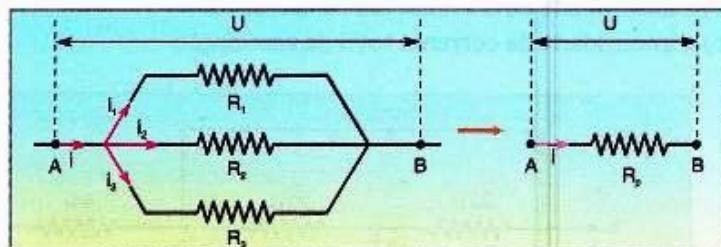
Qual o valor de R , em ohms, para que a corrente, através do aquecedor, seja igual a 27,5 A?

$$\approx 0,3\ \Omega$$



ASSOCIAÇÃO EM PARALELO

Quando dois ou mais resistores estão ligados através de dois pontos em comum no circuito, isto é, os resistores têm os terminais ligados à mesma diferença de potencial, de modo a oferecer caminhos separados para a corrente, temos um *círcuito em paralelo*.



Em que R_p é o resistor equivalente da associação em paralelo.

Características da associação em paralelo:

- ✓ a tensão U é a mesma em todos os resistores, pois estão ligados aos mesmos terminais A e B
- ✓ a corrente i na associação é igual à soma das correntes em cada resistor.

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

Aplicando-se a 1ª lei de Ohm a cada um dos resistores, podemos determinar a resistência do resistor equivalente:

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

$$\frac{U}{R_p} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

$$\frac{U}{R_p} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$



Círculo com quatro lâmpadas associadas em paralelo e submetidas à mesma ddp. Se uma lâmpada queimar as outras permanecem acesas.

Sergio Dotta / Jofre Neto

O inverso da resistência equivalente é igual à soma dos inversos das resistências associadas.

Se houver somente dois resistores em paralelo, de resistências R_1 e R_2 , a resistência equivalente R_p dessa associação pode ser determinada por:

$$R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

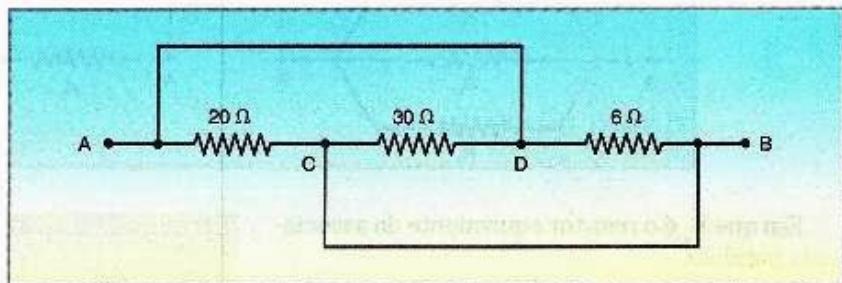
→ produto
→ soma

APLICAÇÃO

A 8

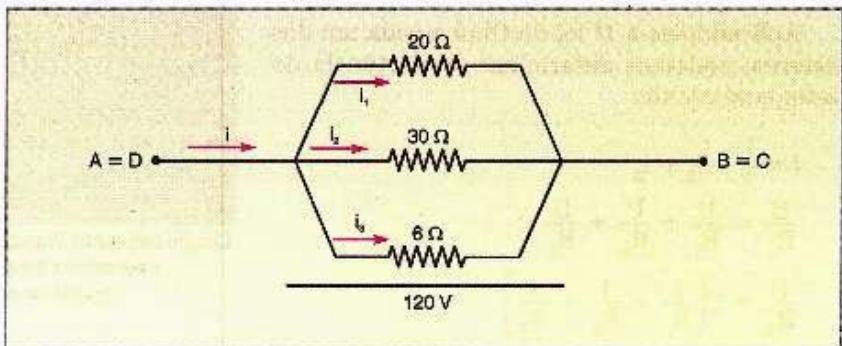
Entre os terminais *A* e *B* da figura aplica-se uma ddp de 120 V. Determine:

- a resistência equivalente da associação
- a intensidade da corrente em cada resistor
- a intensidade da corrente total da associação



Resolução:

- a) Os pontos *A* e *D* estão em curto-circuito (estão ligados por fios de resistência desprezível). Portanto, são pontos coincidentes (*A* = *D*). O mesmo ocorre com os pontos *B* e *C* (*B* = *C*). Em vista disso, efetuamos uma mudança na associação dada, fixando os pontos *A* e *D* como terminal de entrada da corrente e *B* e *C* como terminal de saída da corrente. Então:



Cálculo da resistência equivalente:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{20} + \frac{1}{30} + \frac{1}{6} \rightarrow R_p = 4 \Omega$$

- b) Sendo uma associação em paralelo, a ddp é comum. Portanto:

$$120 = 20 \cdot i_1 \rightarrow i_1 = 6 \text{ A}$$

$$120 = 30 \cdot i_2 \rightarrow i_2 = 4 \text{ A}$$

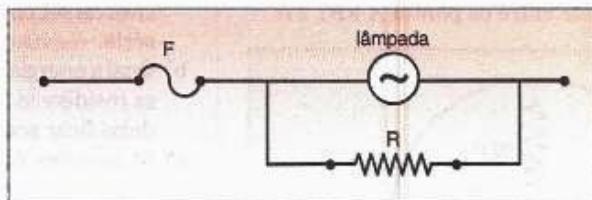
$$120 = 6 \cdot i_3 \rightarrow i_3 = 20 \text{ A}$$

c) $i = i_1 + i_2 + i_3 \rightarrow i = 6 + 4 + 20 \rightarrow i = 30 \text{ A}$

Respostas: a) 4Ω ; b) $6 \text{ A}, 4 \text{ A}$ e 20 A ; c) 30 A

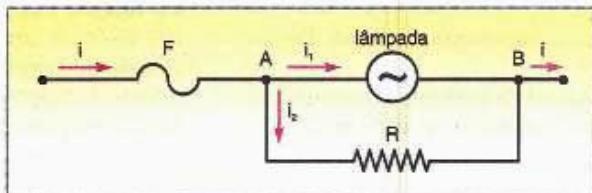
A 9

No esquema representado, um fusível em F suporta uma corrente máxima de 5 A. A lâmpada submetida a 110 V consome 330 W. Que resistência mínima se pode ligar em paralelo com a lâmpada, sem queimar o fusível?



Resolução:

$$\text{Dados: } \begin{cases} i = 5 \text{ A} \\ P = 330 \text{ W} \\ U_{AB} = 110 \text{ V} \end{cases}$$



A corrente que percorre a lâmpada é calculada pela fórmula da potência:

$$P = U_{AB} \cdot i_1 \rightarrow 330 = 110 \cdot i_1 \rightarrow i_1 = 3 \text{ A}$$

Sem queimar o fusível, o circuito suporta uma corrente de, no máximo, 5 A.

Sendo:

$$i = i_1 + i_2 \rightarrow 5 = 3 + i_2 \rightarrow i_2 = 2 \text{ A}$$

Aplicando a 1ª lei de Ohm em R :

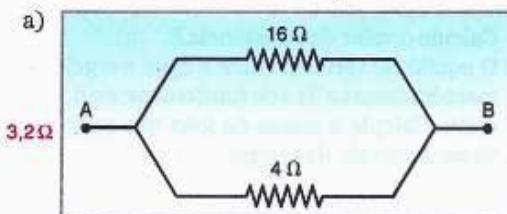
$$U_{AB} = R \cdot i_2 \rightarrow 110 = R \cdot 2 \rightarrow R = 55 \Omega$$

Resposta: 55 Ω

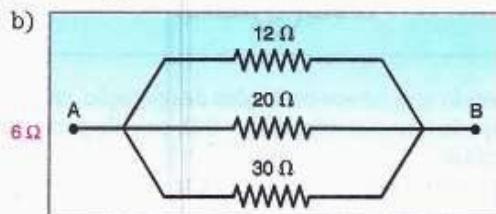
QUESTÕES

Q52 Calcule a resistência equivalente das associações das figuras:

a)

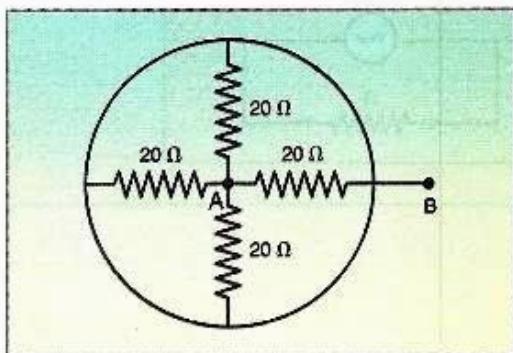


b)



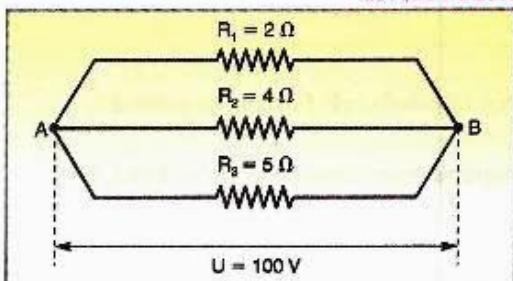
Q53 Quais são as características de uma associação de resistores em paralelo?

Q54 (UFPE) No circuito a seguir, qual a resistência equivalente entre os pontos A e B? 5Ω

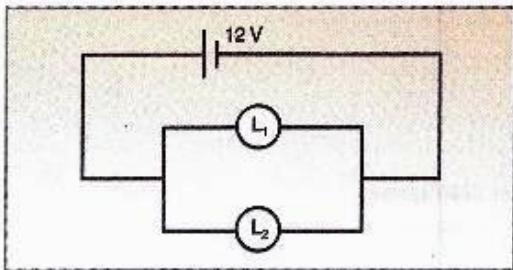


Q55 Considere a associação da figura. Determine:

- a intensidade total da corrente no circuito 95 A
- a intensidade da corrente em cada resistor $50\text{ A}; 25\text{ A} \text{ e } 20\text{ A}$



Q56 (UMC-SP) Duas lâmpadas incandescentes idênticas (L_1 e L_2) foram conectadas a uma fonte ideal de 12 V, conforme a figura.



Sabendo que, nessas condições de operação, cada lâmpada tem resistência $R = 8\Omega$, calcule para o circuito:

- a intensidade da corrente elétrica 3 A
- a potência elétrica dissipada 36 W

Q57 (UFU-MG) Numa residência cuja voltagem constante é 200 V são ligadas dez lâmpadas em paralelo, cada uma de resistência igual a 400Ω .

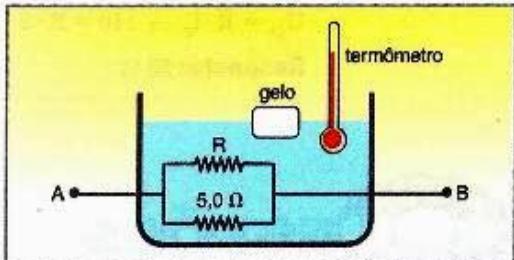
- Explique pelo menos um inconveniente possível de ser observado se a ligação for feita em série. [resposta no final do livro](#)
- Qual a energia consumida pelas lâmpadas nessa residência durante vinte dias, se cada uma delas ficar acesa 5 h por dia? 100 kWh
- Se uma das lâmpadas queimar, qual será a alteração na potência dissipada em cada uma das lâmpadas? Nesse caso, haverá alteração na corrente que percorre cada lâmpada? Justifique. [resposta no final do livro](#)

Q58 (UFLA-MG) Uma residência é atendida por uma tensão de alimentação de 100 V. Estão ligados simultaneamente à rede de alimentação, em ligação em paralelo, um ferro elétrico de 100 V/500 W, um chuveiro de 200 V/2 000 W e uma lâmpada incandescente de 100 V/250 W. Considerando desprezível a resistência dos fios de ligação, pede-se calcular:

- a resistência elétrica equivalente da ligação
- a intensidade total de corrente
- a potência total dissipada pelo circuito
- a energia elétrica, em kWh, consumida pelos três dispositivos durante 24 h de utilização.

a) 8Ω ; b) $12,5\text{ A}$; c) 1250 W ; d) 30 kWh

Q59 (UERJ) Em uma mistura de água e gelo mergulham-se dois resistores em paralelo, sendo um de $5,0\Omega$ e outro de resistência desconhecida, como indica a figura.



A potência total dissipada nos resistores é igual a $2,5 \cdot 10^3\text{ W}$ e a diferença de potencial entre os pontos A e B é 100 V.

- Calcule o valor da resistência R . 20Ω
- O equilíbrio térmico entre a água e o gelo se mantém durante 34 s de funcionamento do circuito. Calcule a massa de gelo que se funde nesse intervalo de tempo. $0,25\text{ kg}$

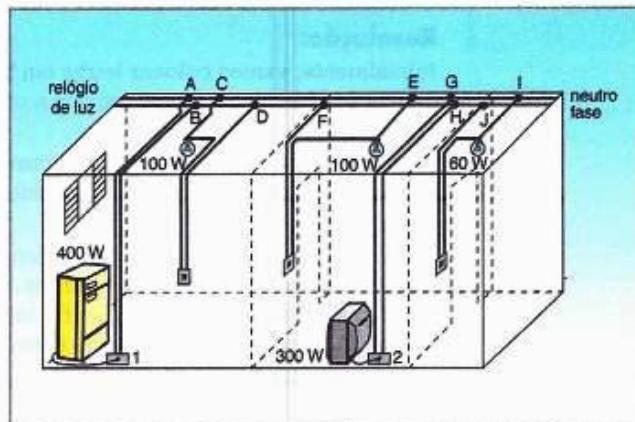
Dado:

calor latente de fusão do gelo: $3,4 \cdot 10^6\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Q60 A figura mostra uma parte da rede elétrica de uma casa, na qual foram instaladas três lâmpadas e duas tomadas. Nas tomadas foram ligados um televisor e uma geladeira. Nessa instalação foram usados 40 m de fio de cobre 14, incluindo o fase e o neutro. Para ligar cada uma das lâmpadas foram necessários 5 m de fio 16.

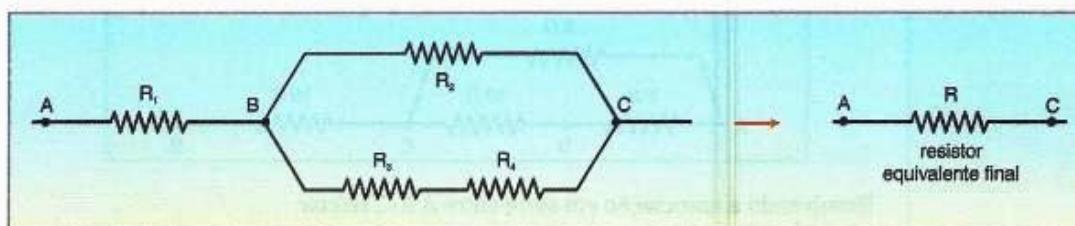
a) As ligações desses aparelhos foram feitas em série ou em paralelo? Justifique a resposta.

- b) Que amperagem deve ter o fusível para proteger essa instalação? A corrente máxima admissível para o fio de 14 é de 20 A.
- c) Por que podemos usar um fio mais fino (16) nas ligações das lâmpadas e das tomadas?
- d) Calcule a resistência de cada trecho e represente esse circuito de forma simplificada. Despreze a resistência dos fios de ligação. respostas no final do livro



ASSOCIAÇÃO MISTA

É aquela na qual encontramos, ao mesmo tempo, resistores associados em série e em paralelo, como na figura esquemática.

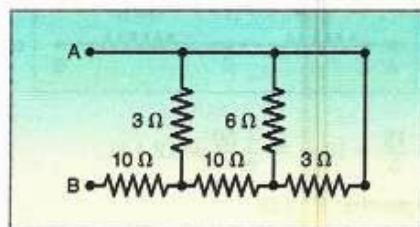


A determinação do resistor equivalente final é feita a partir da substituição de cada uma das associações, em série ou em paralelo, que compõem o circuito pela sua respectiva resistência equivalente.

APLICAÇÃO

A 10

Calcule a resistência equivalente entre os pontos *A* e *B* da associação da figura.

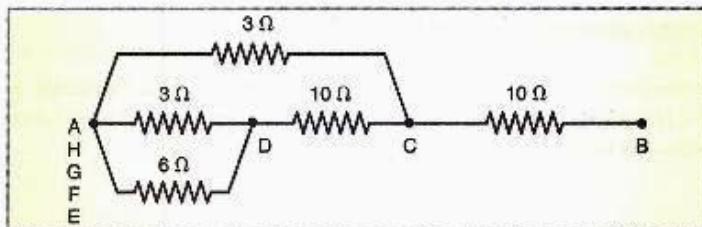
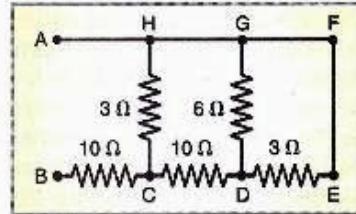


Resolução:

Inicialmente, vamos colocar letras em todos os pontos em que achamos que a corrente pode se dividir.

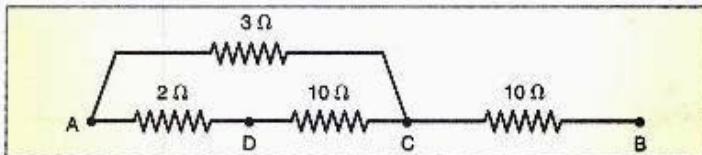
Os pontos E , F , G , H e A estão em curto-circuito. Portanto, são pontos coincidentes, isto é, $A = E = F = G = H$.

Em vista disso, efetuamos uma mudança na associação dada, fixando os pontos A e B como seus extremos, e C e D entre tais extremos. Após essa mudança, marcamos as respectivas resistências entre esses pontos.



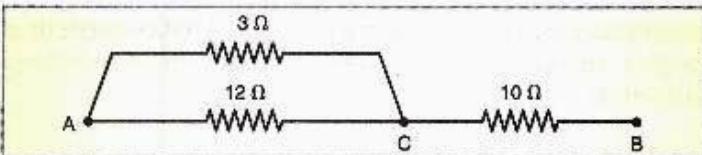
Resolvendo a associação em paralelo entre A e D , temos:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{2+1}{6} = \frac{3}{6} \rightarrow R = 2\Omega$$



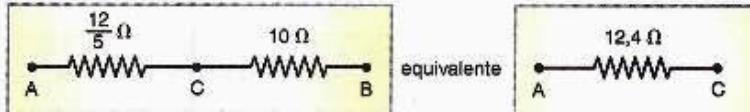
Resolvendo a associação em série entre A e C , temos:

$$R_s = 2 + 10 = 12\Omega$$



Resolvendo a associação em paralelo entre A e C , temos:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{3} + \frac{1}{12} = \frac{4+1}{12} = \frac{5}{12} \rightarrow R = \frac{12}{5}\Omega$$



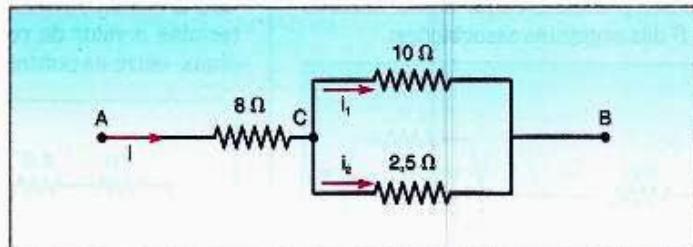
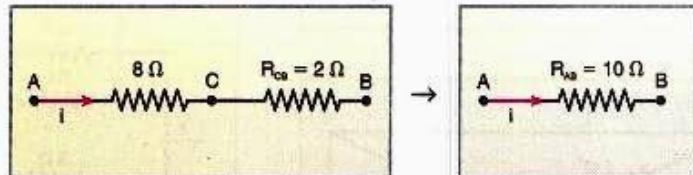
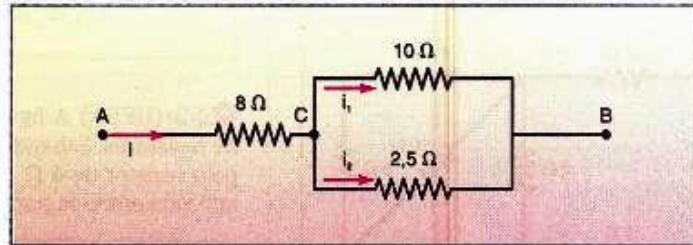
$$R = \frac{12}{5} + 10 = \frac{12+50}{5} = 12,4\Omega$$

Resposta: $12,4\Omega$

A 11No circuito elétrico da figura, $U_{AB} = 20 \text{ V}$.

Determine:

- a potência térmica dissipada entre C e B
- b) a intensidade das correntes i_1 e i_2

**Resolução:**a) Cálculo da resistência equivalente R_{CB} :

$$R_{CB} = \frac{10 \cdot 2,5}{10 + 2,5} = \frac{25}{12,5} = 2 \Omega$$

Cálculo da resistência equivalente R_{AB} :

$$R_{AB} = 8 + 2 = 10 \Omega$$

Cálculo da corrente:

$$U_{AB} = R_{AB} \cdot i \rightarrow i = 2 \text{ A}$$

Cálculo da potência dissipada em CB:

$$P = R_{CB} \cdot i^2 \rightarrow P = 2 \cdot 2^2 \rightarrow P = 8 \text{ W}$$

b) $U_{CB} = R_{CB} \cdot i \rightarrow U_{CB} = 2 \cdot 2 \rightarrow U_{CB} = 4 \text{ V}$

$$U_{CB} = 10 \cdot i_1 \rightarrow 4 = 10 \cdot i_1 \rightarrow i_1 = 0,4 \text{ A}$$

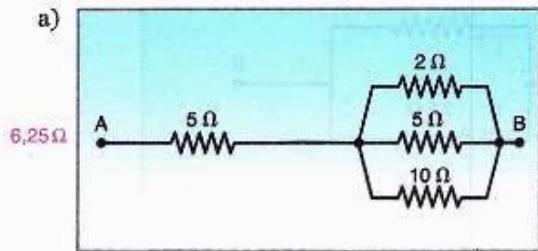
$$U_{CB} = 2,5 \cdot i_2 \rightarrow 4 = 2,5 \cdot i_2 \rightarrow i_2 = 1,6 \text{ A}$$

Respostas: a) 8 W; b) $i_1 = 0,4 \text{ A}$; $i_2 = 1,6 \text{ A}$

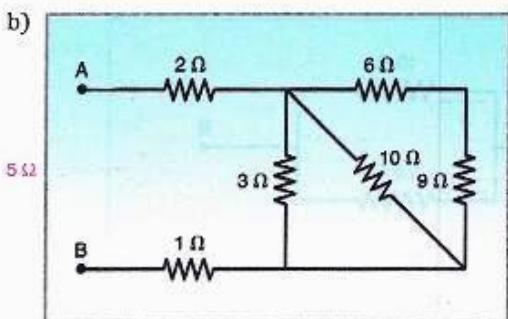
QUESTÕES

Q61 Calcule a resistência equivalente entre os pontos A e B das seguintes associações:

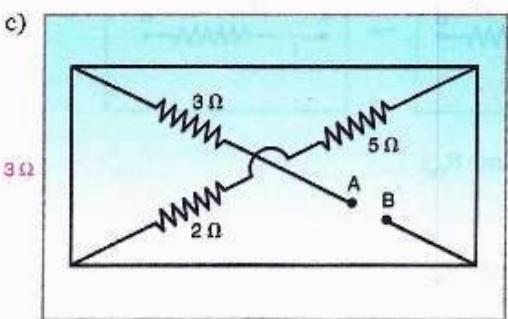
a)



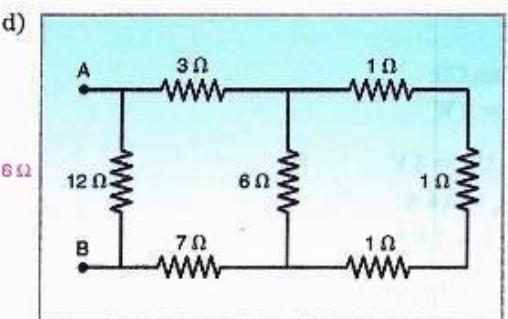
b)



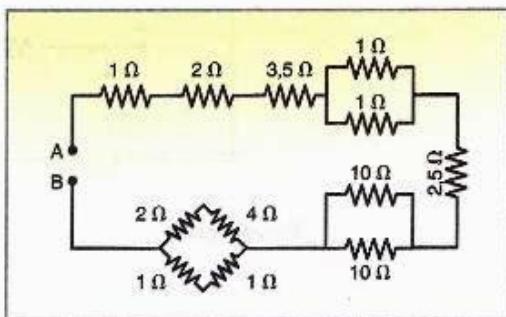
c)



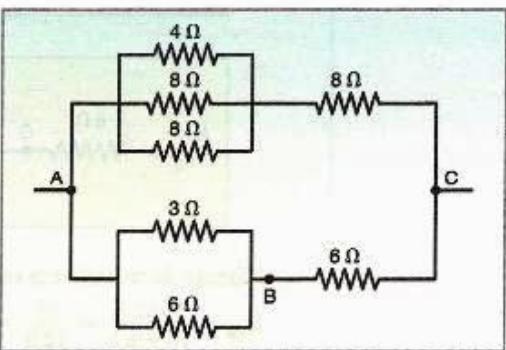
d)



Q62 (UFMS) No circuito elétrico abaixo, determine o valor da resistência equivalente, em ohms, entre os pontos A e B. 16Ω

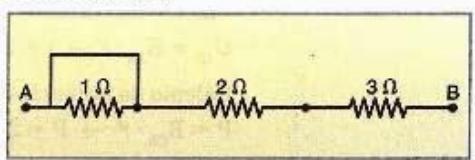


Q63 (UFBA) A figura ilustra uma associação de resistores. Sabendo que a corrente que passa pelo resistor de 4Ω é de 2 A , determine a ddp aplicada entre os pontos A e B. 10 V

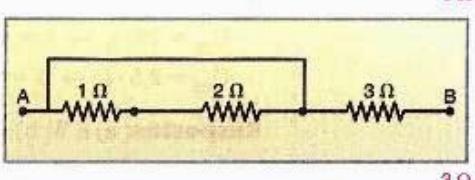


Q64 Calcule a resistência do resistor equivalente em cada caso.

a)



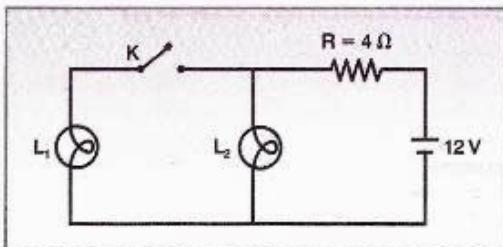
b)



Q65 (UFU-MG) Três resistores iguais, de $120\ \Omega$ cada, são associados de modo que a potência dissipada pelo conjunto seja 45 W , quando uma ddp de 90 V é aplicada aos extremos da associação.

- a) Qual a resistência equivalente do circuito? $180\ \Omega$
 b) Como estes três resistores estão associados?
 Faça o esquema do circuito. resposta no final do livro
 c) Calcule a intensidade de corrente em cada um dos três resistores. $0,25\text{ A}$ e $0,5\text{ A}$

Q66 (FEI-SP) No circuito da figura, têm-se duas lâmpadas idênticas. Com a chave K desligada, a corrente no circuito é de 1 A . Calcule a intensidade da corrente que passa em cada lâmpada, ao ser ligada a chave K . $0,75\text{ A}$



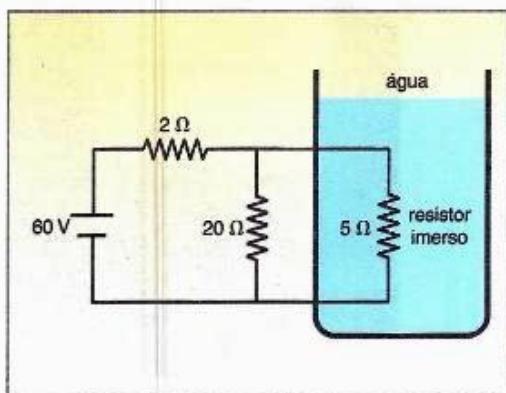
Q67 (IME-RJ) Um circuito é construído com o objetivo de aquecer um recipiente adiabático que contém 1ℓ de água a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Considerando-se total a transferência de calor entre o resistor e a água, determine o tempo estimado de operação do circuito da figura abaixo para que a água comece a ferver. $\approx 937,5\text{ s}$

Dados:

calor específico da água: $1\text{ cal/g }^{\circ}\text{C}$

massa específica da água: 1 kg/l

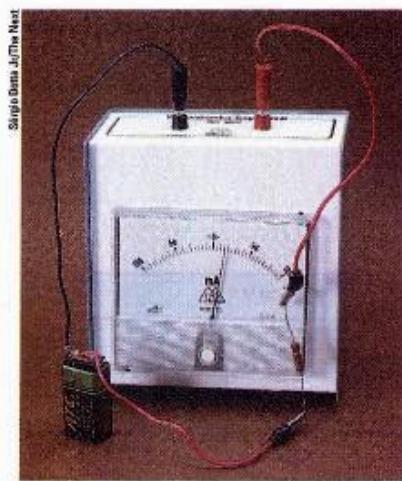
temperatura necessária para ferver a água: $100\text{ }^{\circ}\text{C}$



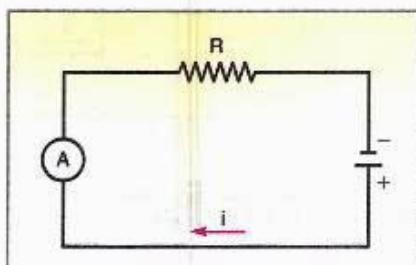
UTILIZAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA E CONTROLE

Os dispositivos de segurança, tais como os *fusíveis*, devem ser colocados *em série* nos circuitos, pois, quando a corrente se torna elevada, eles se fundem, causando a interrupção da corrente elétrica e não danificando os aparelhos.

Assim, também, quando se deseja medir a intensidade da corrente num condutor, deve-se ligar o *amperímetro* *em série* com o condutor, pois a corrente que o atravessa é a mesma que passa pelo condutor.



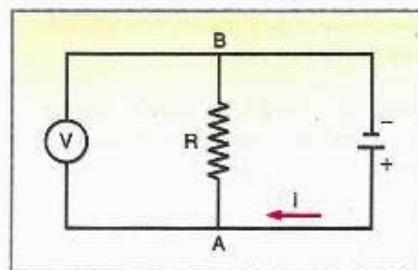
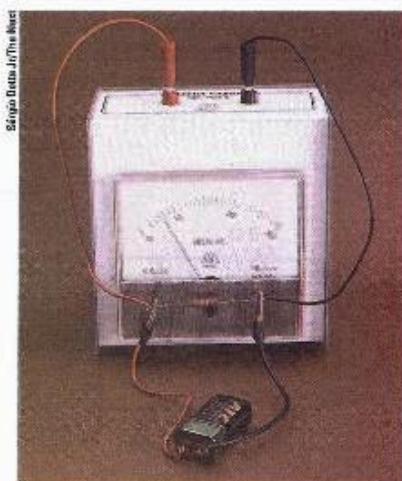
Amperímetro sendo utilizado para medir a corrente elétrica que percorre o circuito.



A resistência do amperímetro deve ser muito pequena para não modificar a corrente no circuito.

O amperímetro que tem resistência interna praticamente nula é chamado *amperímetro ideal*.

Por outro lado, quando se quer medir a ddp entre dois pontos de um condutor, deve-se ligar o *voltímetro em paralelo* com o condutor.

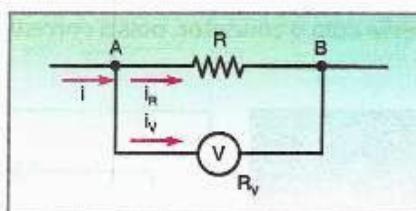


Voltímetro sendo
utilizado para medir
a ddp no resistor.

A resistência do voltímetro deve ser muito grande, para que a corrente que passa por ele seja bem pequena.

O voltímetro que tem resistência interna muito grande, isto é, infinita, é chamado *voltímetro ideal*.

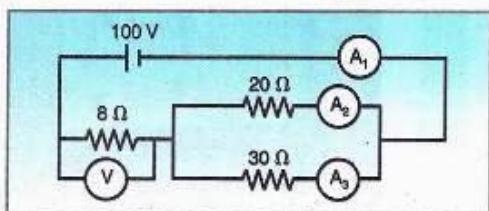
Na associação, a ddp entre os pontos *A* e *B* é dada por: $U_{AB} = R_v \cdot i_v$. Então, quanto maior a resistência interna R_v do voltímetro, menor a corrente i_v desviada para ele.



APLICAÇÃO

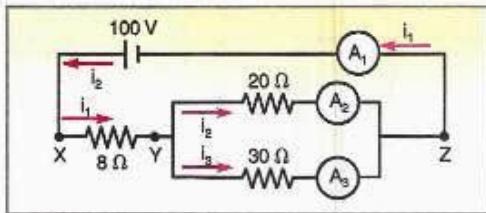
A 12

Determine, no circuito a seguir, as leituras do voltímetro *V* e dos amperímetros *A₁*, *A₂* e *A₃*:



Resolução:

Simplificando o circuito, temos:



A resistência equivalente em YZ é:

$$R_{YZ} = \frac{20 \cdot 30}{20 + 30} = \frac{600}{50} = 12 \Omega$$

A resistência equivalente da associação é:

$$R_{xz} = 8 + 12 = 20 \Omega$$

$$U = R_{xz} \cdot i_1 \rightarrow 100 = 20 \cdot i_1 \rightarrow i_1 = 5 \text{ A} \therefore A_1 = 5 \text{ A}$$

A ddp entre Y e Z é:

$$U_{YZ} = 12 \cdot 5 \rightarrow U_{YZ} = 60 \text{ V}$$

• Cálculo de i_2 e i_3 :

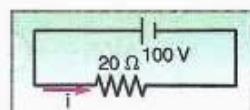
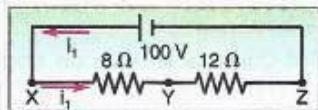
$$U_{YZ} = 20 \cdot i_2 \rightarrow 60 = 20 \cdot i_2 \rightarrow i_2 = 3 \text{ A} \therefore A_2 = 3 \text{ A}$$

$$U_{YZ} = 30 \cdot i_3 \rightarrow 60 = 30 \cdot i_3 \rightarrow i_3 = 2 \text{ A} \therefore A_3 = 2 \text{ A}$$

A leitura em \textcircled{V} corresponde a U_{XY} .

$$U_{XY} = 8 \cdot i_1 \rightarrow U_{XY} = 8 \cdot 5 = 40 \text{ V}$$

Resposta: 40 V, 5 A, 3 A e 2 A



QUESTÕES

Q68 Qual é a função de um fusível num circuito? Como os fusíveis devem ser instalados?

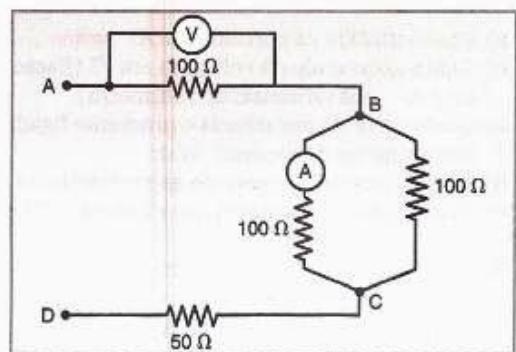
indicações do amperímetro A e do voltímetro V , ambos ideais. 0,25 A e 50 V

Q69 Um voltímetro deve possuir uma resistência interna grande ou pequena? Por quê?

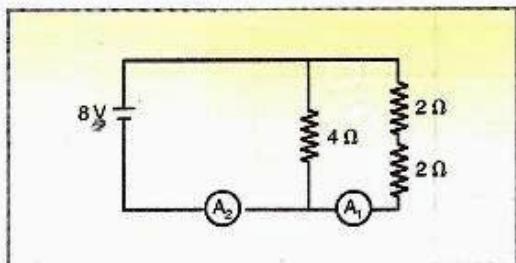
Q70 Um amperímetro deve possuir uma resistência interna grande ou pequena? Por quê?

Q71 O que é um voltímetro ideal? E um amperímetro ideal?

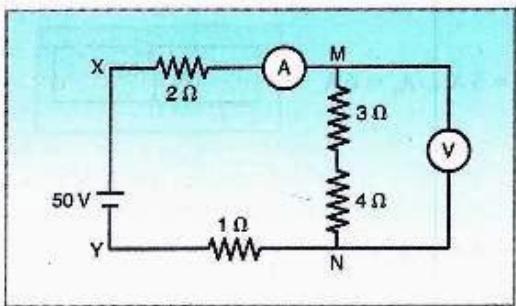
Q72 No circuito elétrico esquematizado, a ddp entre os terminais A e D é de 100 V. Calcule as



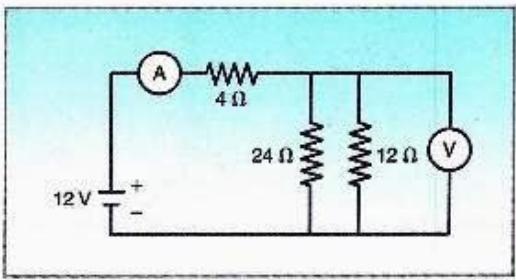
Q73 No circuito esquematizado, quais as leituras dos amperímetros A_1 e A_2 ? 4 A e 2 A



Q74 Quais as leituras do amperímetro e do voltímetro no circuito indicado? 5 A e 35 V

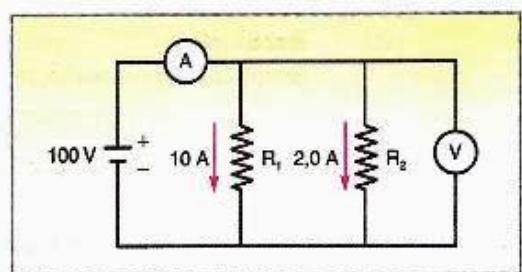


Q75 (Unicamp-SP) No circuito da figura, A é um amperímetro e V é um voltímetro, ambos ideais.



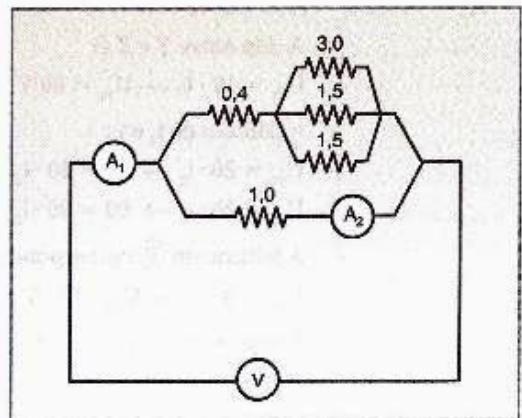
- Qual o sentido da corrente em A ? horário
- Qual a polaridade da voltagem em V ? (Escreva + e - nos terminais do voltímetro).
- Qual o valor da resistência equivalente ligada aos terminais da bateria? 12Ω
- Qual o valor da corrente no amperímetro A ? 1 A
- Qual o valor da voltagem no voltímetro V ? 8 V

Q76 (Unicamp-SP) No circuito da figura, A é um amperímetro de resistência nula, V é um voltímetro de resistência infinita. A resistência interna da bateria é nula.



- Qual é a intensidade da corrente medida pelo amperímetro?
- Qual é a voltagem medida pelo voltímetro?
- Quais são os valores das resistências R_1 e R_2 ?
- Qual é a potência fornecida pela bateria?
a) 12 A; b) 100 V; c) 10 Ω e 50 Ω; d) 1 200 W

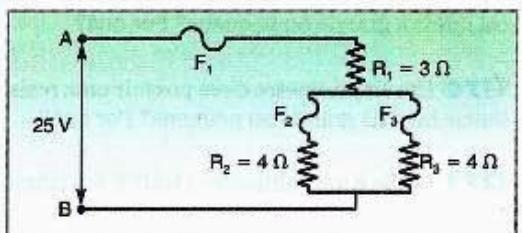
Q77 (Unirio-RJ) No circuito da figura, a indicação do amperímetro A_1 é de 5,0 A.



Calcule:

- a indicação do voltímetro V 2,5 V
- a indicação do amperímetro A_2 2,5 A
- a potência total dissipada no circuito 12,5 W

Q78 No circuito indicado, F_1 , F_2 e F_3 são fusíveis, todos de 3 A, isto é, suportam intensidade de correntes até 3 A.



Ligando-se os pontos A e B a uma fonte de tensão de 25 V, quais os fusíveis que queimarão?

Somente F_1 queimaré.

VOCÊ SABIA?

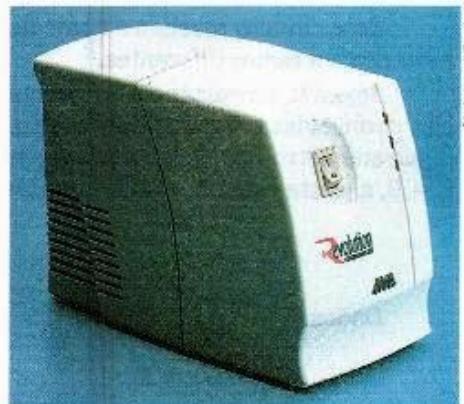
Com a expansão do uso da informática e da automação, a eletricidade se tornou essencial para manter em funcionamento os equipamentos que registram vendas, controlam estoque, fluxo de caixa e fornecem informações vitais para a administração de uma empresa. Se há um blecaute, tudo pára. Uma queda momentânea de energia pode provocar perda de dados importantes e prejudicar até mesmo o atendimento aos clientes, o que é ainda mais grave.

Os blecautes e as sobrecargas provocadas por relâmpagos também são nocivos a equipamentos sensíveis como os computadores. Constantes falhas e sobrecargas podem danificar as máquinas totalmente.

O que fazer em um caso desses, amaldiçoar a situação e voltar a usar as velhas caixas registradoras mecânicas e os livros-caixa?

Há recursos no mercado que, embora não solucionem o problema da falta de energia, são capazes de manter os equipamentos funcionando por um certo tempo até que a energia seja restabelecida ou que as operações em andamento sejam salvas e fechadas. São os *no-breaks*.

A palavra *no-break* é uma adaptação brasileira para o nome original em inglês UPS (*Uninterruptible Power Supply*, ou fornecimento de energia ininterrupto). Os *no-breaks* não são um tipo de estabilizador de voltagem, como muita gente pensa. A função do estabilizador é, como o próprio nome já diz, manter os níveis de energia estáveis, de modo a impedir que sobrecargas e variações de tensão danifiquem os equipamentos. Já a função básica dos *no-breaks*, além de garantir níveis de energia estáveis, é fazer com que os equipamentos continuem funcionando mesmo depois de um blecaute ou de uma rápida queda de energia, protegendo as máquinas e sobretudo salvando as informações nelas contidas.



NO-BREAK	ESTABILIZADOR
Protege o equipamento e principalmente os dados arquivados em caso de blecautes e variações de energia.	Apenas estabiliza a tensão, não suprindo o equipamento em caso de falta de energia.
Protege contra raios e curtos-circuitos.	Não possui proteção contra curtos-circuitos.
Mantém o funcionamento dos equipamentos em caso de falta de energia.	Não mantém o funcionamento dos equipamentos em caso de falta de energia.

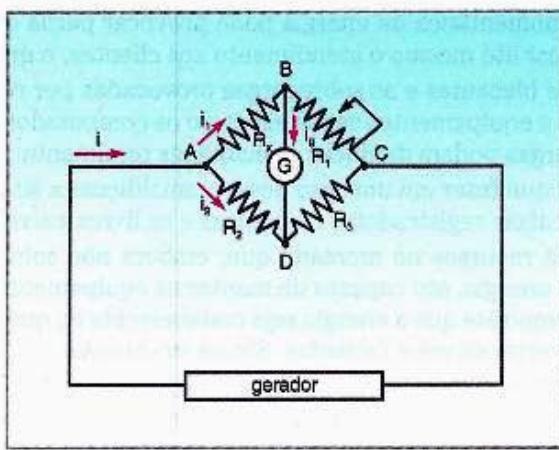
Foto SMS

(Extraído de *Automasoft*, nº 11, março/abril 98, L&M Comunicação Ltda.)

PONTE DE WHEATSTONE

A ponte de Wheatstone é um dispositivo utilizado na determinação da resistência de valor desconhecido de um dos quatro resistores que a compõe, na forma de um losango, alimentados por um gerador.

A sua representação esquemática é a seguinte:



Esse circuito recebeu o nome de ponte porque o galvanômetro liga os pontos *B* e *D* que pertencem a ramos diferentes.

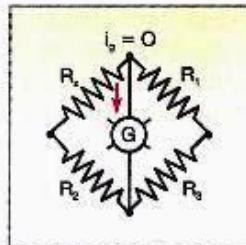
Sejam R_x a resistência que se quer medir, R_1 um reostato, R_2 e R_3 resistores de resistências conhecidas e G um galvanômetro. Ajusta-se o reostato convenientemente, de modo que o galvanômetro não acuse a passagem de corrente elétrica entre os pontos *B* e *D*. Quando $i_g = 0$, a ponte está em equilíbrio, ficando $V_B = V_D$.

$$\text{Dados: } \begin{cases} V_A - V_B = R_x \cdot i_1 \\ V_A - V_D = R_2 \cdot i_2 \\ V_B - V_C = R_1 \cdot i_1 \\ V_D - V_C = R_3 \cdot i_2 \end{cases}$$

Como $V_B = V_D$, vem:

$$R_x \cdot i_1 = R_2 \cdot i_2$$

$$R_1 \cdot i_1 = R_3 \cdot i_2$$

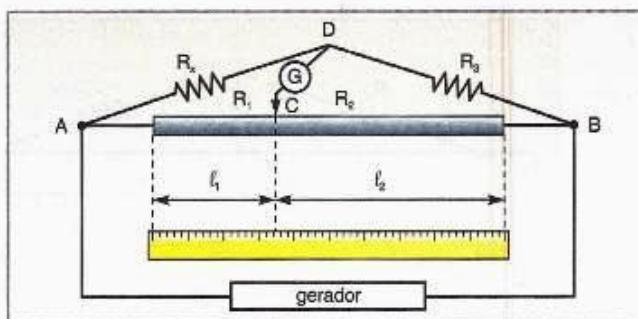


Dividindo membro a membro, obtemos:

$$\frac{R_x}{R_1} = \frac{R_2}{R_3} \rightarrow R_x R_3 = R_1 R_2$$

Numa ponte de Wheatstone em equilíbrio, os produtos das resistências opostas são iguais.

Uma variante da ponte de Wheatstone é a chamada *ponte de fio*, cujo esquema está indicado na figura:



O trecho AB contém um fio homogêneo, de secção transversal constante, sobre o qual desliza o cursor C, até encontrar o ponto para o qual o galvanômetro não acusa passagem de corrente.

Abaixo do fio é colocada uma régua que fornece os comprimentos ℓ_1 e ℓ_2 .
Estabelecido o equilíbrio, temos:

$$R_x \cdot R_2 = R_3 \cdot R_1 \rightarrow R_x \cdot \rho \cdot \frac{\ell_2}{S} = R_3 \cdot \rho \cdot \frac{\ell_1}{S}$$

$$R_x \ell_2 = R_3 \ell_1$$

Conhecendo-se ℓ_1 , ℓ_2 e R_3 podemos determinar R_x :

$$R_x = \frac{\ell_1}{\ell_2} R_3$$

APLICAÇÃO

A 13

O galvanômetro G do circuito da figura não é atravessado por corrente elétrica. Determine o valor da resistência R_x .

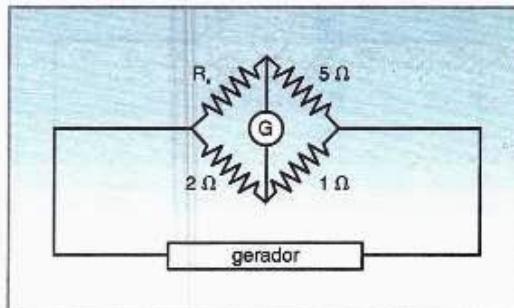
Resolução:

Dados: $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$ e $R_3 = 1 \Omega$

Como o galvanômetro não acusa passagem de corrente, temos:

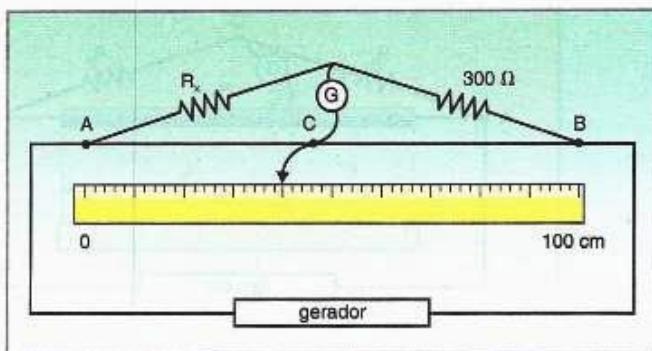
$$R_x R_3 = R_2 R_1 \\ R_x \cdot 1 = 5 \cdot 2 \therefore R_x = 10 \Omega$$

Resposta: 10Ω



A14

Na ponte de fio, o equilíbrio é estabelecido quando o cursor *C* estiver a 40 cm do ponto *A*. Determine o valor da resistência R_x .

**Resolução:**

Dados: $\ell_1 = 40 \text{ cm}$, $\ell_2 = 100 - \ell_1 \rightarrow \ell_2 = 60 \text{ cm}$ e $R = 300 \Omega$

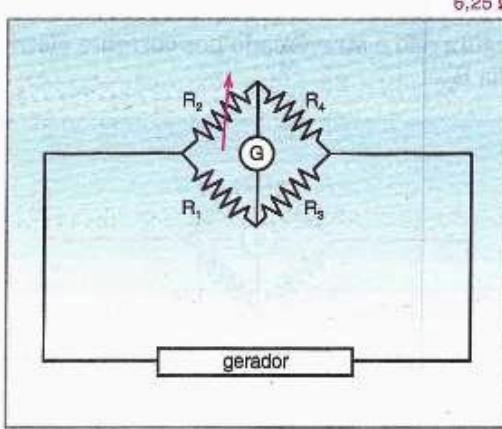
Quando o equilíbrio é estabelecido, $i_g = 0$

$$\text{Assim, } R_x \ell_2 = 300 \ell_1 \rightarrow R_x = \frac{\ell_1}{\ell_2} \cdot 300 \rightarrow R_x = \frac{40}{60} \cdot 300 \rightarrow R_x = 200 \Omega$$

Resposta: 200Ω

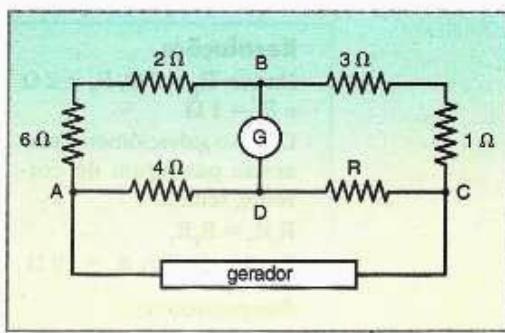
QUESTÕES

Q79 No circuito representado na figura, $R_1 = 8 \Omega$, $R_3 = 10 \Omega$. A ponte fica em equilíbrio quando $R_2 = 5 \Omega$. Qual o valor da resistência R_4 ?



Q80 O circuito da figura é alimentado por um gerador de 12 V. A corrente no galvanômetro é nula. Determine:

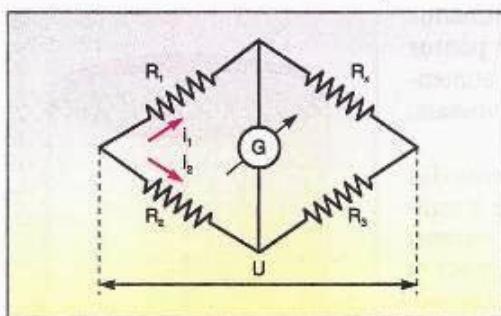
- o valor da resistência R 2Ω
- o valor da resistência equivalente 4Ω
- a potência dissipada no resistor R 8 W



Q81 (PUC-SP) A figura mostra o esquema de uma ponte de Wheatstone. Sabe-se que $U = 3\text{ V}$, $R_2 = R_3 = 5\Omega$ e o galvanômetro é de zero central. A ponte entra em equilíbrio quando a resistência $R_x = 2\Omega$.

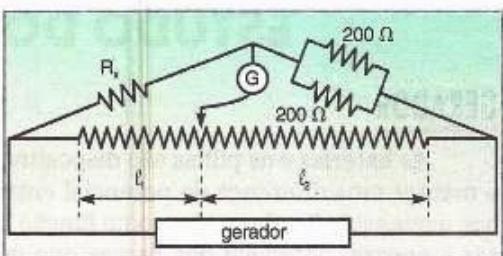
Determine:

- as correntes i_1 e i_2 $0,75\text{ A}$ e $0,3\text{ A}$
- a potência dissipada no resistor R_x $1,125\text{ W}$

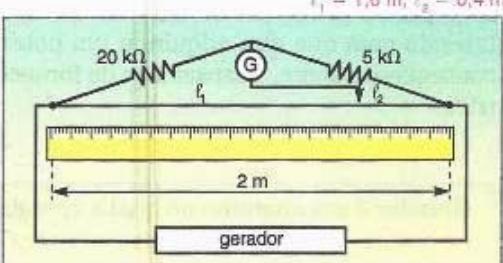


Q82 (UFSC) O circuito da figura é o de uma ponte de fio e serve para determinação de uma resistência desconhecida R_x . Sabendo que a ponte da figura está equilibrada, isto é, o galvanômetro G não acusa nenhuma passagem de cor-

rente elétrica, determine o valor de R_x , na situação de equilíbrio, considerando que $\ell_1 = 20\text{ cm}$ e $\ell_2 = 50\text{ cm}$. 40Ω



Q83 Determine os comprimentos ℓ_1 e ℓ_2 da ponte de fio em equilíbrio, conforme indica a figura. $\ell_1 = 1,6\text{ m}$; $\ell_2 = 0,4\text{ m}$



PESQUISE

I) Como são formadas as imagens numa tevê?



Ciril Dosta / Alamy Stock Photo

II) O que é um transistor?



Sergio Dutra / Alamy Stock Photo

CAPÍTULO 32

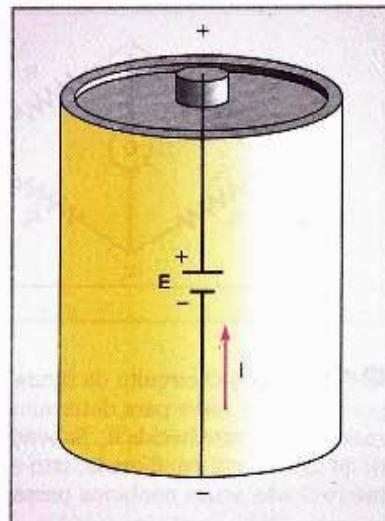
ESTUDO DOS GERADORES

GERADOR

As baterias e as pilhas são dispositivos destinados a manter uma diferença de potencial entre dois pontos aos quais estão ligados e têm como função básica aumentar a energia potencial das cargas que os atravessam. Esses dispositivos são chamados de *geradores*.

Numa pilha, por exemplo, a energia resultante das reações químicas que acontecem no seu interior é utilizada para a realização de um trabalho sobre as cargas, fazendo com que elas adquiram um potencial maior e, consequentemente, a capacidade de fornecer energia elétrica.

Gerador é um aparelho no qual a energia química, a mecânica, a solar ou de outra natureza qualquer é transformada em energia elétrica.



O dínamo do automóvel é um gerador que transforma energia mecânica em elétrica.

Num gerador, as cargas de corrente ΔQ precisam se deslocar do potencial mais baixo (pólo negativo) para um potencial mais alto (pólo positivo). Para continuar esse tipo de movimento, o gerador precisará receber energia. O papel desempenhado pelo gerador no circuito é, precisamente, aumentar a energia potencial da carga ΔQ , à custa da sua energia química ou mecânica, realizando um trabalho $\vec{\zeta}$ sobre ela.

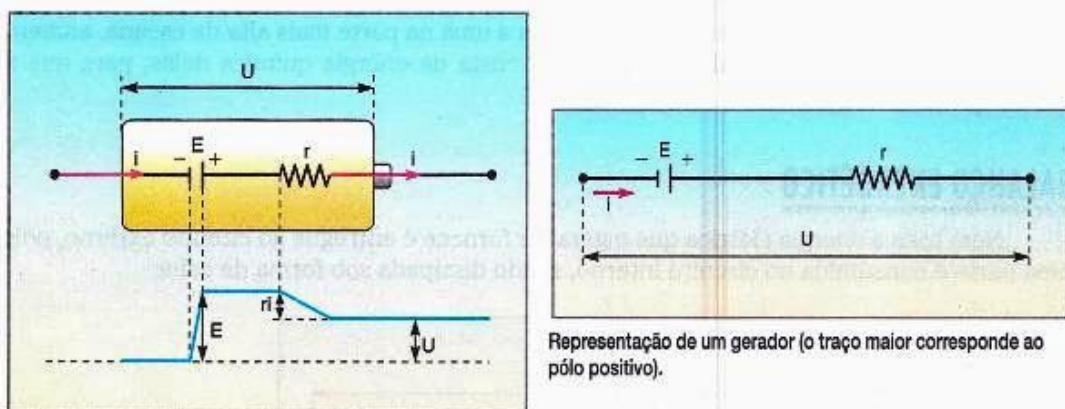
O quociente entre o trabalho $\vec{\zeta}$ realizado para transportar uma carga ΔQ de um pólo a outro de um gerador é denominado *força eletromotriz (fem)* do gerador. A força eletromotriz é representada pela letra E .

$$E = \frac{\vec{\zeta}}{\Delta Q} \rightarrow E = \frac{\text{joule}}{\text{coulomb}} = \text{volt}$$

Como a fem representa um acréscimo de energia à carga que atravessa o gerador, a sua unidades no SI é o *volt*.

A chamada força eletromotriz de um gerador, na verdade, não é uma força. A força eletromotriz é uma diferença de potencial que o gerador poderia fornecer se não houvesse perdas dentro do próprio gerador. Como essas perdas são inevitáveis, pois o gerador também oferece uma resistência à passagem da corrente, a diferença de potencial fornecida é sempre menor do que aquela originária do trabalho do gerador.

Devido a isso, costumamos representar um gerador acompanhado de um pequeno resistor.



Em que: r = resistência interna do gerador.

Para distinguir a diferença de potencial que o gerador fornece de fato da diferença de potencial que ele fornece em condições ideais, chamamos essa última, de forma inadequada, de força eletromotriz.

Observe que a diferença de potencial U que o gerador fornece nos seus terminais é igual à sua força eletromotriz E menos a diferença de potencial correspondente ao produto ri (lei de Ohm). Assim, obtemos:

$$U = E - ri$$

Essa igualdade é chamada de *equação de gerador*.

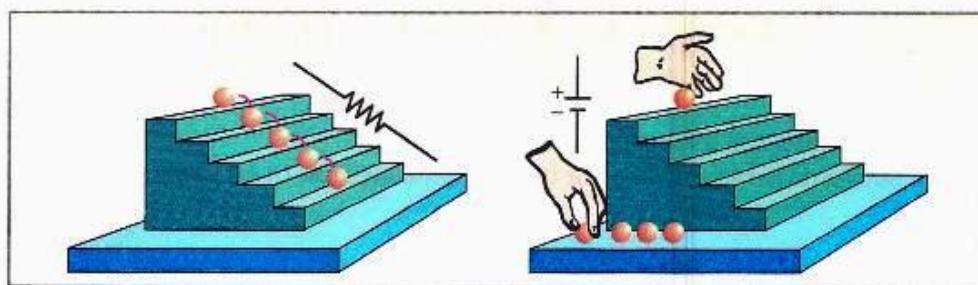
Se a resistência interna do gerador é nula ($r = 0$), o gerador é chamado *gerador ideal*, pois não dissipava energia.

Nesse caso, que não ocorre na prática, a ddp entre seus terminais é igual à sua força eletromotriz.

$$r = 0 \rightarrow U = E$$

Se $i = 0$, também teremos $U = E$. Nesse caso, dizemos que o gerador está em *circuito aberto*.

Na figura seguinte, mostramos uma analogia mecânica da resistência e da força eletromotriz de um gerador.

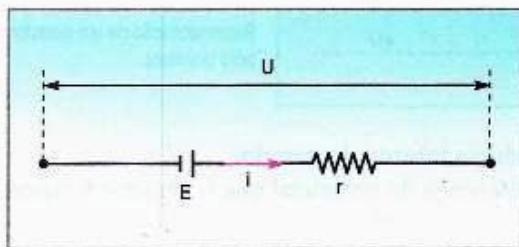


Quando as esferas caem pela escada, a energia potencial gravitacional delas transforma-se em energia cinética. Esta última, por sua vez, transforma-se rapidamente em energia térmica, devido aos choques com os degraus.

Um garoto coloca as esferas (cargas) uma a uma na parte mais alta da escada, aumentando-lhes a energia potencial gravitacional à custa da energia química delas, para que a corrente se mantenha.

BALANÇO ENERGÉTICO

Nem toda a energia elétrica que o gerador fornece é entregue ao circuito externo, pois uma parte é consumida no circuito interno, sendo dissipada sob forma de calor.



Fazendo um balanço energético, temos:



Em que: $P_t = Ei$ (potência total fornecida pelo gerador)

$P_u =Ui$ (potência útil fornecida ao circuito externo)

$P_d = ri^2$ (potência dissipada pelo gerador)

✓ Cálculo da potência total fornecida (desenvolvida) pelo gerador

Considerando o intervalo de tempo Δt e a definição de força eletromotriz, temos:

$$E = \frac{\xi}{\Delta Q} \rightarrow E = \frac{\Delta t}{\Delta Q} \rightarrow E = \frac{P}{i} \rightarrow P_t = Ei$$

✓ Cálculo da potência útil fornecida ao circuito externo

Se a função do gerador é produzir uma corrente elétrica, Ui é a potência útil.

$$P_u = Ui$$

✓ Cálculo da potência dissipada pelo gerador

Como o interior de um gerador é um condutor, e todos os condutores têm resistência elétrica (excetuando-se os supercondutores), a potência dissipada como calor na resistência r é:

$$P_d = ri^2$$

RENDIMENTO DO GERADOR

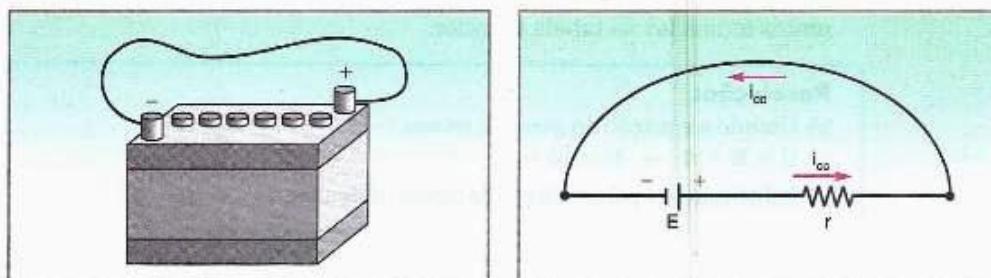
O rendimento elétrico de um gerador é dado pela relação entre a potência elétrica útil fornecida ao circuito externo e sua potência elétrica total gerada.

$$\eta = \frac{P_u}{P_t} \rightarrow \eta = \frac{U \cdot i}{E \cdot i} \rightarrow \eta = \frac{U}{E}$$

CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO

Ligando-se os terminais de um gerador por um fio de resistência desprezível, provoca-se um *curto-circuito*.

Durante o curto-circuito, a potência elétrica total do gerador é integralmente dissipada na resistência interna, causando superaquecimento e possíveis danos ao gerador.



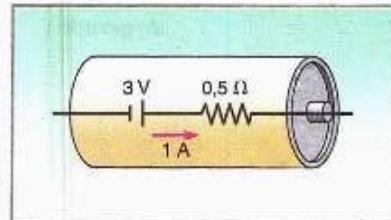
Sendo a tensão entre os terminais do gerador nula ($U = 0$), a corrente que se estabelece — *corrente de curto-círculo* i_{cc} — é a máxima corrente elétrica que pode atravessar um gerador.

APLICAÇÃO

A 15

A pilha da figura está sendo percorrida por uma corrente de 1 A. Determine:

- a ddp entre seus terminais A e B
- a potência dissipada na pilha
- o rendimento da pilha
- a energia entregue ao circuito externo, se a pilha permanecer ligada por 20 s



Resolução:

Dados: $E = 3 \text{ V}$, $r = 0,5 \Omega$, $i = 1 \text{ A}$ e $\Delta t = 20 \text{ s}$

a) Pela equação do gerador:

$$U = E - ri \rightarrow U = 3 - 0,5 \cdot 1 \rightarrow U = 2,5 \text{ V}$$

b) A potência dissipada é:

$$P_d = ri^2 \rightarrow P_d = 0,5 \cdot 1^2 \rightarrow P_d = 0,5 \text{ W}$$

c) Da expressão do rendimento:

$$\eta = \frac{U}{E} \rightarrow \eta = \frac{2,5}{3} \rightarrow \eta = 0,83 \rightarrow \eta = 83\%$$

d) A energia entregue ao circuito externo é a útil. Portanto:

$$\mathcal{E}_u = P_u \cdot \Delta t \rightarrow \mathcal{E}_u = U \cdot i \cdot \Delta t \rightarrow \mathcal{E} = 2,5 \cdot 1 \cdot 20 \rightarrow \mathcal{E} = 50 \text{ J}$$

Respostas: a) 2,5 V; b) 0,5 W; c) 83%; d) 50 J

A 16

Uma bateria tem resistência interna de 2Ω e força eletromotriz de 10 V.

a) Determine a diferença de potencial entre seus terminais ao ser percorrida por uma corrente de intensidade indicada na tabela.

$i(\text{A})$	0	1	2	3	4	5
---------------	---	---	---	---	---	---

b) Construa o gráfico da ddp entre os terminais da bateria em função das correntes indicadas na tabela anterior.

Resolução:

a) Usando a equação do gerador, temos:

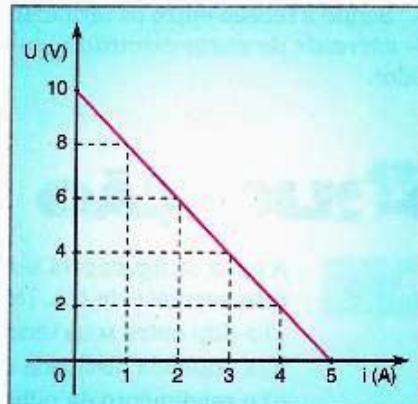
$$U = E - ri \rightarrow U = 10 - 2i$$

Substituindo i pelos valores da tabela, obtemos:

$i(\text{A})$	0	1	2	3	4	5
$U(\text{V})$	10	8	6	4	2	0

b) Colocando os valores da tabela anterior num sistema cartesiano, temos:

Observe que aumentando o valor da corrente, a tensão fornecida pela bateria diminui. Esse gráfico é chamado *curva característica do gerador*.



Resposta: Vide resolução.

QUESTÕES

Q84 Considere as afirmações:

- Um gerador transforma em energia elétrica uma outra forma de energia.
- Num gerador, toda a energia produzida é fornecida ao circuito externo.
- A força eletromotriz de um gerador depende da intensidade da corrente que o atravessa. Quais delas são verdadeiras?

Q85 Uma pilha de fem igual a 10 V e resistência interna de $0,5\ \Omega$, quando em uso, apresenta entre seus terminais uma ddp de 9 V. Determine:
a) a intensidade da corrente que a atravessa **2 A**
b) a potência dissipada na pilha **2 W**
c) o rendimento da pilha **90%**

Q86 Um gerador tem fem igual a 60 V e resistência interna de $0,5\ \Omega$. Ao ser atravessado por uma corrente de 20 A, determine:
a) a potência total gerada pelo gerador **1200 W**
b) a potência dissipada pelo gerador **200 W**
c) a potência transferida ao circuito externo
d) o rendimento elétrico do gerador **= 83% 1000 W**

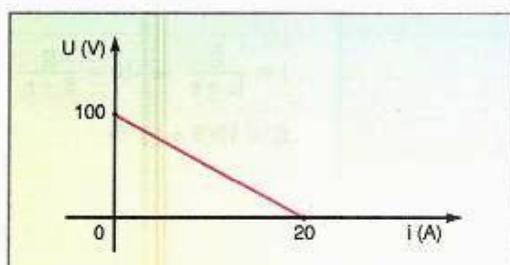
Q87 O motor de arranque de um automóvel, cuja bateria é de 12 V, funciona durante 5 s com uma corrente elétrica de 35 A. Qual a energia fornecida pela bateria nesse intervalo de tempo?
2 100 J

Q88 Uma pilha comum de lanterna tem fem de 1,5 V e resistência interna igual a $0,1\ \Omega$. Determine a intensidade da corrente de curto-círcuito.
15 A

Q89 (UFBA) Nos terminais de um gerador que alimenta um circuito, a ddp passa de 8 V para 5 V, quando a intensidade da corrente que atravessa o gerador passa de 2 A para 5 A. Determine, em ampères, a intensidade da corrente que passa pelo gerador no momento em que a potência transferida para o circuito for máxima. **5 A**

Q90 Medindo-se a ddp entre os terminais de uma bateria, quando por ela passa uma corrente de 2 A, obtém-se 11 V. Quando em circuito aberto, a medida entre esses terminais é 12 V. Determine a fem E e a resistência interna r da bateria.
12 V e 0,5 Ω

Q91 Um gerador apresenta um gráfico característico como o indicado na figura. Determine:
a) a resistência interna do gerador **5 Ω**
b) a fem do gerador **100 V**
c) a intensidade da corrente de curto-círcuito **20 A**
d) a ddp entre os terminais do gerador quando $i = 10$ **50 V**



PESQUISE

- O que são geradores: eletroquímicos, eletromecânicos e fotoelétricos?
- Qual a função do dinamo de um automóvel?

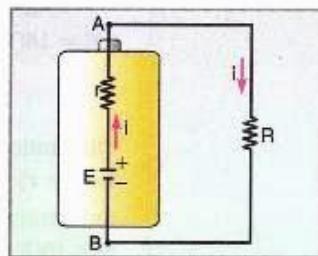
LEI DE POUILLET

Considere o circuito simples constituído por um gerador e um resistor, conforme as características mostradas na figura.

Como a diferença de potencial entre os terminais do gerador $U_{AB} = E - ri$ é a mesma do resistor $U_{AB} = R \cdot i$, comparando as duas expressões obtemos:

$$E - ri = Ri \rightarrow E = R \cdot i + ri \rightarrow E = (R + r) \cdot i$$

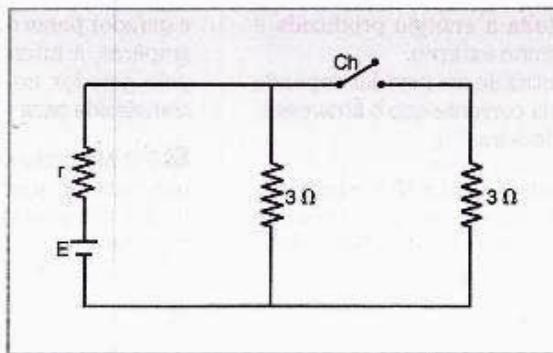
$$i = \frac{E}{R + r}$$



APLICAÇÃO

A17

Um gerador está ligado como indica a figura. Com a chave Ch aberta, a corrente que o atravessa é de 10 A; com a chave fechada, a corrente passa a ser de 16 A. Determine a resistência interna r e a fem E do gerador.

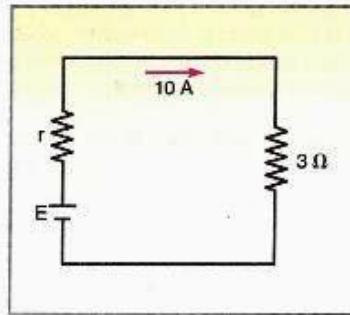


Resolução:

- Com a chave aberta:

$$i = \frac{E}{R + r} \rightarrow 10 = \frac{E}{3 + r}$$

$$E = 10(3 + r) \quad \textcircled{1}$$

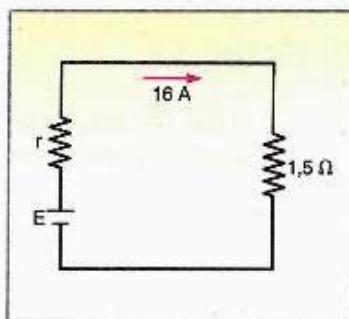


- Com a chave fechada:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \rightarrow R_{eq} = 1,5 \Omega$$

$$i = \frac{E}{R_{eq} + r} \rightarrow 16 = \frac{E}{1,5 + r}$$

$$E = 16(1,5 + r) \quad \textcircled{2}$$



Igualando $\textcircled{1}$ e $\textcircled{2}$:

$$10(3 + r) = 16(1,5 + r) \rightarrow r = 1 \Omega$$

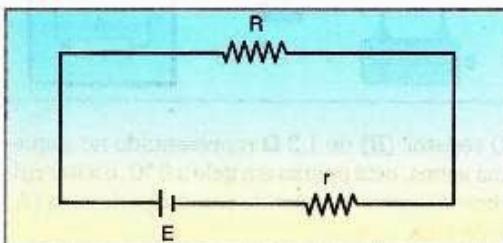
Substituindo-se em $\textcircled{1}$, vem:

$$E = 10(3 + 1) \rightarrow E = 40 \text{ V}$$

Resposta: $E = 40 \text{ V}$ e $r = 1 \Omega$

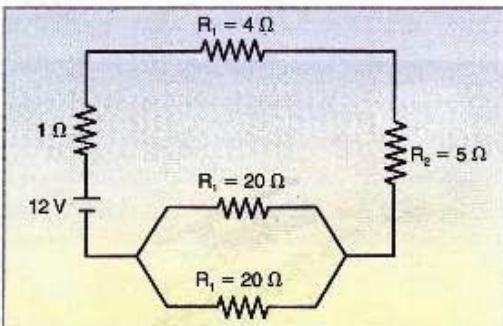
QUESTÕES

Q92 (EEM-SP)



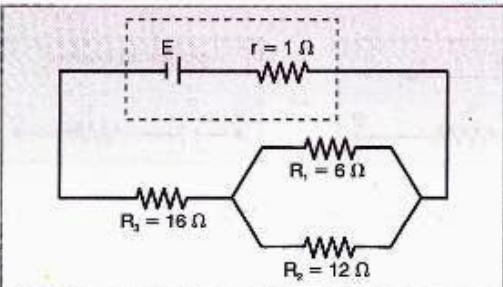
No circuito esquematizado, são dados:
 E = fem do gerador = 9,00 V
 R = resistência do resistor = 2,00 Ω
 r = resistência interna do gerador = 2,5 Ω
Determine a potência dissipada por efeito Joule no gerador. **10 W**

Q93 (UMC-SP) No circuito da figura, determine a intensidade da corrente fornecida pela bateria. **0,6 A**

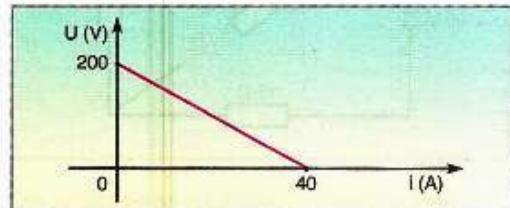


Q94 (UFSM-RS) No circuito representado na figura, a corrente elétrica no resistor R_1 tem intensidade de 4 A. Calcule a fem do gerador.

126 V



Q95 (UFU-MG) A curva de corrente contínua característica, fornecida pelo fabricante de um gerador, está representada na figura. Conectando-se uma lâmpada de resistência $R = 45 \Omega$ a esse gerador, responda:

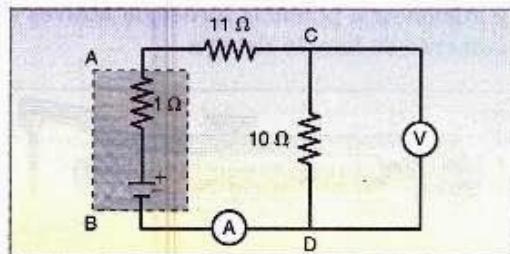


- Qual o valor da corrente elétrica no circuito? **4 A**
- Qual o rendimento do gerador nessa condição? **90%**
- Qual a potência dissipada pela lâmpada?

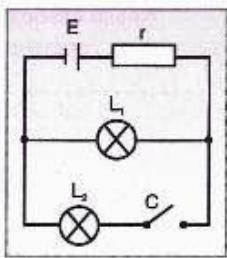
720 W

Q96 (PUC-SP) Na figura, AB representa um gerador de resistência interna $r_g = 1 \Omega$. O amperímetro A e o voltímetro V são instrumentos considerados ideais. O voltímetro acusa 50 V. Pede-se:

- a corrente marcada pelo amperímetro **5 A**
- a corrente de curto-circuito do gerador **110 A**

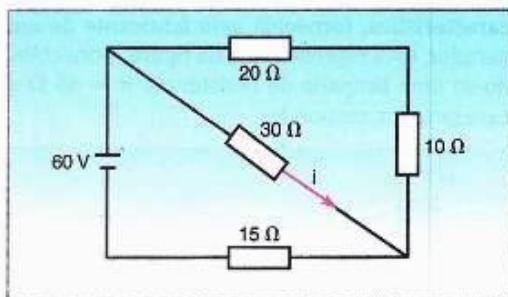


Q97 (UFPR) Um gerador com força eletromotriz $E = 15 \text{ V}$ e resistência interna $r = 1,0 \Omega$ fornece energia a duas lâmpadas idênticas, L_1 e L_2 , com resistência 4Ω cada uma, conforme o circuito da figura. Calcule a potência dissipada pela lâmpada L_1 quando:



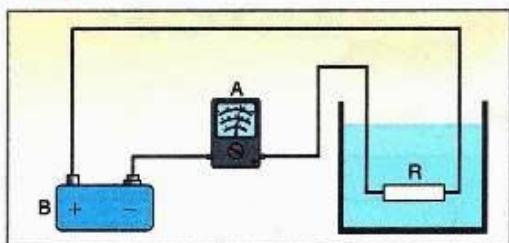
- a chave C estiver aberta **36 W**
- a chave C estiver fechada **25 W**

Q98 (UFAL) O esquema abaixo representa um circuito composto de gerador, fios de ligação e resistores. A resistência interna do gerador e as resistências dos fios de ligação são consideradas desprezíveis.



Com base nos valores indicados no esquema, calcule a corrente elétrica I no resistor de 30Ω , em ampères. **1 A**

Q99 (UERJ)



O resistor (R) de $1,2\Omega$ representado no esquema acima, está imerso em gelo a 0°C , e a intensidade da corrente medida pelo amperímetro (A) é de 10 A .

Sabendo que o calor latente de fusão do gelo é próximo de $3,6 \cdot 10^6\text{ J/kg}$, calcule:

- a força eletromotriz (E) da bateria ideal (B) **12V**
- b) o tempo mínimo necessário para fundir 100 g de gelo **300 s**

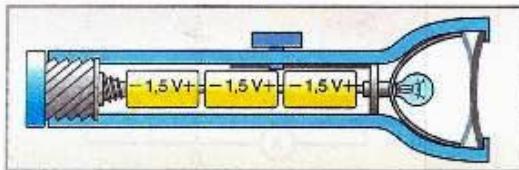
ASSOCIAÇÃO DE GERADORES

Os geradores podem ser associados para melhor aproveitamento das suas características de resistência interna e de força eletromotriz.

Temos dois tipos de associações:

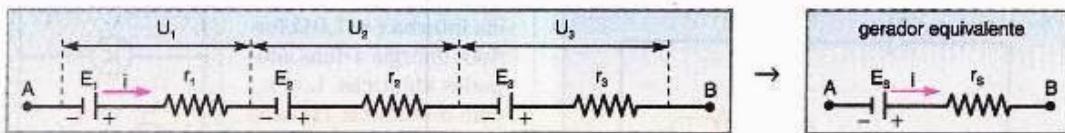
ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE

O objetivo de uma associação em série é aumentar a potência fornecida através do aumento da fem do sistema.



Thick Tip

Nessa associação, o pôlo positivo de um gerador se liga diretamente ao pôlo negativo do outro. Sua representação no circuito é:



Para o cálculo da fem e da resistência do gerador equivalente, temos:

$$U_{AB} = U_1 + U_2 + U_3 \rightarrow U_{AB} = E_1 - r_1 i + E_2 - r_2 i + E_3 - r_3 i$$

$$U_{AB} = E_1 + E_2 + E_3 - (r_1 + r_2 + r_3) \cdot i \quad \textcircled{1}$$

Para o gerador equivalente, temos:

$$U_{AB} = E_s - r_s i \quad \textcircled{2}$$

Igualando as expressões $\textcircled{1}$ e $\textcircled{2}$, vem:

$$E_s - r_s i = E_1 + E_2 + E_3 - (r_1 + r_2 + r_3) \cdot i$$

Daf:
$$\begin{cases} E_s = E_1 + E_2 + E_3 \\ r_s = r_1 + r_2 + r_3 \end{cases}$$

Características da associação em série:

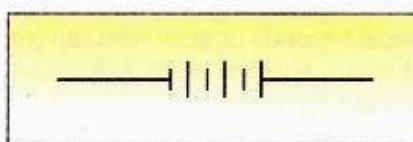
- ✓ a corrente que atravessa todos os geradores é a mesma
- ✓ a fem da associação é a soma das fem dos geradores em série

$$E_s = E_1 + E_2 + E_3$$

- ✓ a resistência interna da associação é a soma das resistências internas dos geradores em série

$$r_s = r_1 + r_2 + r_3$$

Para uma bateria, que geralmente é uma associação em série de geradores, podemos usar também o seguinte símbolo:



Associação em série de geradores.

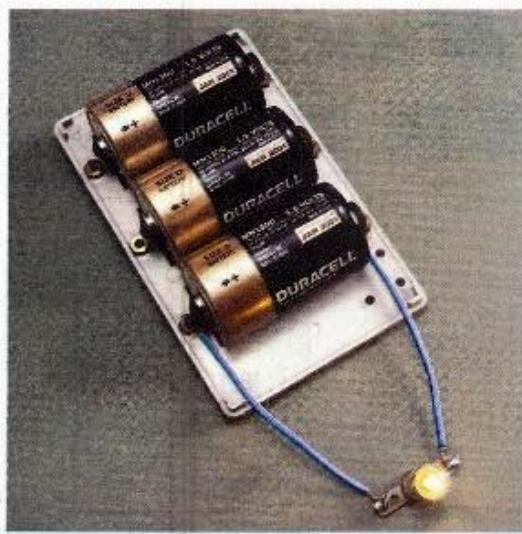
Observando as características de uma associação de geradores em série verificamos porque não devemos usar pilhas novas nem pilhas usadas numa associação em série, pois as usadas têm resistência interna muito grande, o que prejudica bastante a associação.

ASSOCIAÇÃO EM PARALELO

O objetivo de uma associação em paralelo também é o de aumentar a potência fornecida, porém, através do aumento da intensidade da corrente do sistema.

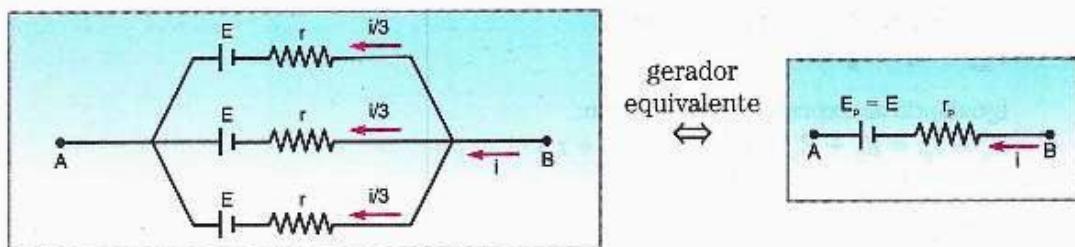
Outra finalidade é diminuir a corrente em cada gerador, a fim de não danificá-lo, mantendo a corrente do sistema acima dos seus limites.

Nessa associação, os pólos positivos são ligados a um único ponto e os pólos negativos a outro.

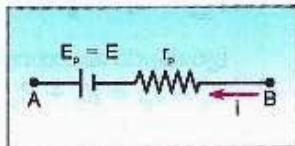


Sergio Datti Jr/line Art

Três pilhas iguais associadas em paralelo.



gerador
equivalente
 \Leftrightarrow



Características da associação em paralelo:

- ✓ a corrente se subdivide entre os geradores
- ✓ a fem da associação é igual àquela de cada um dos geradores associados

$$E_p = E$$

- ✓ o inverso da resistência da associação é igual à soma dos inversos das resistências dos geradores associados

$$\frac{1}{r_p} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \frac{1}{r}$$

Só é prática a associação em paralelo quando os geradores são iguais, pois a associação de geradores diferentes pode resultar em desperdício inútil de energia.

Se a associação tiver n geradores iguais, temos:

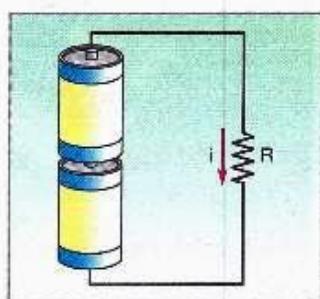
$$\frac{1}{r_p} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \dots + \frac{1}{r} \rightarrow \frac{1}{r_p} = \frac{n}{r} \rightarrow r_p = \frac{r}{n}$$

APLICAÇÃO

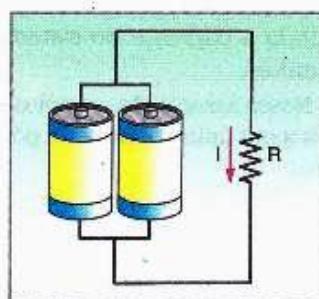
A 18

Duas pilhas iguais, cada uma com fem $E = 1,5\text{ V}$ e resistência interna $r = 0,5\Omega$, são associadas e a associação é ligada a um resistor de 2Ω , conforme as figuras. Determine a intensidade da corrente no resistor em cada uma das associações.

a)



b)



Resolução:

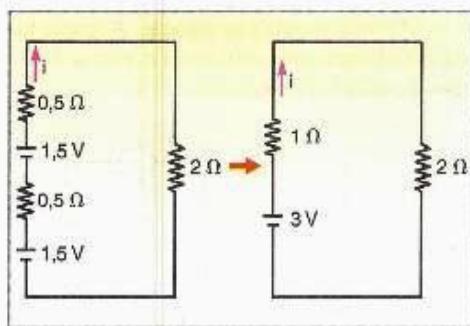
a) A fem e a resistência equivalente da associação em série são:

$$E_s = 1,5 + 1,5 \rightarrow E_s = 3 \text{ V}$$

$$r_s = 0,5 + 0,5 \rightarrow r_s = 1 \Omega$$

Aplicando a lei de Pouillet, determina-se a corrente:

$$i = \frac{E_s}{R + r_s} \rightarrow i = \frac{3}{2 + 1} \\ i = 1 \text{ A}$$



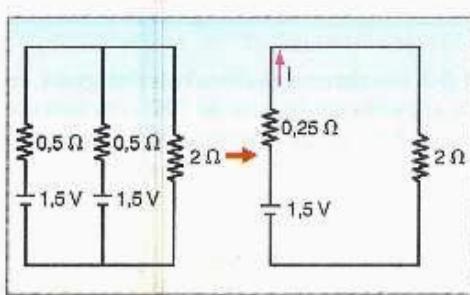
b) A fem e a resistência equivalente da associação em paralelo são:

$$E_p = 1,5 \text{ V}$$

$$r_p = \frac{0,5}{2} = 0,25 \Omega$$

Aplicando a lei de Pouillet:

$$i = \frac{E_p}{R + r_p} \rightarrow i = \frac{1,5}{2 + 0,25} \\ i = 0,67 \text{ A}$$

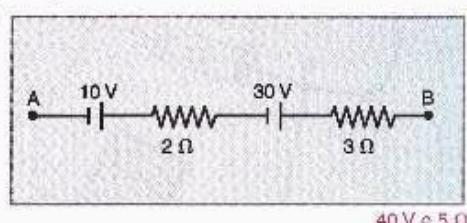


Respostas: a) 1 A; b) = 0,67 A

QUESTÕES

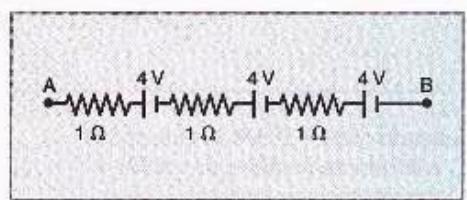
Q100 Calcule a fem e a resistência interna do gerador equivalente entre os pontos A e B das associações:

a)



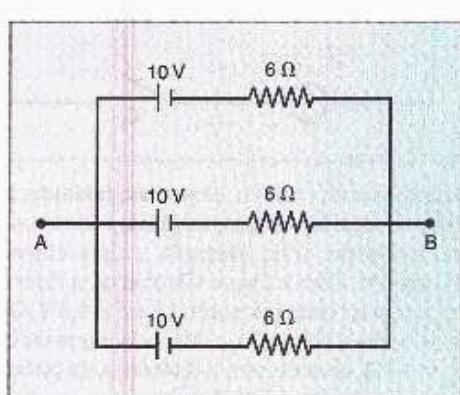
40 V e 5 Ω

b)



12 V e 3 Ω

c)

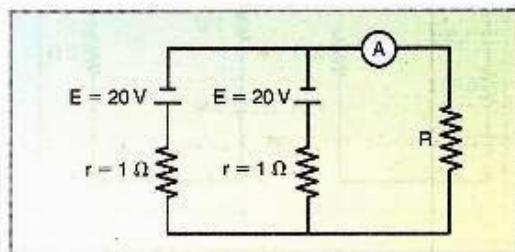


10 V e 2 Ω

Q101 Considere uma associação em série de geradores iguais e uma outra associação em paralelo. Quais são as vantagens e quais as desvantagens desses dois tipos de associações?

A associação em série tem a vantagem de aumentar a fem e a desvantagem de aumentar a resistência interna. A associação em paralelo tem a vantagem de diminuir a resistência interna e a desvantagem de manter a fem da associação.

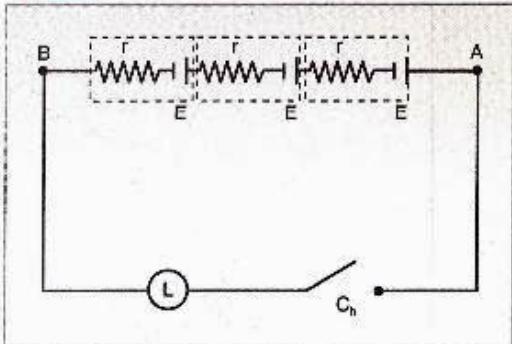
Q102 Dois geradores iguais, cada um com fem de 20 V e resistência interna de 1Ω , são associados, conforme mostra a figura. A corrente indicada pelo amperímetro ideal A vale 4 A. Determine a resistência R . $4,5\Omega$



Q103 Um sistema de cinco baterias iguais, em série, alimenta um resistor de 10Ω com uma corrente de 5 A, ou um resistor de 28Ω com 2 A. Qual a fem e a resistência interna de cada bateria? $12\text{ V} \times 0,4\Omega$

Q104 Quantas pilhas ideais de fem igual a 1,5 V cada uma devem ser associadas em série para fornecer uma corrente de 0,012 A a um resistor de $4\,000\Omega$? 32

Q105 (UMC-SP)



O diagrama representa, esquematicamente, o circuito de uma lanterna: três pilhas idênticas ligadas em série, uma lâmpada e uma chave interruptora. Com a chave Ch aberta, a diferença de potencial entre os pontos A e B é 4,5 V. Quando se fecha a chave Ch, a lâmpada, de resistência $R_L = 10\Omega$, acende-se e a diferença de potencial entre A e B para 4,0 V. Resolva.

- Qual a força eletromotriz de cada pilha? $1,5\text{ V}$
- Qual é a corrente que se estabelece no circuito quando se fecha Ch? $0,4\text{ A}$
- Qual é a resistência interna de cada pilha? $\frac{5}{12}\Omega$
- Qual é a resistência equivalente do circuito? $11,25\Omega$

544

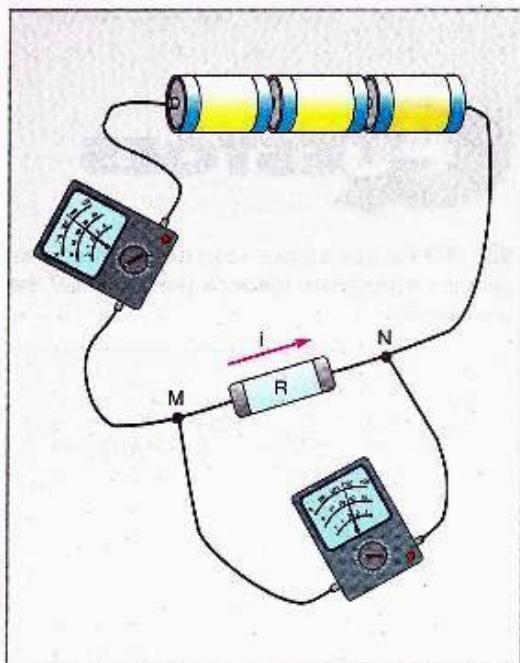
Q106 (UFG) Em um local afastado, aconteceu um acidente com uma pessoa. Um médico excêntrico e amante da Física que lá estava, teve que, de improviso, usar seu equipamento cirúrgico de emergência para atender essa pessoa, antes de encaminhá-la para um hospital. Era necessário esterilizar seus instrumentos. Para fervêr água, o médico, então, retirou baterias de 12 V de cinco carros que lá estavam e as ligou em série. De posse de um resistor de 6Ω para aquecimento, ferveu 300 mL de água, que se encontrava, inicialmente, a 25°C .

Considerando-se o arranjo ideal (recipiente termicamente isolado e de capacidade térmica desprezível e resistência interna das baterias nula), quanto tempo ele gastou para fervêr a água?

Dados:

$1\text{ cal} = 4,2\text{ J}$, calor específico da água = $1\text{ cal/g}^\circ\text{C}$ e densidade da água = $1\,000\text{ g/L}$. $157,5\text{ s}$

Q107 No circuito abaixo, encontram-se: três pilhas de $1,5\text{ V}$ e resistência interna $r = 2,0\Omega$ cada uma; um resistor R de resistência desconhecida; um medidor de tensão cuja resistência é bem maior que a do resistor e um medidor de corrente.



Sabendo que $i = 0,005\text{ A}$, determine:

- a leitura do medidor de tensão $4,47\text{ V}$
- a resistência do resistor R 894Ω

CAPÍTULO 33

ESTUDO DOS RECEPTORES

O QUE É UM RECEPTOR

Os geradores transformam outras formas de energia em energia elétrica.

Porém, existem aparelhos (dispositivos) que fazem o papel oposto, isto é, transformam energia elétrica em outras formas de energia. Esses aparelhos são chamados *receptores*.

Como exemplos, temos:

- ✓ os motores: transformam energia elétrica em mecânica
- ✓ os aparelhos eletrônicos: transformam energia elétrica em energia sonora e luminosa
- ✓ os acumuladores no processo de carga (pilhas ou baterias recarregáveis): transformam energia elétrica em energia química.



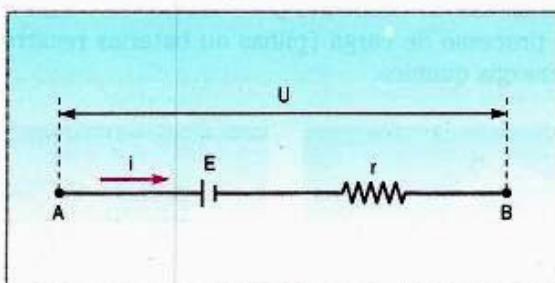
Bateria de automóvel sendo recarregada.

Nesses casos, a força eletromotriz atua no sentido oposto. Não é o aparelho que realiza trabalho sobre as cargas elétricas, mas as cargas elétricas que realizam trabalho sobre o aparelho.

- ✓ A corrente elétrica gera o movimento do eixo do motor.
- ✓ A corrente elétrica aciona os componentes que geram luz e som nos aparelhos eletrônicos.
- ✓ A corrente elétrica provoca reações químicas para recarregar as pilhas.

É importante ressaltar que um dispositivo que transforma a energia elétrica apenas em calor não é considerado um receptor. O chuveiro, o secador de cabelos, o ferro elétrico, por exemplo, são classificados como *resistores* e não como *receptores*.

A corrente elétrica que percorre os receptores depende da resistência interna de seus componentes. Por causa disso, costuma-se adotar para os receptores um símbolo semelhante ao do gerador com o sentido da corrente invertido



A diferença entre o símbolo de um gerador e o de um receptor mostra a diferença do papel das cargas elétricas nesses dois aparelhos.

O gerador realiza trabalho sobre as cargas. Daí a definição de força eletromotriz:

$$E = \frac{\xi}{\Delta Q}$$

No receptor, são as cargas elétricas que realizam trabalho. Daí podemos definir uma grandeza análoga à força eletromotriz, chamada *força contra-eletromotriz (fcem)*:

$$E = \frac{\xi}{\Delta Q}$$

Note que as definições são iguais, mudando somente o agente que realiza o trabalho.

A unidade de fcem no SI é o volt (V).

Percorrendo o receptor no sentido da corrente, observamos que E e r_i representam decréscimo de potencial das cargas que atravessam o receptor.

Por isso, a diferença de potencial U nos terminais do receptor é igual ao trabalho E que as cargas realizam sobre ele mais a perda r_i devida à sua resistência interna. Assim, obtemos:

$$U = E + r_i$$

Essa igualdade é conhecida como *equação do receptor*.

BALANÇO ENERGÉTICO

Ao receber a energia elétrica de um gerador, o receptor transforma parte dela em energia mecânica útil e a outra parte é dissipada internamente por aquecimento.

Conseqüentemente, o receptor diminui a energia potencial das cargas que por ele passam, fornecendo energia mecânica.

Tal qual o gerador, o receptor possui uma resistência interna r que se opõe à passagem da corrente elétrica.

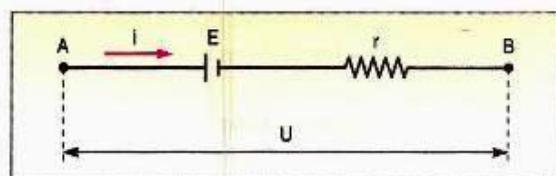
Portanto, nem toda a energia que o receptor consome é utilizada na realização de trabalho, pois uma parte também é consumida no seu circuito interno, sendo dissipada sob a forma de calor.

Para fazer um balanço energético do receptor, vamos multiplicar por i ambos os membros da equação do receptor:

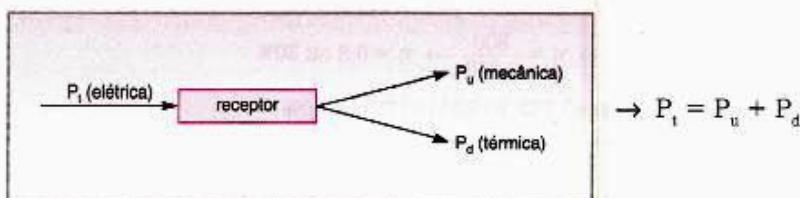
$$U = E + ri \rightarrow U_i = E_i + ri^2$$

Veja o significado desses termos:

- ✓ U_i : potência total fornecida ao receptor ou potência total recebida
- ✓ E_i : potência útil fornecida pelo receptor (potência mecânica ou química que o receptor fornece)
- ✓ ri^2 : potência dissipada por efeito Joule pelo receptor



Substituindo, obtemos:



Sendo:

$$P_t = U_i \text{ (potência total fornecida ao receptor)}$$

$$P_u = E_i \text{ (potência útil fornecida pelo receptor)}$$

$$P_d = ri^2 \text{ (potência dissipada pelo receptor)}$$

O *rendimento elétrico de um receptor* é a relação entre a potência útil fornecida e a potência elétrica total fornecida ao receptor.

$$\eta = \frac{P_u}{P_t} \rightarrow \eta = \frac{E_i}{U_i} \rightarrow \eta = \frac{E}{U}$$

Note que, quando $r = 0$ (receptor ideal), o rendimento é máximo, isto é, $\eta = 1$. Na prática, é impossível um rendimento de 100%.

APLICAÇÃO

A19

Aplica-se uma ddp de 200 V a um motor elétrico de resistência interna $40\ \Omega$. Nessas condições, circula no motor uma corrente elétrica de intensidade 100 mA. Calcule a força contra-eletromotriz desse motor.

Resolução:

Utilizando a equação característica do receptor, temos:

$$U = E + ri \Rightarrow 200 = E + 40 \cdot 0.1 \Rightarrow E = 196 \text{ V}$$

Resposta: 196 V

A 20

Um motor elétrico recebe a potência de 1 000 W, sob tensão de 100 V. Sabendo que a potência dissipada internamente é igual a 200 W, determine:

Resolução:

Dados: $P_1 = 1\,000 \text{ W}$, $U = 100 \text{ V}$ e $P_2 = 200 \text{ W}$

$$P_t = U \cdot i \rightarrow 1000 = 100 \cdot i \rightarrow i = 10 \text{ A}$$

$$b) P_t = P_u + P_d \rightarrow 1\,000 = P_u + 200 \rightarrow P_u = 800 \text{ W}$$

$$c) \eta = \frac{P_u}{P} \rightarrow \eta = \frac{800}{1\,000} \rightarrow \eta = 0,8 \text{ ou } 80\%$$

Respostas: a) $2\ \Omega$; b) $80\ \text{V}$; c) $0,8$ ou 80%

A21

Um receptor tem resistência interna de $4\ \Omega$ e força contra-eletromotriz de 20 V.

- a) Ache a ddp entre seus terminais ao ser percorrido por correntes de intensidades indicadas na tabela.

i(A)	0	1	2	3	4
------	---	---	---	---	---

- b) Construa o gráfico da ddp entre os terminais do receptor em função das correntes indicadas na tabela anterior.

Resolução:

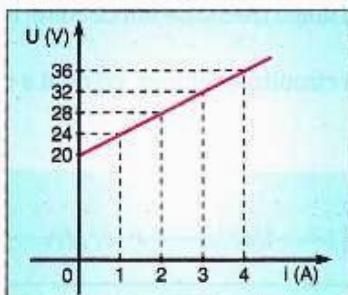
- a) Usando a equação do receptor, temos:

$$U = E + ri \rightarrow U = 20 + 4i$$

Substituindo i pelos valores da tabela, obtemos:

I (A)	0	1	2	3	4
U (V)	20	24	28	32	36

b) Colocando esses valores num sistema cartesiano, obtemos:



Observe que, aumentando o valor da corrente, a tensão nos terminais do receptor aumenta. Esse gráfico é chamado *curva característica do receptor*.

Resposta: Vide resolução.

QUESTÕES

Q108 Explique por que, na representação esquemática de um receptor, o sentido da corrente é do polo positivo para o negativo.

resposta no final do livro

Q109 Um motor com resistência interna 1Ω é percorrido por uma corrente de intensidade 4 A e transforma, da forma elétrica em mecânica, a potência de 200 W . Calcule:

- a) a fcem **50 V**
- b) a ddp nos seus terminais **54 V**
- c) a potência recebida pelo motor **216 W**
- d) o rendimento do motor = **0,926 ou 92,6%**

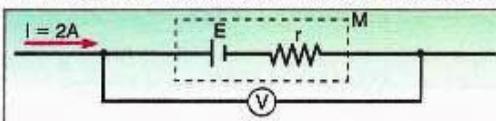
Q110 Um receptor tem fcem igual a 80 V e resistência interna de 1Ω . Ao ser atravessado por uma corrente de 6 A , determine:

- a) a potência consumida pelo receptor **516 W**
- b) a potência dissipada pelo efeito Joule **36 W**
- c) o rendimento elétrico do receptor = **93%**

Q111 Um motor recebe de um circuito a potência de 800 W , sob ddp de 100 V , e dissipa internamente uma potência de 320 W . Calcule:

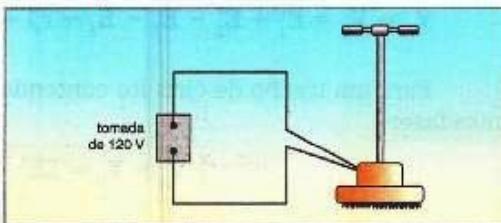
- a) a fcem **60 V**
- b) sua resistência interna **5 Ω**

Q112 O motor M representado na figura tem um rendimento de 80% . O voltímetro indica 5 V .



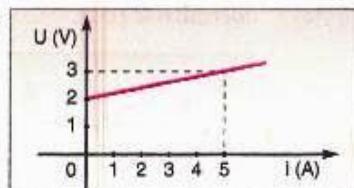
Determine E e r : $E = 4\text{ V}$, $r = 0,5\Omega$

Q113 A figura esquematiza o circuito elétrico de uma enceradeira em movimento. A potência elétrica dissipada por ela é de 20 W e sua fcem, 110 V . Calcule a resistência interna da enceradeira. **5 Ω**



Q114 (Covest-PE) O motor elétrico de uma bomba-d'água é ligado a uma rede elétrica que fornece uma ddp de 220 V . Em quantos segundos o motor da bomba consome uma energia de $35,2\text{ kJ}$, se por ele circula uma corrente elétrica de 2 A ? **80 s**

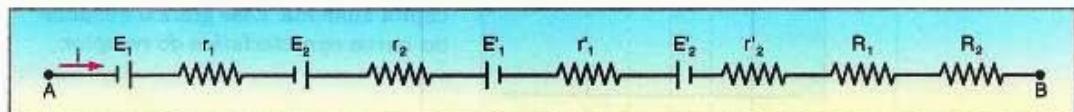
Q115 (UFBA) O gráfico representa a curva característica de um receptor elétrico. Calcule, em joules, a energia consumida pelo receptor, quando percorrido por uma corrente de 4 A durante 5 s . **56 J**



LEI DE OHM GENERALIZADA

Quando estamos interessados em um único trecho de um circuito, não precisamos estudá-lo por inteiro.

Consideremos um trecho \overline{AB} de um circuito qualquer, no qual a corrente vai de A para B ($V_A > V_B$).



Vamos percorrer esse trecho de circuito, no sentido da corrente, adicionando algebraicamente todas as variações de potencial que ocorrem em cada um dos seus elementos.

Lembre que os geradores elevam o potencial das cargas elétricas e os receptores e resistores retiram energia dessas cargas.

Partindo do ponto A , de potencial elétrico V_A , vamos atingir o ponto B , de potencial elétrico V_B .

$$V_A + E_1 - r_1 i + E_2 - r_2 i - E'_1 - r'_1 i - E'_2 - r'_2 i - R_1 i - R_2 i = V_B$$

A ddp entre os pontos A e B , fica:

$$V_A - V_B = E'_1 + E'_2 - E_1 - E_2 + r_1 i + r_2 i + r'_1 i + r'_2 i + R_1 i + R_2 i$$

Para um trecho de circuito contendo vários geradores, receptores e resistores, podemos fazer:

$$V_A - V_B = \Sigma E' - \Sigma E + \Sigma (r + r' + R) i$$

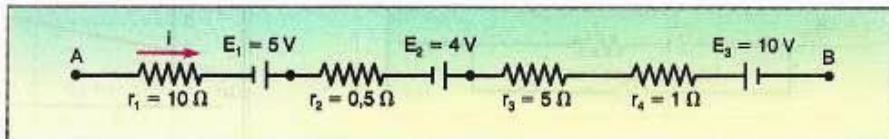
Essa é a expressão da *lei de Ohm generalizada*. Ela permite determinar a diferença de potencial entre dois pontos de um trecho de circuito que contém geradores, receptores e resistores.

Se o trecho do circuito for percorrido em sentido contrário ao da corrente, invertem-se os sinais.

APLICAÇÃO

A22

Calcule a ddp entre os pontos A e B da figura, sabendo-se que a intensidade da corrente é 10 A.



Resolução:

Partindo do ponto A, de potencial V_A , e caminhando no sentido da corrente, temos:

$$V_A - r_1 i + E_1 - r_2 i + E_2 - r_3 i - r_4 i - E_3 = V_B$$

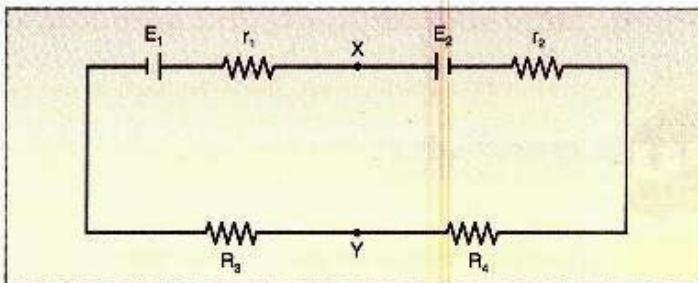
$$V_A - 10 \cdot 10 + 5 - 0,5 \cdot 10 + 4 - 5 \cdot 10 - 1 \cdot 10 - 10 = V_B$$

$$V_A - V_B = 166 \text{ V}$$

Resposta: 166 V

A 23

Considere o circuito indicado na figura.

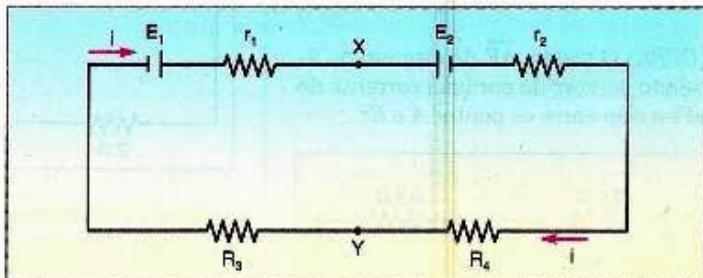


Dados: $E_1 = 30 \text{ V}$; $E_2 = 50 \text{ V}$; $r_1 = 1 \Omega$; $r_2 = 2 \Omega$; $R_3 = 3 \Omega$; $R_4 = 4 \Omega$, calcule:

- a intensidade da corrente no circuito
- a diferença de potencial entre os pontos X e Y

Resolução:

a) Adotaremos, em primeiro lugar, um sentido de percurso arbitrário para a corrente elétrica. O sentido horário, por exemplo.



Usando a lei de Ohm generalizada, vamos percorrer todo o circuito adicionando algebricamente as diferenças de potencial que ocorrem em cada um dos seus elementos. Assim, partiremos do ponto X de potencial V_x e percorreremos o circuito no sentido horário. Quando chegarmos ao fim do circuito, estaremos novamente no mesmo ponto X, de potencial V_x . Logo:

$$V_x - E_2 - r_2 i - R_4 i + E_1 - r_1 i = V_x$$

$$-E_2 - r_2 i - R_4 i + E_1 - r_1 i = 0$$

Como no fim do circuito estamos no mesmo potencial de início, a soma dos potenciais deve ser sempre nula.

Substituindo os valores, obtemos:

$$-50 - 2i - 4i - 3i + 30 - 1i = 0 \rightarrow i = -2\text{ A}$$

Como a corrente é negativa, seu sentido é contrário ao estabelecido no início. Logo, a corrente no circuito tem intensidade 2 A e sentido anti-horário.

Observe que, no início, poderíamos indicar o sentido correto ao observar que $E_2 > E_1$ e, portanto, E_2 é um gerador.

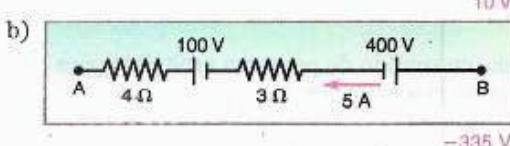
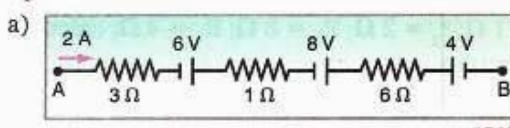
- b) Mantendo o sentido de circulação da corrente indicado no início, e percorrendo o trecho de circuito entre os pontos X e Y , temos:

$$\begin{aligned} V_x - E_2 - r_2 i - R_4 i &= V_y \\ V_x - 50 - 2(-2) - 4(-2) &= V_y \\ V_x - V_y &= 38 \text{ V} \end{aligned}$$

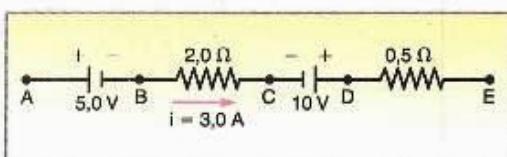
Respostas: a) 2 A; b) 38 V

QUESTÕES

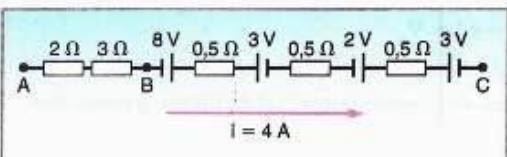
Q116 Calcule a ddp entre os pontos A e B das figuras:



Q117 (UFPA) O trecho \overline{AE} do circuito da figura está sendo percorrido por uma corrente de 3,0 A. Qual é a ddp entre os pontos A e E ? $2,5\text{ V}$



Q118 (Unirio-RJ) A figura representa um trecho de um circuito percorrido por uma corrente com uma intensidade de 4,0 A.

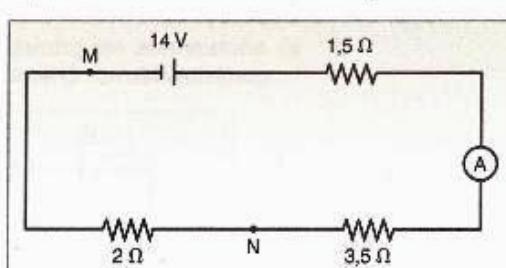


Determine:

a) a diferença de potencial entre os pontos A e B $(V_A - V_B) \text{ } 16\text{ V}$

b) a diferença de potencial entre os pontos C e B $(V_C - V_B) \text{ } -9\text{ V}$

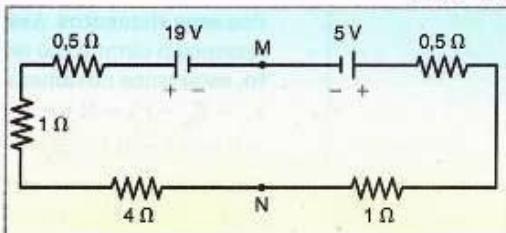
Q119 Considere o circuito da figura.



- a) Qual a indicação do amperímetro A ? 2 A
b) Ache a ddp entre os pontos M e N . -4 V

Q120 Ache a intensidade da corrente e a ddp entre os pontos M e N do circuito a seguir.

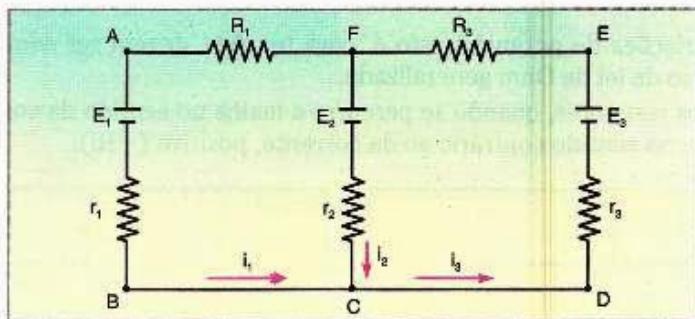
$2\text{ A e } -8\text{ V}$



LEIS DE KIRCHHOFF

Os circuitos elétricos podem conter geradores, receptores e resistências ligados de tal modo que haja mais de um percurso para a corrente elétrica. Esses circuitos são conhecidos por *redes elétricas*.

Considere a rede elétrica, onde se encontram geradores, receptores e resistores:



Chamamos de:

- ✓ *Nó*: qualquer ponto do circuito *comum* a três ou mais condutores. No circuito: C e F
- ✓ *Ramo*: qualquer trecho do circuito compreendido entre dois nós consecutivos. No circuito apresentado, os ramos são: FABC, CDEF e FC
- ✓ *Malha*: qualquer conjunto de ramos formando um circuito fechado. No circuito apresentado são malhas: ABCFA, CDEFCA e ABDEA

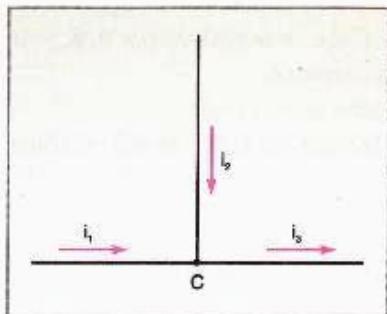
Podemos calcular as intensidades das correntes em cada ramo de uma rede elétrica usando as seguintes leis de Kirchhoff:

1^a LEI: LEI DOS NÓS

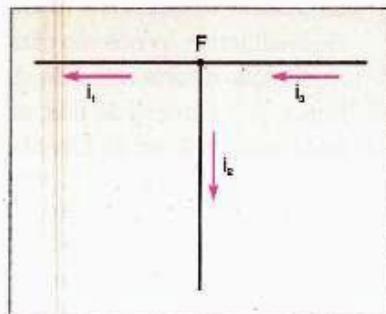
Considerando o princípio da conservação da carga elétrica, o físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) enunciou:

A soma das intensidades das correntes que chegam a um nó é igual à soma das intensidades das correntes que deixam o nó.

Para os nós do circuito, temos:



$$i_3 = i_1 + i_2$$



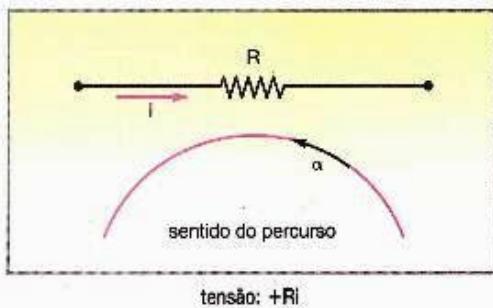
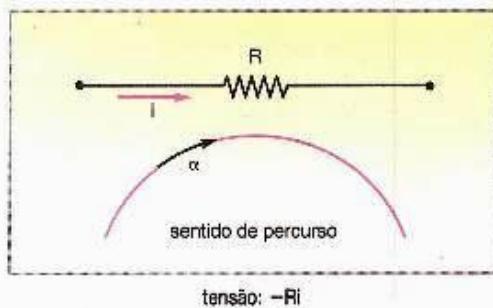
2º LEI: LEI DAS MULHAS

Considerando que para um mesmo ponto de um circuito elétrico a ddp é nula, Kirchhoff enunciou:

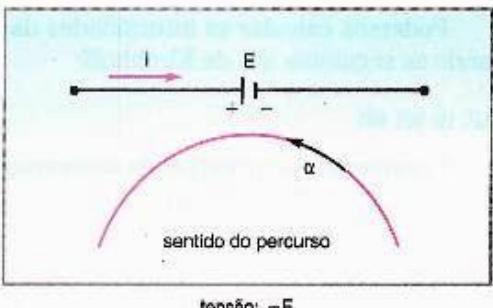
Percorrendo-se uma malha, num mesmo sentido, é nula a soma algébrica das tensões encontradas em cada elemento do circuito.

Para as variações de potencial, isto é, para tensões, devem ser adotadas as mesmas regras de percurso da lei de Ohm generalizada.

No caso dos resistores, quando se percorre a malha no sentido da corrente a tensão é negativa ($-R_i$) e, no sentido contrário ao da corrente, positiva ($+R_i$).



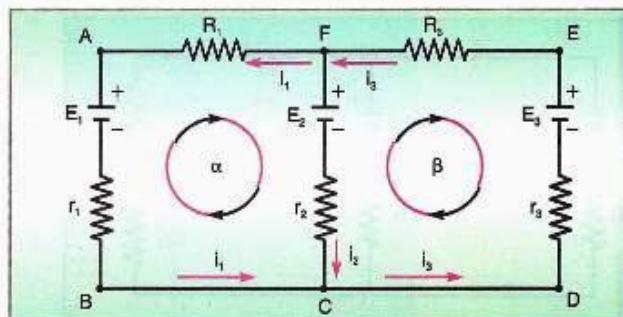
No caso de geradores ou receptores, o sinal da fem ou da fcem será o do pólo de saída no sentido do percurso escolhido.



Na resolução dos circuitos elétricos, utilizando-se as leis de Kirchhoff, devem ser observadas as seguintes etapas:

- 1º) Identificação dos nós e malhas do circuito.
Normalmente, os nós são caracterizados pelas letras A, B, C etc., e as malhas por α, β, γ etc.
 - 2º) Atribuição a cada ramo do circuito de um sentido para a corrente.
 - 3º) Sendo n o número de nós, aplicação da 1ª lei de Kirchhoff a $(n - 1)$ nós.
 - 4º) Aplicação da 2ª lei de Kirchhoff a um número de malhas tal que, juntamente com o número de equações para nós, permita a obtenção de um sistema com tantas equações quantas forem as correntes que se queira determinar.
 - 5º) Análise dos resultados obtidos para as correntes.
Caso uma intensidade de corrente resulte negativa, significa que seu sentido é o *contrário* daquele assumido na 2ª etapa.

Por exemplo, aplicando as leis de Kirchhoff na rede elétrica dada, obtemos as equações:



$$\text{Nó } C \rightarrow i_3 = i_1 + i_2$$

$$\text{Nó } F \rightarrow i_1 + i_2 = i_3$$

$$\text{Malha AFCBA: } \alpha \rightarrow R_1 \cdot i_1 - E_2 - r_2 i_2 + r_1 i_1 + E_1 = 0$$

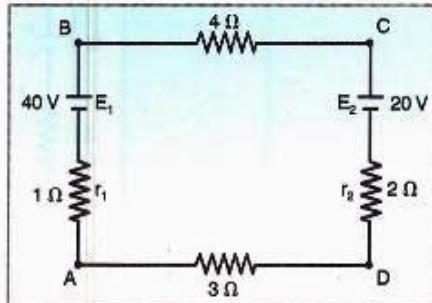
$$\text{Malha CFEDC: } \beta \rightarrow r_2 i_2 + E_2 + R_3 \cdot i_3 - E_3 + r_3 i_3 = 0$$

$$\text{Malha EDBA: } \gamma \rightarrow R_3 \cdot i_3 + R_1 \cdot i_1 - E_3 + r_3 i_3 + r_1 i_1 + E_1 = 0$$

APLICAÇÃO

24

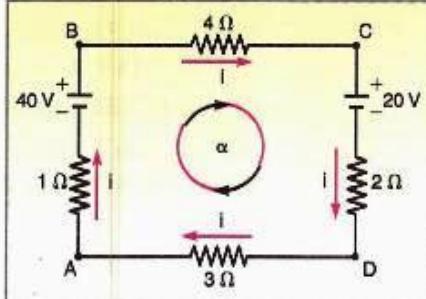
No circuito da figura, determine:
a) a intensidade da corrente
b) a ddp entre os pontos *B* e *D*



Resolução:

a) A figura representa um circuito de uma única malha, tendo a corrente um único caminho.

Como $E_1 > E_2$, o sentido da corrente é o horário. Logo, E_1 é gerador e E_2 , receptor. Percorrendo a malha no sentido da corrente, a partir de *A*, temos:



$$\alpha \rightarrow -1i + 40 - 4i - 20 - 2i - 3i = 0 \rightarrow i = 2 \text{ A}$$

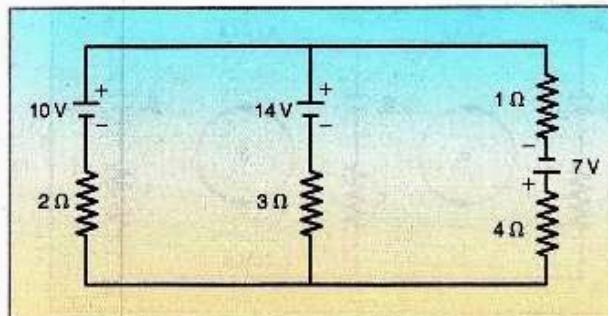
b) A ddp entre os pontos *B* e *D* fica:

$$V_B - 4i - 20 - 2i = V_D \rightarrow V_B - 4 \cdot 2 - 20 - 2 \cdot 2 = V_D \rightarrow V_B - V_D = 32 \text{ V}$$

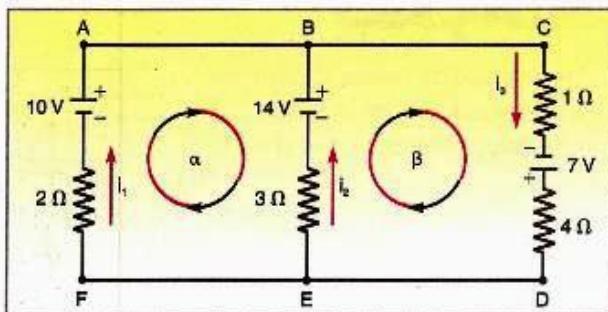
Respostas: a) 2 A; b) 32 V

A 25

No circuito da figura, determine as intensidades da corrente em cada ramo.

**Resolução:**

Após identificar nós, ramos e malhas do circuito, atribuímos a cada ramo um sentido de corrente (i_1 , i_2 e i_3). Em seguida, escolhemos um sentido de percurso para cada uma das malhas.



Aplicando a lei dos nós:

$$\bullet \text{nó } B \rightarrow i_3 = i_1 + i_2 \quad \textcircled{1}$$

Aplicando a lei das malhas:

$$\bullet \text{malha ABEFA, sentido horário a partir de } A$$

$$(\textcircled{\alpha}) \rightarrow -14 + 3i_2 - 2i_1 + 10 = 0 \rightarrow -4 + 3i_2 - 2i_1 = 0 \quad \textcircled{2}$$

$$\bullet \text{malha BCDEB, sentido horário a partir de } B$$

$$(\textcircled{\beta}) \rightarrow -i_3 + 7 - 4i_3 - 3i_2 + 14 = 0 \rightarrow -5i_3 - 3i_2 + 21 = 0 \quad \textcircled{3}$$

Obtemos o sistema de três equações (1, 2 e 3) e três incógnitas (i_1 , i_2 e i_3):

$$\begin{cases} i_3 = i_1 + i_2 \\ -4 + 3i_2 - 2i_1 = 0 \\ -5i_3 - 3i_2 + 21 = 0 \end{cases}$$

Resolvendo o sistema, obtemos:

$$i_1 = 1 \text{ A}, i_2 = 2 \text{ A} \text{ e } i_3 = 3 \text{ A}$$

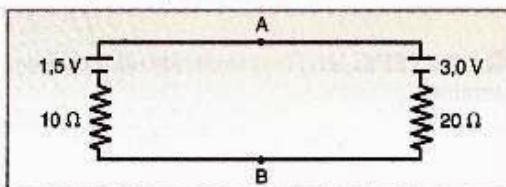
Se uma das correntes for negativa, seu sentido seria contrário ao escolhido.

Resposta: $i_1 = 1 \text{ A}$, $i_2 = 2 \text{ A}$ e $i_3 = 3 \text{ A}$

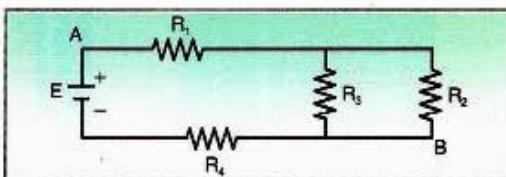
QUESTÕES

Q121 (Vunesp-SP) O esquema representa duas pilhas ligadas em paralelo, com as resistências internas indicadas.

- Qual o valor da corrente que circula pelas pilhas? **0,05 A**
- Qual é o valor da ddp entre os pontos *A* e *B* e qual o ponto de maior potencial? **2 V, ponto A**
- Qual das duas pilhas está funcionando como receptor? **a pilha de fem 1,5 V**

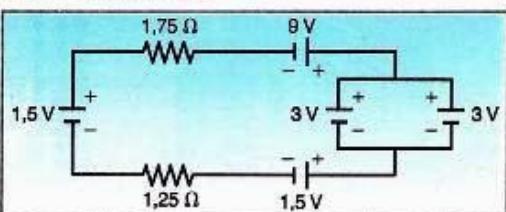


Q122 (UFRN) No circuito elétrico mostrado na figura, a força eletromotriz *E* é igual a 10 V, e as resistências R_1 , R_2 , R_3 e R_4 valem 1,0 ohm, 2,0 ohm, 4,0 ohm e 1,0 ohm, respectivamente. A resistência dos demais trechos do circuito é desprezível.

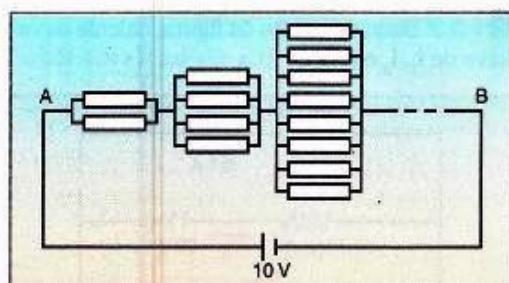


- Determine as correntes que fluem nos resistores. **3 A, 2 A, 1 A e 3 A**
- Determine a diferença de potencial entre os pontos *A* e *B* mostrados na figura. **7 V**

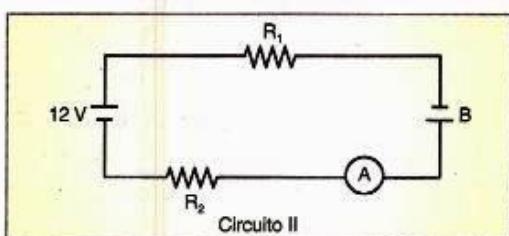
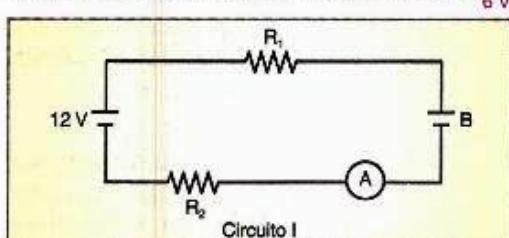
Q123 No circuito apresentado na figura, estão representadas diversas fontes de força eletromotriz de resistência interna desprezível que alimentam os resistores $R_1 = 1,75 \Omega$ e $R_2 = 1,25 \Omega$. Determine a intensidade da corrente *i* do circuito. **2 A**



Q124 (UFES) Considere o circuito elétrico dado abaixo. Nele há uma bateria de 10 V, à qual está conectado um conjunto de resistores formado por uma série infinita (considere infinita) de subconjuntos de resistores em paralelo. O conjunto conectado no ponto *A* tem dois resistores em paralelo; o seguinte, quatro; o seguinte, oito, e assim por diante. Se todos os resistores são iguais a 10 ohms, qual é a potência, em watts, consumida pelo circuito? Considere nula a resistência interna da bateria. **10 W**

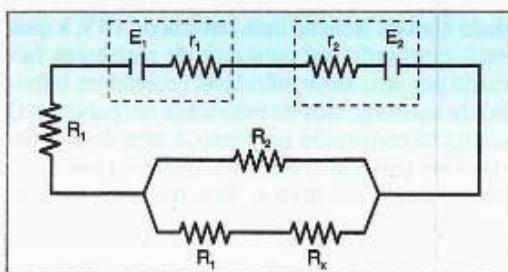


Q125 Os circuitos I e II foram montados para a determinação do valor da força eletromotriz, fem, da bateria, *B*. Neles foram utilizados os mesmos componentes elétricos. Na montagem do circuito I, o amperímetro *A* indicou uma corrente $I_1 = 1 \text{ A}$ e na montagem do circuito II, indicou uma corrente $I_2 = 3 \text{ A}$. As resistências internas das duas baterias e do amperímetro são de valor desprezível. Qual o valor da fem da bateria *B*? **6 V**

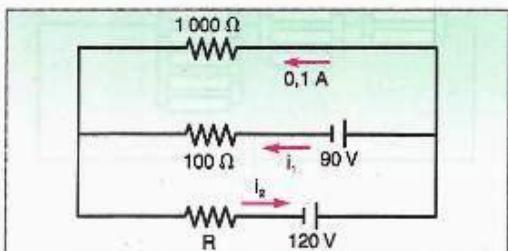


Q126 (UFSC) No circuito, determine o valor de R_x a fim de que a corrente total, fornecida pelas baterias, seja igual a 2 A.

(Dados: $E_1 = 48\text{ V}$, $E_2 = 4\text{ V}$, $r_1 = 1,2\Omega$, $r_2 = 0,8\Omega$, $R_1 = 10\Omega$, $R_2 = 20\Omega$.) 10

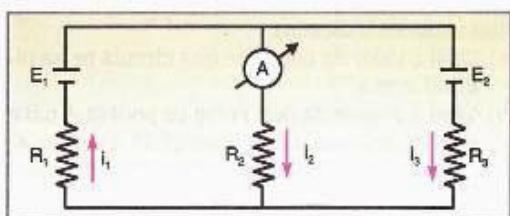


Q127 Dado o circuito da figura, calcule os valores de i_1 , i_2 e R . $i_1 = 0,1\text{ A}$, $i_2 = 0,2\text{ A}$ e $R = 100\Omega$

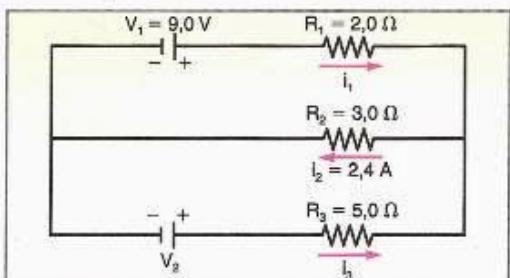


Q128 (UFSC) No circuito da figura, determine o valor da intensidade da corrente i_2 , que será lida no amperímetro A , supondo-o ideal (isto é, com resistência interna nula).

(Dados: $E_1 = 100\text{ V}$, $E_2 = 52\text{ V}$, $R_1 = 4\Omega$, $R_2 = 10\Omega$, $R_3 = 2\Omega$, $i_1 = 10\text{ A}$.) 6



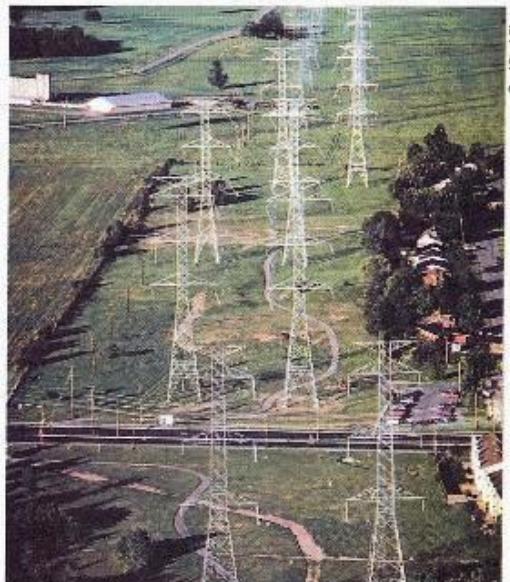
Q129 (EFEI-MG) Dado o circuito da figura, determine V_2 . 14,7 V



PESQUISE

I) Descreva o longo caminho que a eletricidade percorre, desde as usinas hidrelétricas até sua casa. O que é uma rede: monofásica, bifásica ou trifásica?

II) Entreviste uma pessoa cuja profissão a obrigue a usar diariamente a teoria da eletricidade. Conte como é.



UNIDADE XII



Eletromagnetismo

CAPÍTULO 34

CAMPO MAGNÉTICO

INTRODUÇÃO

Os fenômenos magnéticos são conhecidos desde a Antigüidade. Naquela época já se utilizavam certas pedras — que tinham a propriedade de atrair pedaços de ferro — na orientação da rota de grandes viagens.

O vocábulo *magnetismo* é devido a uma região chamada Magnésia, localizada na Turquia, local em que essas pedras foram encontradas. Quando suspensas por seus centros de massa, tais pedras orientavam-se sempre no sentido norte-sul. Eram constituídas de óxido de ferro e denominadas magnetita. Atualmente recebem o nome genérico de *ímã natural*. Só mais tarde se descobriu a possibilidade de fabricar *ímãs artificiais*.

Os ímãs artificiais são, normalmente, barras de ferro ou aço às quais se transmite a propriedade magnética. Eles levam vantagem sobre os ímãs naturais por terem maior poder atrativo e também porque podem receber a forma mais conveniente ao seu uso.

Todo ímã apresenta duas regiões distintas, denominadas pólos, que possuem comportamentos opostos: polo norte e polo sul.

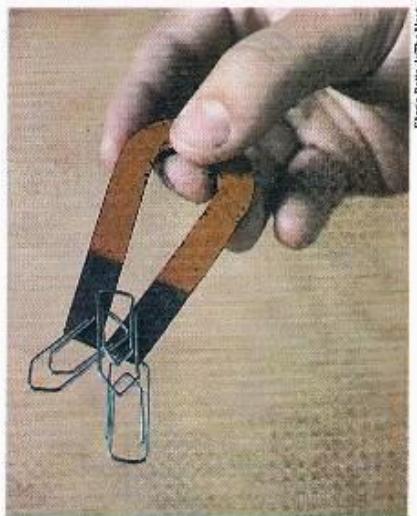
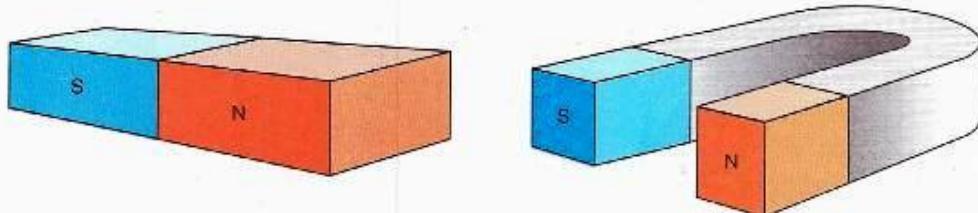
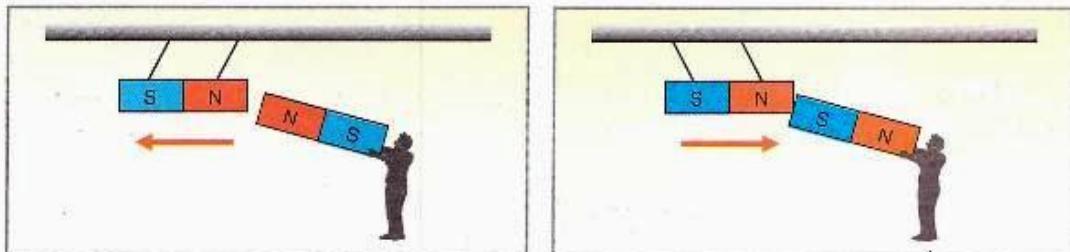


Foto: Duda Júlio/One Next



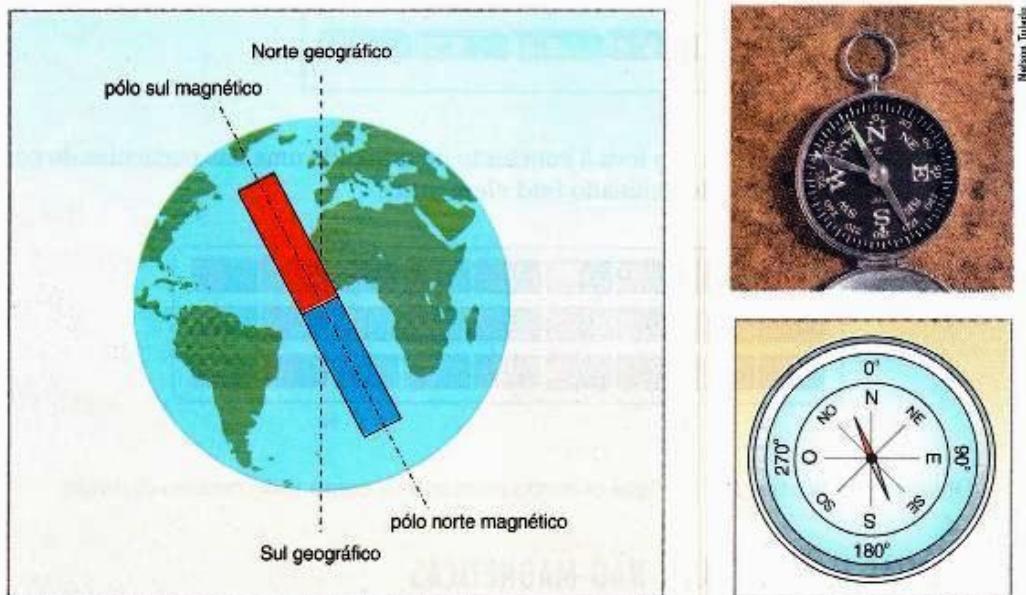
A experiência comprova a seguinte propriedade básica do magnetismo:

Pólos magnéticos de mesmo nome se repelem e de nomes contrários se atraem.



Um exemplo dessa propriedade é a bússola, que foi inventada pelos chineses. Constitui-se de um pequeno ímã em forma de losango, denominado agulha magnética, com possibilidade de girar em torno do seu centro de massa.

Verifica-se que um dos pólos aponta, aproximadamente, para o Norte geográfico e o outro, para o Sul geográfico.



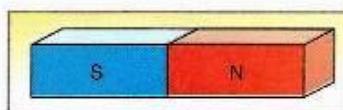
Isso ocorre porque a Terra se comporta como um enorme ímã, cujo pôlo norte magnético está situado nas proximidades do pôlo Sul geográfico e vice-versa.

Chamamos de pôlo norte da agulha magnética à extremidade que aponta para o Norte geográfico, pois é atraída pelo pôlo sul magnético. O outro é chamado pôlo sul da agulha magnética.

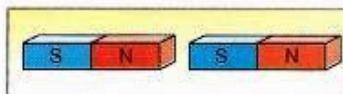
INSEPARABILIDADE DOS PÓLOS

Experimentalmente, pode-se verificar também que um único pôlo não pode existir isoladamente.

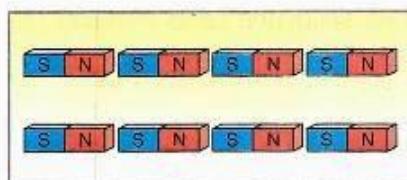
Imagine um ímã em forma de barra com seus pólos norte e sul.



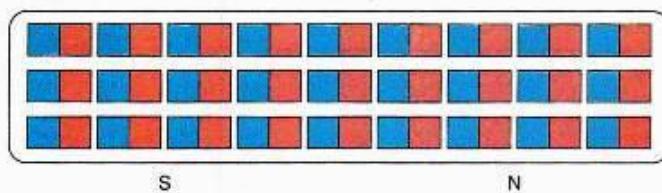
Se o seccionarmos ao meio, surgirão novos pólos norte e sul em cada um dos pedaços, constituindo cada um deles um novo ímã.



Se continuarmos com essa experiência de divisão de cada ímã em dois outros, obteremos ímãs cada vez menores, até que atinjam dimensões elementares.



Essa linha de raciocínio nos leva à conclusão de que cada uma das partículas do corpo anterior é um pequeno ímã, denominado *ímã elementar*.

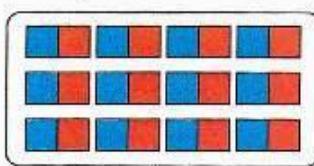


Observe, na ilustração, por que o corpo se mantém como ímã, mesmo dividido.

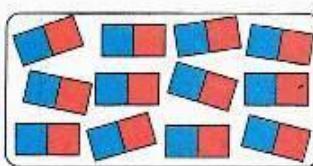
SUBSTÂNCIAS MAGNÉTICAS E NÃO-MAGNÉTICAS

Dizemos que um corpo apresenta propriedades magnéticas quando há uma predominância de ímãs orientados sobre os demais.

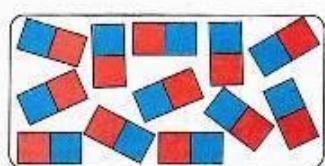
Podem-se distinguir três casos:



corpo fortemente imantado



corpo fracamente imantado



corpo não-imantado

Denominam-se substâncias magnéticas aquelas que permitem a orientação de seus ímãs elementares.

Exemplos: ferro, níquel e algumas ligas metálicas — como o aço.

As substâncias não-magnéticas são aquelas que não permitem a orientação de seus ímãs elementares.

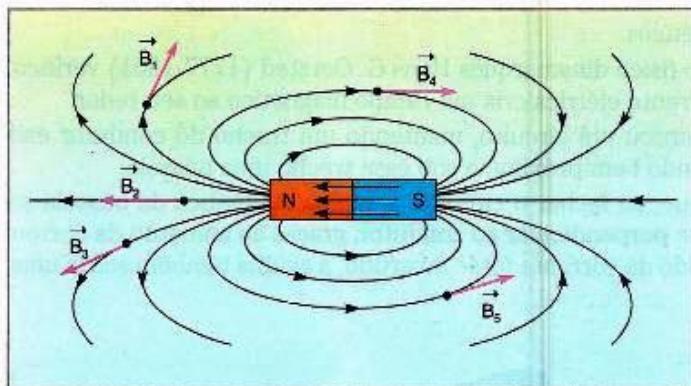
Exemplos: alumínio, madeira, plástico etc.



CAMPO MAGNÉTICO

Analogamente ao campo elétrico, denomina-se *campo magnético* a região ao redor de um ímã na qual ocorre um efeito magnético.

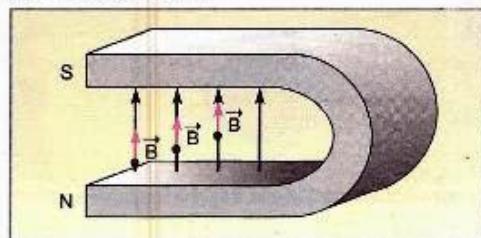
A sua representação é feita através de *linhas de campo* ou *linhas de indução*, que são linhas imaginárias fechadas que saem do pólo norte e entram no pólo sul.



No interior do ímã, as linhas de campo vão do pólo sul para o pólo norte.

Cada ponto de um campo magnético é caracterizado por um vetor \vec{B} denominado *vetor indução magnética* ou *vetor campo magnético*, sempre tangente às linhas de campo e no mesmo sentido delas. A sua intensidade será definida mais adiante.

Diz-se que um campo magnético é uniforme quando o vetor campo magnético é constante em todos os pontos do campo. Nesse caso, sua representação é um conjunto de linhas paralelas igualmente espaçadas e igualmente orientadas.



INDUÇÃO MAGNÉTICA

Um prego de ferro é, normalmente, um corpo não-imantado. Porém, quando ele é colocado na presença de um ímã, o vetor campo magnético do campo criado por esse ímã orienta os ímãs elementares do prego, imantando-o e fazendo com que o prego seja atraído.

Dessa forma, o prego torna-se também um ímã, sendo capaz, portanto, de atrair outros pregos através da repetição do mesmo fenômeno.



Denomina-se indução magnética o fenômeno da imantação de um corpo por meio de um ímã.

Um prego, sob ação de um campo magnético, atrai outros pregos.

Marcelo Cipriano

As substâncias cujos ímãs elementares se orientam facilmente quando submetidos à ação de um campo magnético são denominadas substâncias *ferromagnéticas*.

Exemplos: ferro, níquel, cobalto e algumas ligas metálicas.

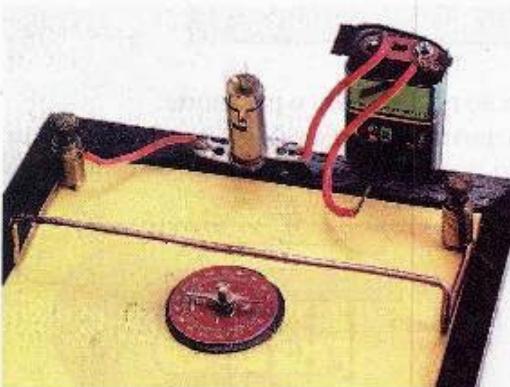
CAMPO MAGNÉTICO CRIADO POR CORRENTE ELÉTRICA NUM FIO RETILÍNEO

Somente no início do século XIX, descobriu-se a relação existente entre os fenômenos elétricos e magnéticos.

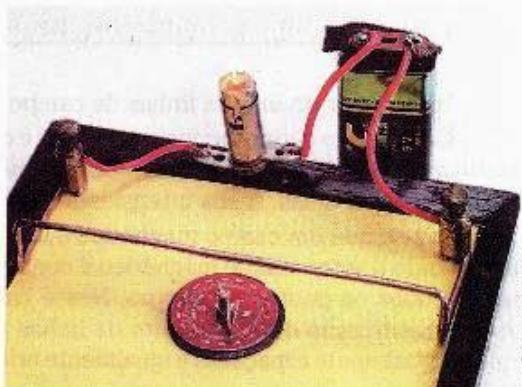
Em 1820, o físico dinamarquês Hans C. Oersted (1777-1851) verificou, experimentalmente, que a corrente elétrica cria um campo magnético ao seu redor.

Oersted montou um circuito, mantendo um trecho do condutor esticado na direção norte-sul, colocando bem próximo e sob esse trecho uma bússola.

Verificou que, ao fechar o circuito, a agulha magnética da bússola sofria um desvio e permanecia quase perpendicular ao condutor, graças ao aumento da corrente. Verificou ainda que, se o sentido da corrente fosse invertido, a agulha também sofria uma inversão em seu sentido.



Quando o circuito está aberto, a agulha fica paralela ao condutor.



Fechando-se o circuito, a agulha sofre um desvio.

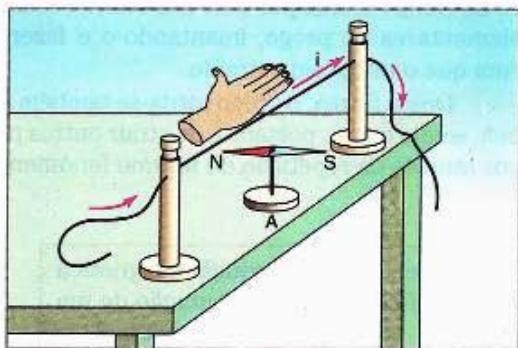
Foto: Sérgio Bettarini/Photo Rio

Da experiência, Oersted conclui que:

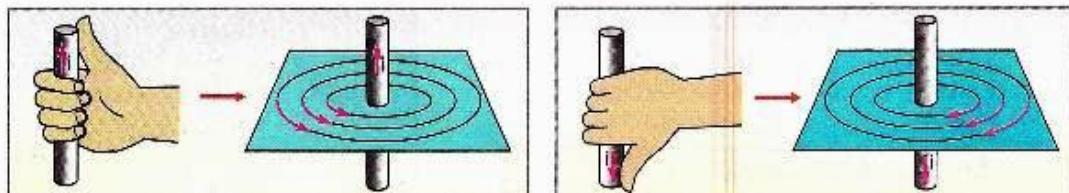
Uma corrente elétrica cria ao seu redor um campo magnético.

Colocando-se a mão direita sobre o fio, de tal maneira que a palma da mão esteja voltada para a agulha e que o sentido da corrente seja do pulso para os dedos, o polo norte da agulha se desvia para o sentido indicado pelo dedo polegar.

O sentido das linhas de campo magnético criado por uma corrente elétrica foi estudado por Ampère, que estabeleceu uma regra para determiná-lo, conhecida como *regra da mão direita*.

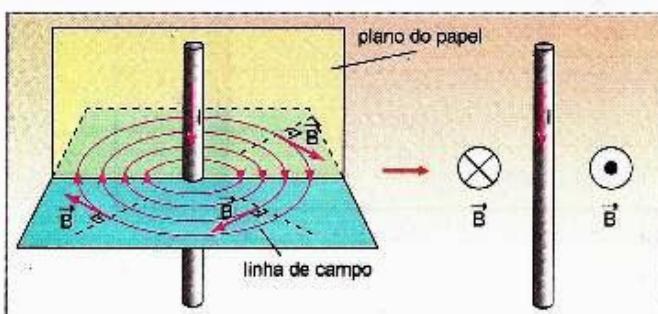
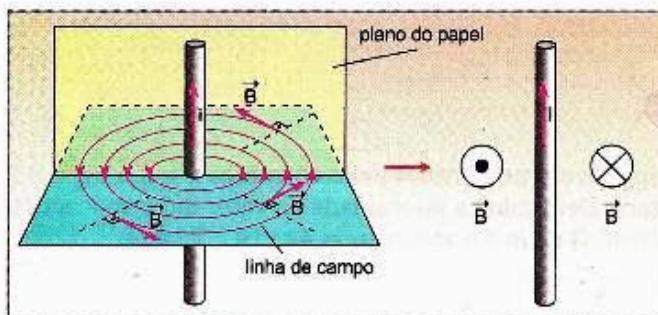


Segure o condutor com a mão direita, envolvendo-o com os dedos e mantendo o polegar apontando o sentido da corrente. O sentido das linhas de campo é dado pela indicação dos dedos que envolvem o condutor.



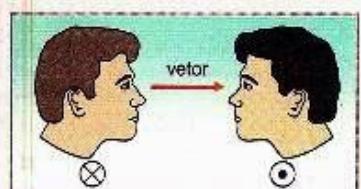
As linhas de campo são circulares e concêntricas ao fio por onde passa a corrente elétrica e estão contidas num plano perpendicular ao fio.

A direção do vetor campo magnético \vec{B} é sempre tangente às linhas de campo em cada ponto considerado e sempre no mesmo sentido delas.



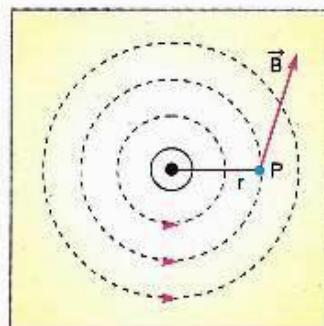
○ representa um vetor (campo magnético, corrente, força) perpendicular ao plano da folha de papel e orientado para fora, isto é, em posição de saída (aproximando-se do observador).

⊗ representa um vetor perpendicular ao plano da folha de papel e orientado para dentro, isto é, em posição de entrada (afastando-se do observador).



A intensidade do vetor campo magnético em qualquer ponto do campo é proporcional à intensidade da corrente elétrica que passa pelo fio e inversamente proporcional à distância desse ponto ao fio. Sua expressão é:

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{i}{r}$$

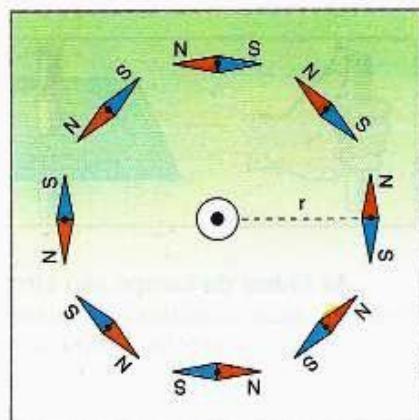


$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A} \text{ (permeabilidade magnética do vácuo)}$$

r = distância do ponto P ao fio.

A unidade de \vec{B} no Sistema Internacional é o *tesla* (T).

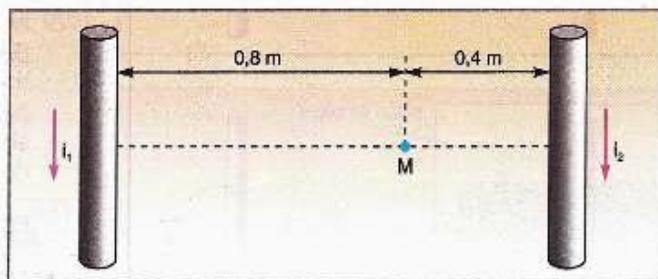
A bússola (agulha imantada) indica a direção e o sentido do vetor campo magnético \vec{B} .



APLICAÇÃO

A 1

Dois fios metálicos e longos são percorridos pelas correntes $i_1 = 2 \text{ A}$ e $i_2 = 6 \text{ A}$, conforme indica a figura. Determine a intensidade do vetor indução magnética resultante no ponto M . O meio é o vácuo: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$.



Resolução:

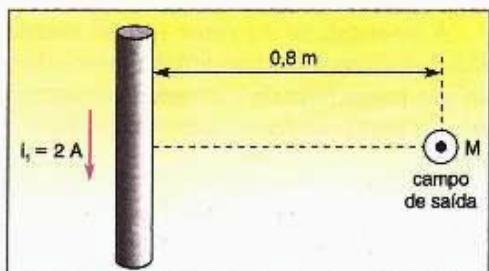
Pela regra da mão direita, determinamos o sentido dos vetores \vec{B}_1 e \vec{B}_2 no ponto M .

Intensidade de \vec{B}_1 :

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{i}{r}$$

$$B_1 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \cdot \frac{2}{0,8}$$

$$B_1 = 5 \cdot 10^{-7} \text{ T}$$

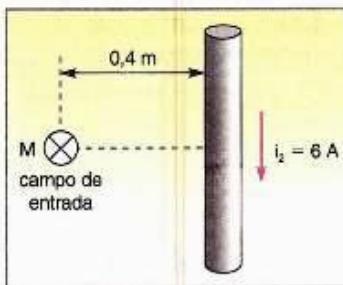


Intensidade de \vec{B}_2 :

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{i}{r}$$

$$B_2 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \cdot \frac{6}{0,4}$$

$$B_2 = 30 \cdot 10^{-7} \text{ T}$$



O vetor resultante em M é dado pela soma: $\vec{B}_R = \vec{B}_2 + \vec{B}_1$.

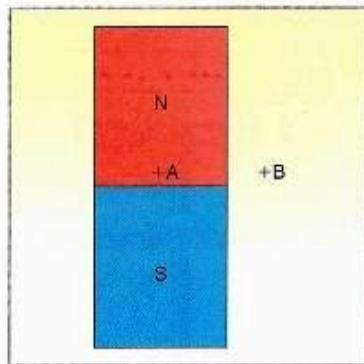
Como são de sentidos opostos, vem:

$$B_R = B_2 - B_1 \rightarrow B_R = 30 \cdot 10^{-7} - 5 \cdot 10^{-7} \rightarrow B_R = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

Resposta: $2,5 \cdot 10^{-6} \text{ T}$

QUESTÕES

Q1 (FMTM-MG) Na figura está representado um ímã em forma de barra.



Represente graficamente ou descreva a direção e o sentido do campo magnético nos pontos:

- a) A (no interior do ímã)
- b) B

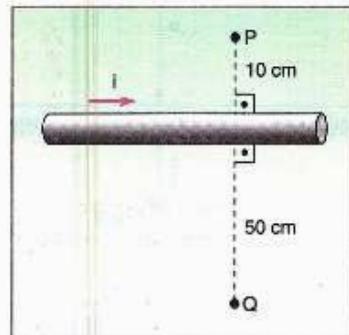
respostas no final do livro

Q2 Leia atentamente as afirmativas que seguem:

- I. O Pólo Norte geográfico é um pólo sul magnético.
- II. Em um ímã permanente, as linhas de indução saem do pólo norte e vão para o pólo sul, independentemente de estarem na parte interna ou externa do ímã.

III. Considerando a agulha de uma bússola, a extremidade que aponta para o Norte geográfico é o pólo norte magnético da agulha.
Quais afirmativas são corretas? I e II

Q3 Um fio retilíneo e longo é percorrido por uma corrente elétrica contínua $i = 2 \text{ A}$, no sentido indicado pela figura. *resposta no final do livro*



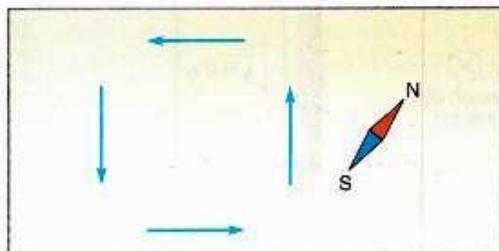
Determine os campos magnéticos \vec{B}_P e \vec{B}_Q gerados por essa corrente nos pontos P e Q.

Dado: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$. $B_P = 4 \cdot 10^{-6} \text{ T}$
 $B_Q = 8 \cdot 10^{-7} \text{ T}$

Q4 A 40 cm de um fio longo e retilíneo o campo magnético tem intensidade $4 \cdot 10^{-6} \text{ T}$. Qual é a corrente que percorre o fio?

Adote $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$. 8 A

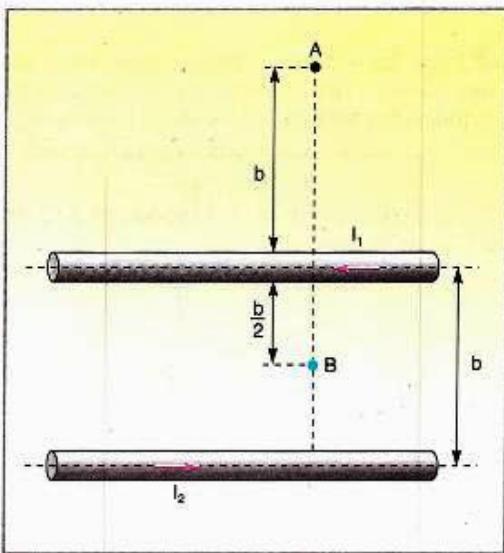
Q5 (Fuvest-SP) A figura indica quatro bússolas que se encontram próximas a um fio condutor, percorrido por uma intensa corrente elétrica.



- Represente, na figura, a posição do condutor e o sentido da corrente.
- Caso a corrente cesse de fluir, qual será a configuração das bússolas? Faça a figura correspondente. respostas no final do livro

Q6 (EFEI-MG) Dois fios condutores, dispostos paralelamente, estão separados um do outro pela distância $b = 10,0 \text{ cm}$. Por eles passam as correntes I_1 e I_2 , que valem, respectivamente, $0,50 \text{ A}$ e $1,00 \text{ A}$, em sentidos opostos, conforme a figura. Determine os vetores indução magnética \vec{B} nos pontos A e B .

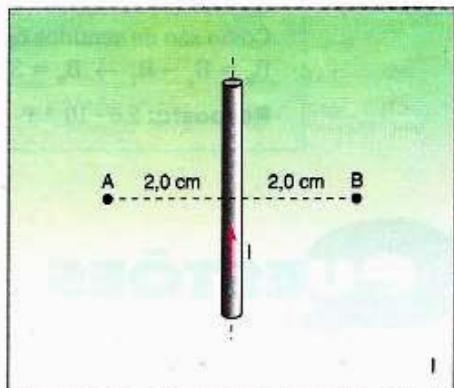
Dado: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2$. zero; 6 · 10⁻⁸ T



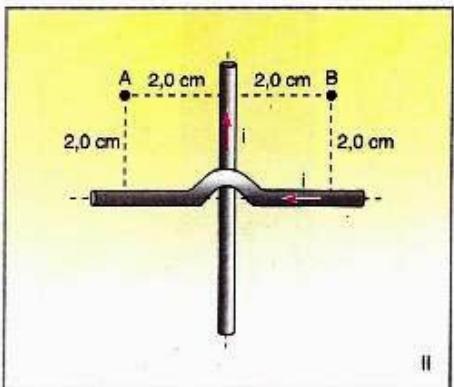
Q7 (Vunesp-SP) Uma corrente elétrica i constante atravessa um fio comprido e retilíneo, no sentido indicado na figura I, criando, a seu redor, um campo magnético. O módulo do vetor indução magnética em cada um dos pontos A e

B de uma reta perpendicular ao fio e distantes $2,0 \text{ cm}$ do mesmo é igual a $4,0 \cdot 10^{-4} \text{ T}$. Considere, agora, outro fio, também comprido e retilíneo, distante $2,0 \text{ cm}$ tanto de A como de B , cruzando com o primeiro, mas sem tocá-lo. Os dois fios e os pontos A e B estão praticamente no mesmo plano, como mostra a figura II. Se a corrente que atravessa o segundo fio, no sentido indicado na figura, também é i , qual será o módulo do vetor indução magnética resultante:

- no ponto A ? zero



- no ponto B ? 8 · 10⁻⁸ T



Q8 (EFOA-MG) Um explorador está nas vizinhanças do Pólo Norte geográfico, junto a um dos pólos magnéticos da Terra.

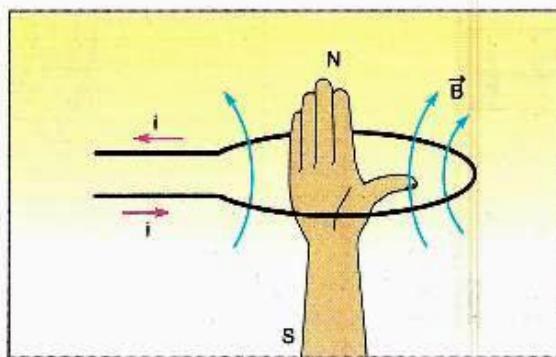
- Descreva (ou desenhe) as linhas do campo magnético terrestre nessa região, indicando a direção e o sentido dessas linhas em relação à superfície terrestre. resposta no final do livro
- Uma bússola magnética seria útil para a orientação do explorador nessa região? Justifique. não

PESQUISE

- I) O que são substâncias paramagnéticas e diamagnéticas? Dê exemplos.
- II) O que são ímãs permanentes e ímãs transitórios? Dê exemplos.
- III) Qual a influência da temperatura sobre a imantação?
- IV) O que ocorre se colocarmos um ímã sobre uma fita magnética?

CAMPO MAGNÉTICO CRIADO POR UMA ESPIRA CIRCULAR

No caso de uma espira circular percorrida por uma corrente, também se pode utilizar a regra da mão direita para determinar o sentido das linhas de campo.

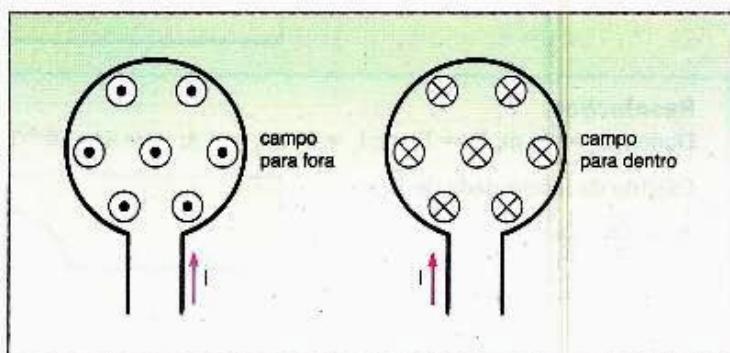


Observe que as linhas de campo entram por um lado e saem pelo outro.

A direção do vetor campo magnético nos pontos do plano da espira é perpendicular a esse plano.

Na espira circular, o lado em que entram as linhas de campo pode ser associado ao polo sul, e o lado em que saem as linhas pode ser associado ao polo norte.

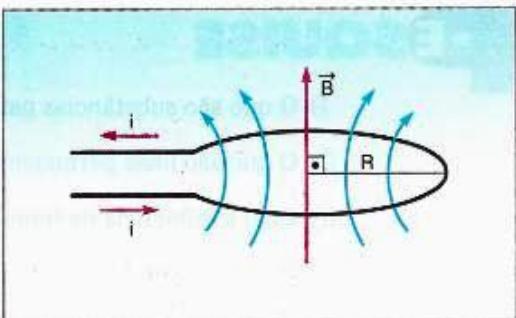
As figuras a seguir ilustram esse fato.



Representação de um campo magnético originado por uma corrente que passa por uma espira no plano do papel.

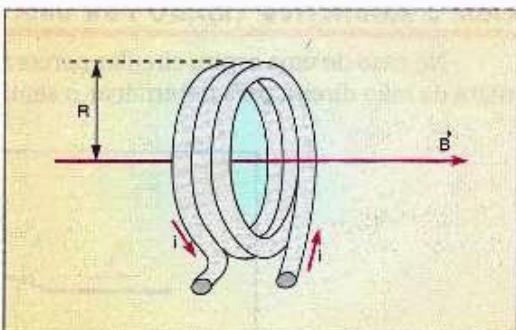
A intensidade do vetor indução magnética no centro de uma espira circular de raio R é dada pela expressão:

$$B = N \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{i}{R}$$



Quando tivermos N espiras circulares e iguais justapostas (bobina chata), o campo será N vezes mais intenso.

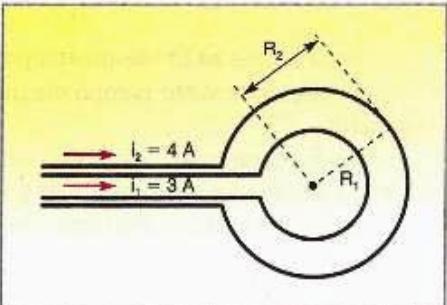
$$B = N \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{i}{R}$$



APLICAÇÃO

A 2

Duas espiras circulares, concêntricas e coplanares, de raios 3π m e 5π m, são percorridas por correntes de 3 A e 4 A, como mostra a figura. Determine a intensidade do vetor indução magnética no centro das espiras.



Resolução:

Dados: $R_1 = 3\pi$ m; $R_2 = 5\pi$ m; $i_1 = 3$ A; $i_2 = 4$ A; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T · m/A

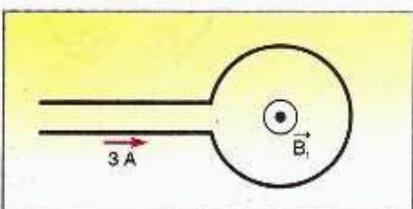
Cálculo da intensidade de \vec{B}_1 :

$$B_1 = \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{i_1}{R_1}$$

$$B_1 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2} \cdot \frac{3}{2\pi}$$

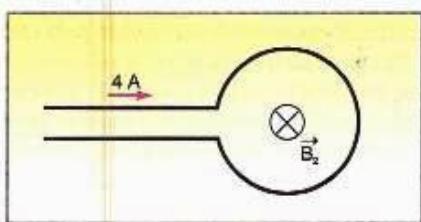
$$B_1 = 2\pi \cdot 10^{-7}$$
 T · m/A

\vec{B}_1 é campo de saída.



Cálculo da intensidade de \vec{B}_2 :

$$\begin{aligned} \vec{B}_2 &= \frac{\mu_0}{2} \cdot \frac{i_2}{R_2} \\ \vec{B}_2 &= \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2} \cdot \frac{4}{5\pi} \\ \vec{B}_2 &= 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ T} \end{aligned}$$



Cálculo da intensidade do vetor indução magnética resultante:

$$\vec{B}_R = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 \rightarrow B_R = B_1 - B_2 \rightarrow B_R = 2 \cdot 10^{-7} - 1,6 \cdot 10^{-7} \rightarrow B_R = 4 \cdot 10^{-8} \text{ T}$$

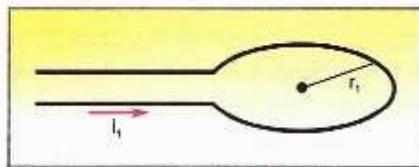
O vetor indução magnética resultante é de saída: $\vec{B}_R \odot$.

Resposta: $4 \cdot 10^{-8} \text{ T}$

QUESTÕES

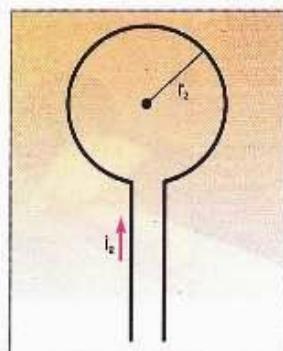
Q9 Determine as características (intensidade, direção e sentido) do campo de indução magnética criado no centro de cada espira. Considere $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$.

a) Dados: $i_1 = 4 \text{ A}$; $r_1 = 50 \text{ cm}$



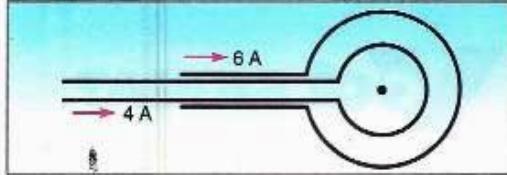
$1,6\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}$, vertical e ascendente

b) Dados: $i_2 = 3 \text{ A}$; $r_2 = 10 \text{ cm}$



$6\pi \cdot 10^{-8} \text{ T}$, normal e entrando no plano do papel

Q10 Duas espiras circulares, concêntricas e coplanares, de raios $4\pi \text{ m}$ e $5\pi \text{ m}$, são percorridas por correntes de 4 A e 6 A , como mostra a figura a seguir.

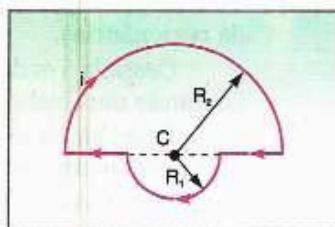


Determine a intensidade do vetor campo magnético resultante no centro das espiras. Considere $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$. $4 \cdot 10^{-8} \text{ T}$

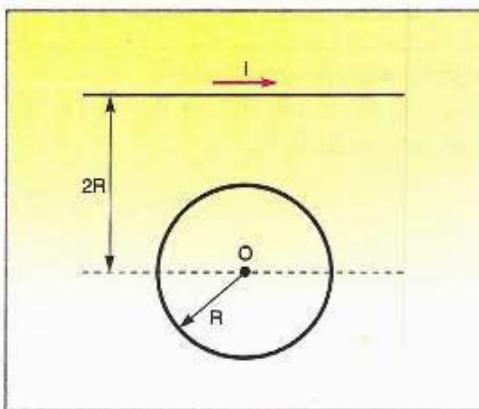
Q11 Uma bobina chata é formada de 100 espiras circulares de raio $0,2 \text{ m}$. Sabendo que as espiras são percorridas por uma corrente de 8 A , determine a intensidade do vetor campo magnético no seu centro. Dado: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$.

$8\pi \cdot 10^{-4} \text{ T}$

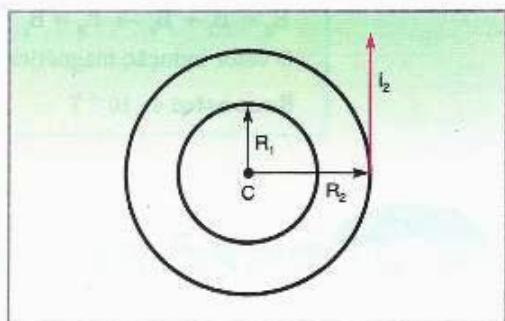
Q12 Considere o circuito fechado de raios $R_1 = 20 \text{ cm}$ e $R_2 = 10 \text{ cm}$, como indica a figura. Sabendo que o meio é o vácuo, onde $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$ e $i = 8 \text{ A}$, calcule as características do vetor campo magnético resultante no ponto C . Módulo: $2,4\pi \cdot 10^{-3} \text{ T}$, normal e entrando no plano do papel.



Q13 (FEI-SP) O condutor retilíneo muito longo indicado na figura é percorrido pela corrente $i = 62,8 \text{ A}$. Qual deverá ser o valor da corrente i' na espira circular de raio R , a fim de que seja nulo o campo de indução magnética resultante no centro O da mesma? Considere $\pi = 3,14$. **10 A**



Q14 (UFMS) Duas espiras circulares, de mesmo centro C , possuem raios $R_1 = 4,0 \text{ cm}$ e $R_2 = 12 \text{ cm}$ (veja a figura). A espira de raio R_2 é percorrida por uma corrente $i_2 = 30 \text{ A}$ no sentido mostrado na figura. Qual deve ser a intensidade da corrente i_1 , de sentido contrário ao da corrente i_2 , que deverá percorrer a espira de raio R_1 para que o campo magnético resultante criado pelas duas espiras no ponto C seja nulo? **10 A**



VOCÊ SABIA?

RESONÂNCIA MAGNÉTICA

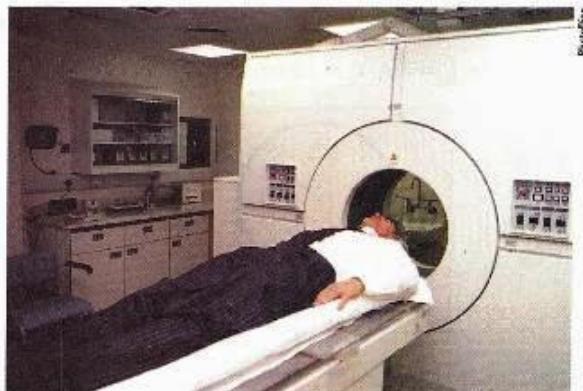
A ressonância magnética é um método de construir imagens do corpo humano a partir de sinais emitidos pelos núcleos dos átomos de hidrogênio presentes nas moléculas de água do corpo.

O paciente é colocado dentro de um grande campo magnético, que alinha todos os núcleos de seus átomos de hidrogênio como se fossem ponteiros de uma bússola. Em seguida, emite-se uma onda de radiofrequência específica que faz os átomos de hidrogênio atingirem um estado de excitação (fenômeno da ressonância).

Cessada a onda, o núcleo volta a ficar alinhado com o campo magnético, liberando um sinal de relaxamento.

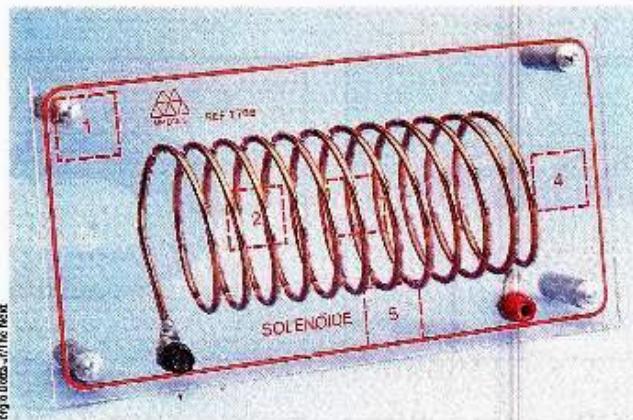
Esses sinais são captados por bobinas (antenas) e, a partir deles, é feita uma imagem no computador.

Esse método permite que se façam imagens de qualquer parte do corpo humano.



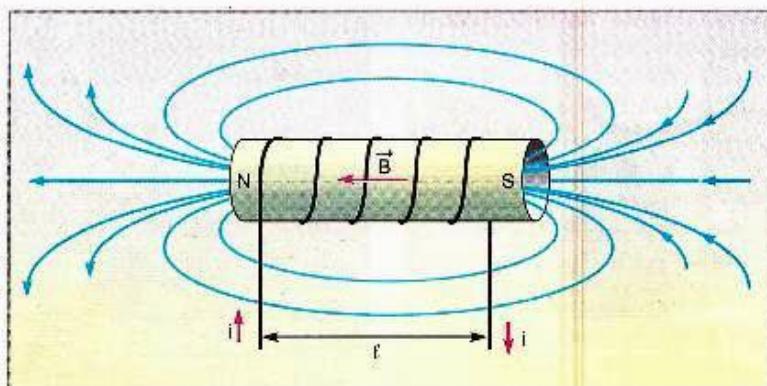
CAMPO MAGNÉTICO CRIADO POR UM SOLENÓIDE

O solenóide é um dispositivo constituído de um fio condutor enrolado em forma de espiras não-justapostas. Recebe também o nome de bobina longa.



Solenóide

Esse aparelho possui larga aplicação industrial, pois, quando percorrido por uma corrente elétrica, se comporta como um ímã, no qual o pólo sul é o lado por onde entram as linhas de campo e o pólo norte, o lado por onde saem. A regra para se determinar o sentido do campo é a mesma regra da mão direita.



A intensidade do vetor indução magnética no interior de um solenóide é dada pela expressão:

$$B = \frac{\mu_0 N i}{\ell}$$

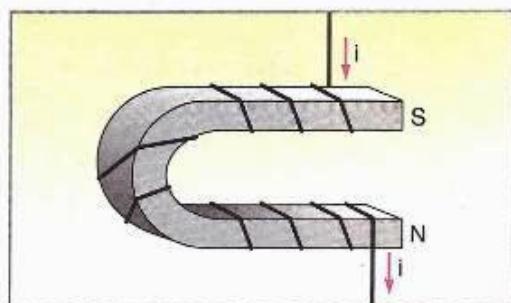
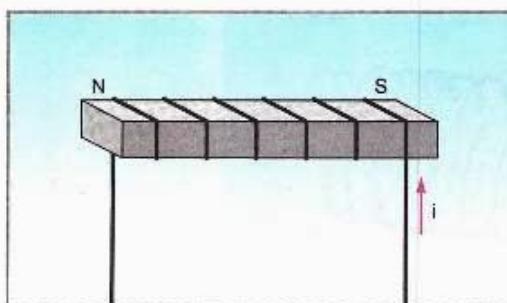
N é o número de espiras no comprimento ℓ do solenóide.

Essa expressão é válida para qualquer ponto no interior de um solenóide, pois nessa região o campo magnético é uniforme.

A direção do campo magnético é perpendicular ao plano das espiras.

A propriedade do ferro macio (ferro aquecido e esfriado lentamente) de magnetizar-se sob a influência das correntes elétricas e perder sua magnetização logo que essa influência cesse, tornou possível a fabricação de ímãs artificiais, intermitentes, chamados *eletroímãs*.

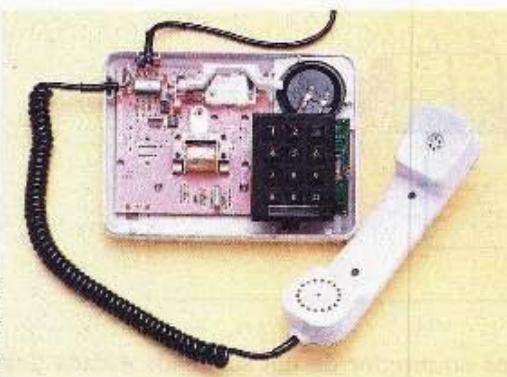
O eletroímã é um dispositivo constituído por uma barra de ferro envolvida por um solenóide.



A passagem de uma corrente elétrica pelo fio origina um campo magnético no solenóide causando uma orientação dos ímãs elementares da barra de ferro, imantando-a.

A aplicação dos eletroímãs na indústria é bastante grande, sendo utilizados nas campainhas, nos telefones e em guindastes de alta capacidade, notadamente na indústria de construção naval.

Manoel Capalbio



APLICAÇÃO

A3

É dado um solenóide retilíneo de comprimento 100 cm que contém 2 000 espiras e é percorrido por uma corrente de intensidade 5 A. Sendo $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$ a permeabilidade no vácuo, determine a intensidade do vetor indução magnética na região central do solenóide.

Resolução:

Dados: $\ell = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$, $N = 2\,000$ espiras, $i = 5 \text{ A}$
 e $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$

A intensidade do vetor indução magnética no centro do solenóide é dada por:

$$B = \frac{\mu_0 Ni}{\ell} \rightarrow B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2\,000 \cdot 5}{1} \rightarrow B = 4\pi \cdot 10^{-3} \text{ T}$$

Resposta: $4\pi \cdot 10^{-3} \text{ T}$

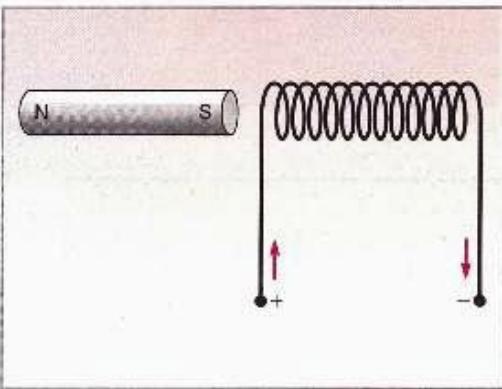
QUESTÕES

Q15 Considere as afirmações abaixo:

- I. O campo magnético no interior de um solenóide longo com n espiras por metro é constante.
- II. O voltmetro ideal tem resistência infinita.
- III. O amperímetro ideal tem resistência nula.
- IV. Em um capacitor, a diferença de potencial é diretamente proporcional à carga.

Quais afirmações são corretas? **todas**

Q16 Na figura a seguir temos um ímã em forma de barra e um longo solenóide percorrido por corrente contínua.



Sobre eles, são feitas as seguintes afirmativas:

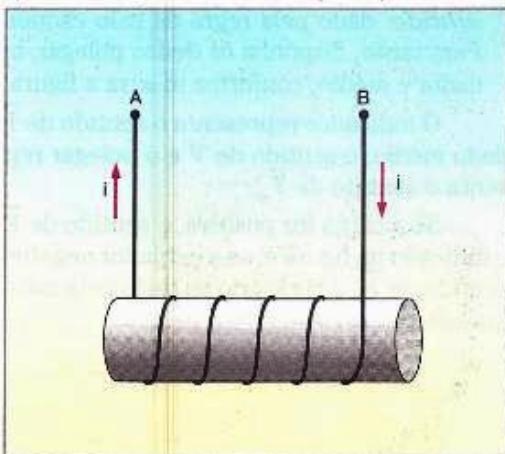
- I. Entre o ímã e o solenóide ocorre atração.
- II. Nos pontos internos do solenóide, as linhas de indução do campo magnético são retas paralelas ao eixo do solenóide.
- III. O campo magnético no interior do solenóide é nulo.

Quais afirmativas são verdadeiras? **I e II**

Q17 O solenóide da figura, imerso no vácuo, é formado por 12 espiras e tem comprimento 20 cm.

Calcule o módulo, a direção e o sentido do vetor indução magnética no interior desse solenóide, sabendo que $i = 6 \text{ A}$. Dado: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$.

$1,44 \cdot 10^{-4} \text{ T}$; horizontal e da esquerda para a direita



Q18 Um solenóide de 1 000 espiras por metro é percorrido por uma corrente de intensidade i . Sabendo que o vetor indução magnética no seu interior tem intensidade $8\pi \cdot 10^{-4} \text{ T}$, determine i .

2 A

Q19 No interior de um solenóide de comprimento 16 cm, registra-se um campo de indução magnética de intensidade $5\pi \cdot 10^{-4} \text{ T}$, quando ele é percorrido por uma corrente de 8 A. Quantas espiras tem esse solenóide?

Adote $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$. **25 espiras**

CAPÍTULO 35

FORÇA MAGNÉTICA

FORÇA MAGNÉTICA SOBRE CARGAS ELÉTRICAS

As experiências revelaram que uma carga elétrica, quando submetida à ação de um campo magnético, pode sofrer a ação de uma força magnética, também chamada força de Lorentz.

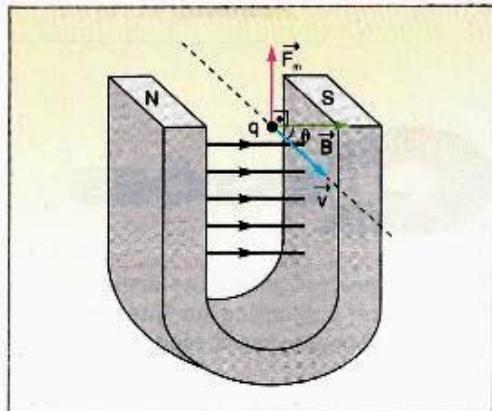
Para determinar as características dessa força, consideremos uma carga elétrica q lançada dentro de um campo magnético uniforme, com velocidade vetorial \vec{v} , formando um ângulo θ com o vetor indução magnética \vec{B} .

A força magnética \vec{F}_m que age sobre a carga tem as seguintes características:

- ✓ **direção:** perpendicular ao plano formado pelos vetores \vec{B} e \vec{v}
- ✓ **sentido:** dado pela regra da mão esquerda. Para tanto, disponha os dedos polegar, indicador e médio, conforme mostra a figura

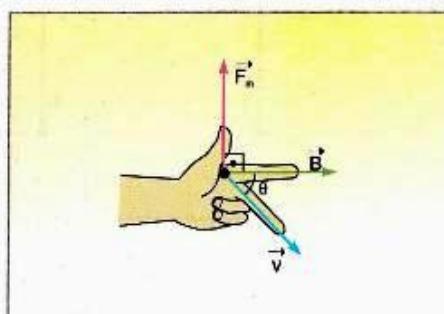
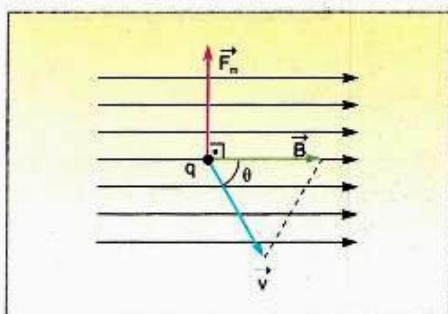
O indicador representa o sentido de \vec{B} , o dedo médio, o sentido de \vec{v} e o polegar representa o sentido de \vec{F}_m .

Se a carga for positiva, o sentido de \vec{F}_m é o indicado na figura e, se a carga for negativa, o sentido de \vec{F}_m é contrário ao dado pela mão esquerda.



Marcos Cardoso

Regra da mão esquerda.



Utilizaremos as seguintes representações:

$\vec{F}_m \odot$ é a força magnética saindo perpendicularmente do papel

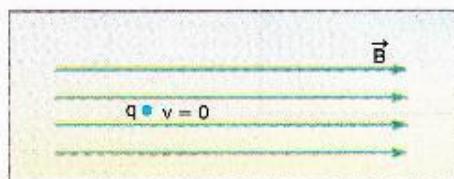
$\vec{F}_m \otimes$ é a força magnética penetrando perpendicularmente no papel

✓ intensidade: experimentalmente verificou-se que a intensidade da força magnética é dada pela expressão:

$$F_m = qvB \sin \theta$$

CASOS PARTICULARES

1º caso: cargas em repouso ($v = 0$)

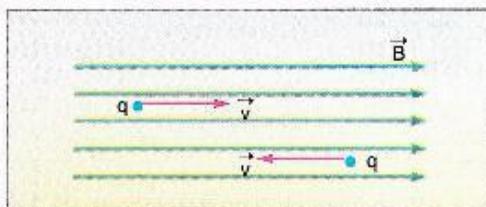


\vec{B} é um campo uniforme.

Nesse caso, temos:

$$F_m = qvB \sin \theta \rightarrow F_m = 0$$

2º caso: cargas lançadas na mesma direção das linhas de campo



\vec{B} é um campo uniforme.

Nesse caso, temos:

$$\theta = 0^\circ \rightarrow \sin \theta = 0 \text{ (mesmo sentido do campo)}$$

$$\theta = 180^\circ \rightarrow \sin \theta = 0 \text{ (sentido contrário ao do campo)}$$

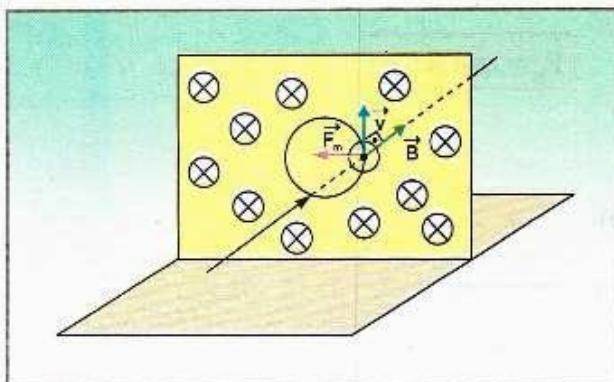
Logo:

$$F_m = qvB \sin \theta \rightarrow F_m = 0$$

Para o 1º e o 2º casos, pode-se concluir:

Cargas elétricas em repouso ou lançadas na mesma direção do campo magnético não sofrem a ação da força magnética.

3º caso: cargas lançadas perpendicularmente ao campo



\vec{B} é um campo uniforme.

Nesse caso, temos:

$$\theta = 90^\circ \rightarrow \sin \theta = 1 \text{ (velocidade perpendicular ao campo)}$$

Logo:

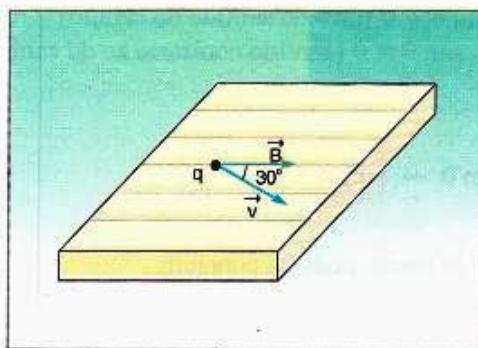
$$F_m = qvB \sin \theta \rightarrow F_m = qvB$$

Se a força magnética tem intensidade constante e é perpendicular ao vetor velocidade, a carga realiza um MCU. Portanto, a força magnética faz o papel da força centrípeta que age sobre a carga.

APLICAÇÃO

A 4

Uma partícula elétrica de $5 \mu\text{C}$ desloca-se com velocidade de $1\,000 \text{ m/s}$, formando um ângulo de 30° com um campo magnético uniforme de intensidade $8 \cdot 10^4 \text{ T}$, conforme indica a figura.

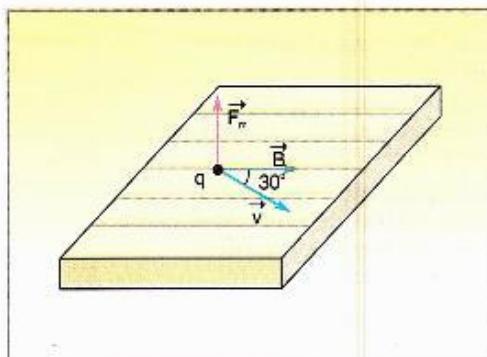


Caracterize a força magnética que atua sobre a partícula.

Resolução:

A força magnética tem as seguintes características:

- direção: perpendicular ao plano \vec{B} e \vec{v} (plano da folha)



- sentido: saindo da folha

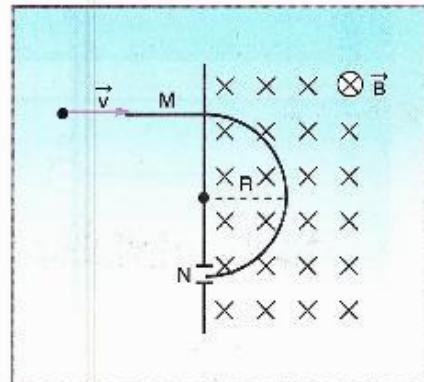
$$\bullet \text{módulo: } F_m = qvB \sin \theta \rightarrow F_m = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 10^4 \cdot \frac{1}{2} \rightarrow F_m = 200 \text{ N}$$

Resposta: módulo: 200 N, direção: perpendicular, sentido: saindo da folha.

A5

Um elétron com velocidade $3 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ penetra perpendicularmente em um campo magnético uniforme de indução magnética $8 \cdot 10^{-5} \text{ T}$, passando a descrever uma trajetória circular conforme indica a figura.

A massa de elétron é $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ e sua carga é $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Determine o raio R da trajetória descrita.

**Resolução:**

Dados: $v = 3 \cdot 10^6 \text{ m/s}$; $B = 8 \cdot 10^{-5} \text{ T}$
 $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

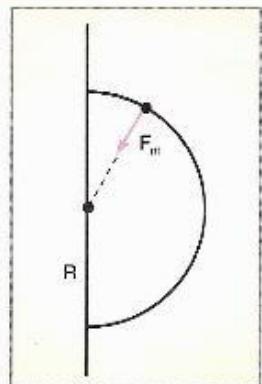
A força magnética é a força centrípeta, pois \vec{v} é perpendicular a \vec{B} ; logo:

$$F_m = F_{cp} \rightarrow qvB = \frac{mv^2}{R} \rightarrow R = \frac{mv}{qB}$$

$$R = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^6}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8 \cdot 10^{-5}}$$

$$R \approx 0,21 \text{ m}$$

Resposta: $\approx 0,21 \text{ m}$



QUESTÕES

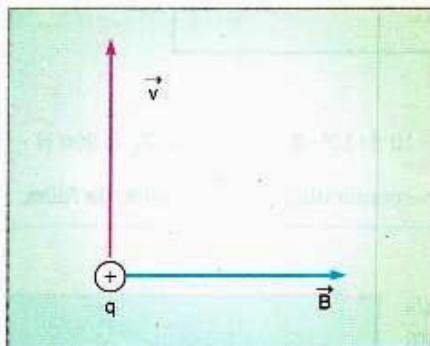
a) Quando se movimenta na mesma direção do campo.

Q20 Em que condição uma carga elétrica num campo magnético uniforme:

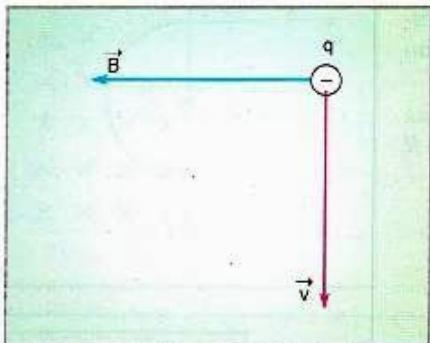
- não fica sujeita à ação da força magnética?
- fica sujeita a uma força magnética máxima?
- Quando se movimenta perpendicularmente ao campo.

Q21 Represente a força magnética que atua sobre a carga q , lançada com velocidade v num campo de indução magnética uniforme B , nos casos seguintes: *respostas no final do livro*

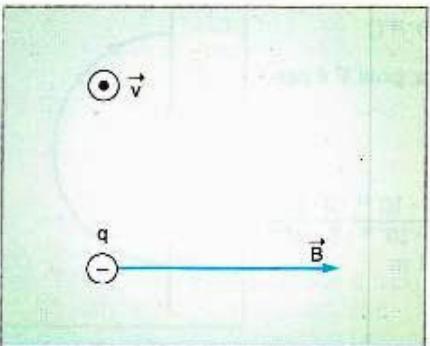
a)



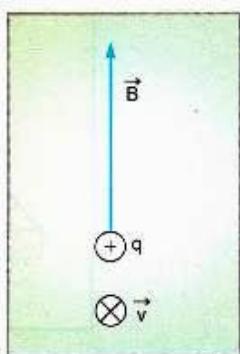
b)



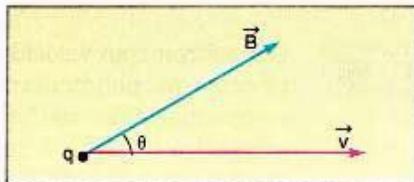
c)



d)



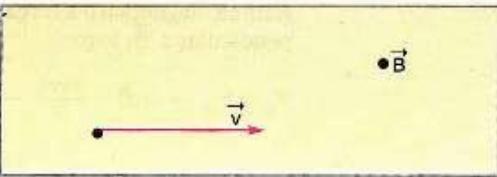
Q22 Uma partícula elétrica de carga q desloca-se com velocidade $2 \cdot 10^6$ m/s, formando um ângulo θ com um campo magnético uniforme de intensidade $16 \cdot 10^4$ T, conforme indica a figura.



Caracterize a força magnética que atua sobre a partícula nos seguintes casos:

- $\theta = 45^\circ$ e $q = 4 \mu\text{C}$ *6,4\sqrt{2} \cdot 10^{-10}* N
- $\theta = 0^\circ$ e $q = -5 \mu\text{C}$ nula

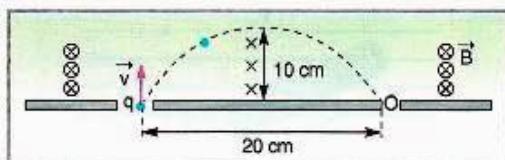
Q23 (UFV-MG) Uma câmara de bolhas é representada na figura seguinte, com campo magnético perpendicular à folha deste papel e orientado para fora. Uma partícula com carga positiva é então introduzida na câmara de bolhas, com velocidade v , perpendicularmente a \vec{B} . Dados: $B = 1,0$ T; $v = 3 \cdot 10^8$ m/s; $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$ C.



a) Represente na figura o vetor força magnética que atua na partícula. *resposta no final do livro*

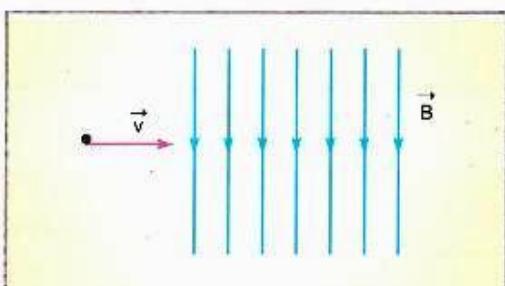
b) Calcule a intensidade dessa força. $9,6 \cdot 10^{-16}$ N

Q24 Uma partícula com carga $-2 \mu\text{C}$ é lançada perpendicularmente a um campo magnético uniforme de intensidade $4 \cdot 10^5 \text{ T}$, com velocidade de 200 m/s , conforme indica a figura.

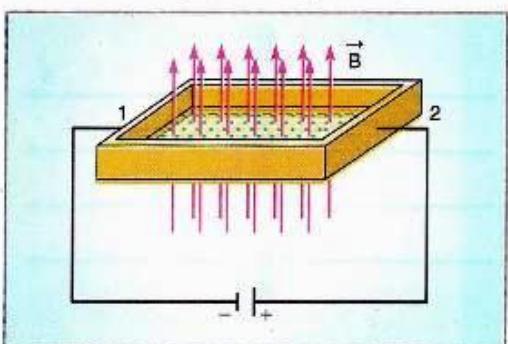


Sabendo que a partícula atinge o ponto O , determine a massa da partícula. $4 \cdot 10^{-4} \text{ kg}$

Q25 (UFPE) Uma partícula carregada entra em uma região de campo magnético uniforme, \vec{B} , com a trajetória perpendicular ao campo. Quando a energia cinética da partícula é $4,0 \cdot 10^{-12} \text{ J}$, o raio de sua órbita circular vale 60 cm. Qual seria o valor, em centímetros, do raio de sua órbita circular, se esta mesma partícula tivesse uma energia cinética igual a $2,56 \cdot 10^{-12} \text{ J}$? **48 cm**



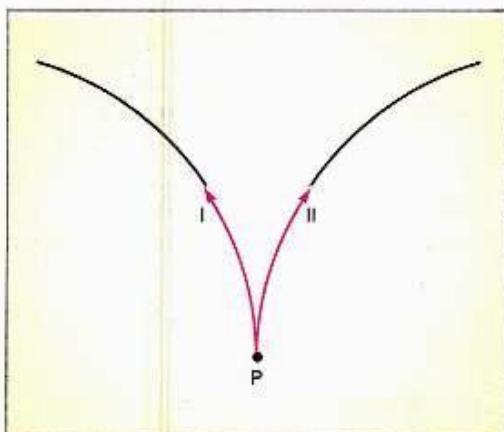
Q26 (UFPR) Na figura abaixo tem-se, no plano horizontal, uma cuba cheia de uma solução com íons positivos e negativos em igual número. As linhas verticais representam um campo magnético \vec{B} , perpendicular à cuba. Um campo elétrico é produzido no interior da cuba, através dos eletrodos 1 e 2 ligados a uma pilha.



Pergunta-se: [respostas no final do livro](#)

- Se o campo \vec{B} for nulo, qual será o sentido do deslocamento médio de cada tipo de íon na solução? Justifique sua resposta.
- Se o campo \vec{B} não for nulo, qual será seu efeito sobre o movimento dos íons na solução? Justifique sua resposta.

Q27 (Vunesp-SP) A figura representa as trajetórias, no interior de um campo magnético uniforme, de um par de partículas pósitron-elétron, criado no ponto P durante um fenômeno no qual a carga elétrica total é conservada.



Considerando que o campo magnético é perpendicular ao plano da figura e aponta para o leitor, responda:

- Qual das partículas, I ou II, é o pósitron e qual é o elétron? **I é o elétron e II, o pósitron.**
- Explique como se obtém a resposta.

Pela regra da mão esquerda.

Q28 Sabendo que numa certa região do espaço havia uma carga elétrica positiva em movimento circular uniforme, três estudantes afirmaram:

- Deve haver uma carga elétrica negativa situada no centro da curva.
 - Deve haver um campo magnético uniforme perpendicular ao plano da curva.
 - Deve haver um campo elétrico uniforme paralelo ao plano da curva.
- Quais são verdadeiras? **nenhuma**

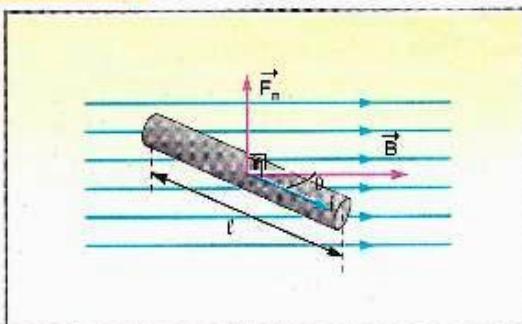
Q29 (FAAP-SP) Uma partícula, com massa $m = 9,0 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ e carga $q = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, desloca-se numa órbita circular de raio $R = 20 \text{ cm}$, perpendicularmente a um campo de indução magnética de intensidade $B = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$. Calcule a velocidade da partícula. **$1,6 \cdot 10^6 \text{ m/s}$**

FORÇA MAGNÉTICA SOBRE UM CONDUTOR RETILÍNEO

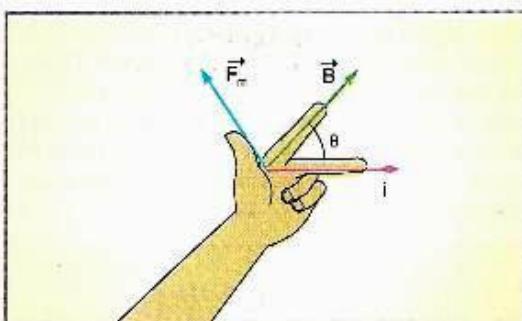
Consideremos um condutor retilíneo, de comprimento ℓ , imerso num campo magnético uniforme \vec{B} .

Sejam i a corrente que circula pelo condutor e θ o ângulo entre \vec{B} e i .

A força magnética que age sobre o condutor é a resultante de um conjunto de forças de Lorentz que atuam sobre cada carga elétrica constituinte da corrente elétrica e tem as seguintes características:



- ✓ intensidade: $F_m = Bi\ell \sen \theta$
- ✓ direção: perpendicular a \vec{B} e a i
- ✓ sentido: dado pela regra da mão esquerda

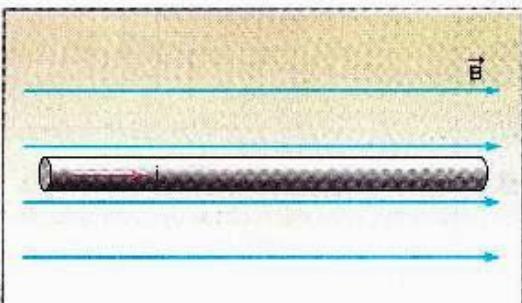


Observações:

1º) Se i for paralela a \vec{B} , teremos $\theta = 0^\circ$ ou $\theta = 180^\circ$. Logo, $\sen \theta = 0$.

$$F_m = Bi\ell \sen \theta$$

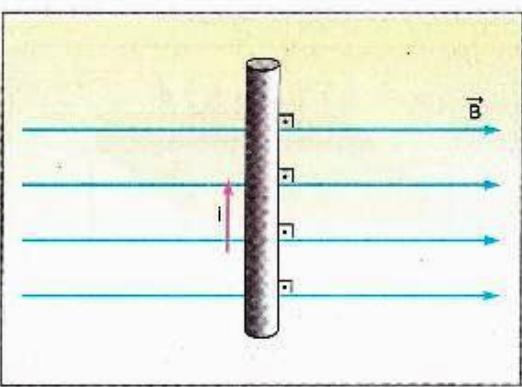
$$F_m = 0$$



2º) Se i for perpendicular a \vec{B} , teremos $\theta = 90^\circ$. Logo, $\sen \theta = 1$.

$$F_m = Bi\ell \sen \theta$$

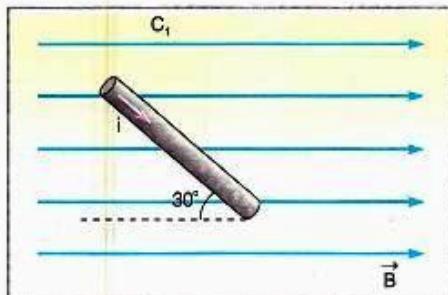
$$F_m = Bi\ell$$



APLICAÇÃO

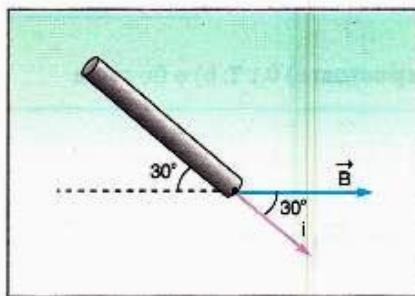
A6

O condutor de comprimento 2 m é percorrido por uma corrente i de intensidade 10 A. Esse condutor está situado no interior de um campo magnético uniforme de intensidade $B = 0,05$ T. Qual a intensidade da força magnética exercida nesse condutor?



Resolução:

Da figura, temos:

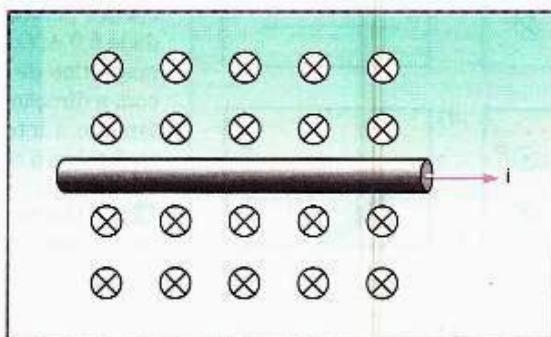


$$F_m = Bi\ell \sin \theta \rightarrow F_m = 0,05 \cdot 10 \cdot 2 \cdot \sin 30^\circ = 0,05 \cdot 10 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} = 0,5 \text{ N}$$

Resposta: 0,5 N

A7

Um campo magnético uniforme e horizontal é capaz de impedir a queda de um fio condutor retilíneo de comprimento 0,2 m e massa 5 g, horizontal e perpendicular às linhas de indução, quando por ele passa uma corrente de 2,5 A, conforme indica a figura.

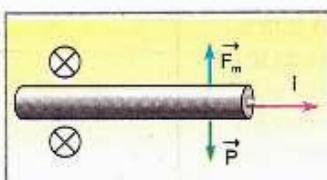


Admitindo-se $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine:

- a intensidade do vetor campo magnético
- o que ocorreria se o sentido da corrente que passa pelo fio condutor fosse invertido

Resolução:Dados: $\ell = 0,2 \text{ m}$, $m = 5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$, $i = 2,5 \text{ A}$, $\theta = 90^\circ$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$.

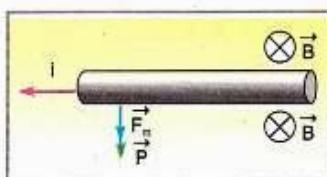
a)



Como o fio está em equilíbrio, temos:

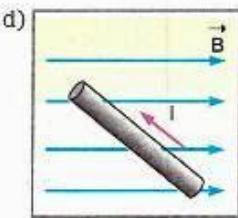
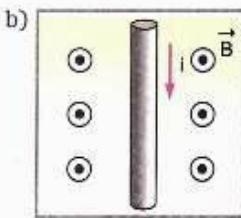
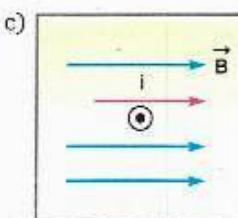
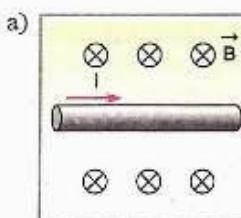
$$\begin{aligned} F_m &= P \rightarrow Bi\ell \operatorname{sen} \theta = mg \rightarrow \\ &\rightarrow B \cdot 2,5 \cdot 0,2 \cdot \operatorname{sen} 90^\circ = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \rightarrow \\ &\rightarrow B = 0,1 \text{ T} \end{aligned}$$

b) O fio cairia.

**Respostas:** a) 0,1 T; b) o fio cairia

QUESTÕES

Q30 Os condutores das figuras são percorridos por uma corrente elétrica i e estão imersos num campo magnético uniforme \vec{B} .



Represente, em cada caso, a força magnética que age sobre cada condutor. respostas no final do livro

Q31 (EFOA-MG) Considere um condutor retilíneo, de comprimento L , percorrido por uma

corrente i , colocado perpendicularmente a um campo magnético uniforme \vec{B} . Sobre esse condutor, atuará a força magnética \vec{F} .

- De quais dessas grandezas depende a intensidade (módulo) da força \vec{F} ?
- Qual a direção da força \vec{F} ?

respostas no final do livro

Q32 Um condutor retilíneo de comprimento $0,4 \text{ m}$ é percorrido por uma corrente de intensidade $5,0 \text{ A}$. O condutor está imerso num campo magnético de intensidade $2 \cdot 10^{-3} \text{ T}$, formando com a direção do campo um ângulo de 60° . Determine a intensidade da força magnética que atua sobre o condutor. Faça $\operatorname{sen} 60^\circ = 0,8$.

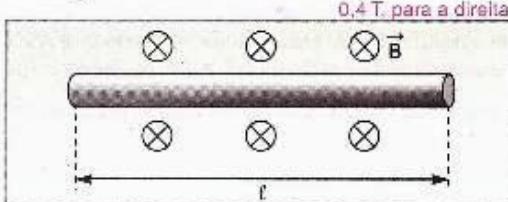
$$3,2 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

Q33 Um condutor retilíneo de comprimento 50 cm , percorrido por uma corrente de intensidade $2,5 \text{ A}$, é colocado no interior de um campo magnético uniforme de intensidade $4 \cdot 10^{-2} \text{ T}$. Calcule a intensidade da força magnética que age sobre o condutor nos casos abaixo.

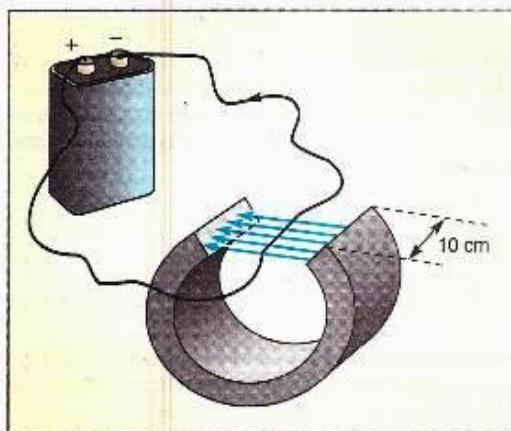
- O condutor é colocado paralelamente ao vetor indução magnética. zero
- O condutor é colocado perpendicularmente ao vetor indução magnética. $5 \cdot 10^{-3} \text{ N}$

Q34 (EFEI-MG) Calcule a intensidade da força magnética que age em um condutor de 20 cm, percorrido por uma corrente elétrica de 10 A, colocado perpendicularmente às linhas de indução de um campo magnético de intensidade 1 T. Indique, em um esquema, a direção e o sentido da força. $F_z = 2 \text{ N}$: esquema no final do livro

Q35 Um segmento de condutor reto e horizontal, tendo comprimento $l = 20 \text{ cm}$ e massa $m = 40 \text{ g}$, percorrido por corrente $i = 5,0 \text{ A}$, está em equilíbrio sob as ações exclusivas da gravidade g e de um campo magnético B horizontal. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$. Determine B e o sentido de i .



Q36 (UFPE) Um fio de 10 cm de comprimento, no qual circula uma corrente de 50 A, é colocado entre os pólos de um imã como indicado na figura. Supondo que o campo magnético gerado pelo imã é de $1 \cdot 10^{-3} \text{ T}$, calcule a força que age sobre o fio, em unidades de 10^{-3} N . $5 \cdot 10^{-3} \text{ N}$



PESQUISE

- I) Como se determina a intensidade da força magnética entre dois fios paralelos e percorridos por correntes:
 - a) de mesmo sentido?
 - b) de sentidos opostos?
- II) O que é uma corrente induzida? Como ela pode ser obtida?
- III) Como funciona o dinâmo de uma bicicleta?

VOCÊ SABIA?

USANDO O CAMPO MAGNÉTICO PARA ACHAR ÁGUA

Um método que permite detectar *aquéferos*, regiões subterrâneas onde se acumula água, pode solucionar parte dos problemas da seca do Nordeste.

Trabalhando no Projeto de Estudo Geofísico da Bacia do Parnaíba, uma equipe de pesquisadores do Departamento de Geofísica do Observatório Nacional já conseguiu localizar vários poços.

Uma das formas de aplicação do método é por meio de geração de correntes elétricas artificiais.

Os pesquisadores fazem passar corrente num fio condutor em forma de um quadrado de 50 cm de lado, colocado sobre o solo. Essa corrente cria um campo magnético que se difunde na terra.

Conhecendo as relações entre os campos e as correntes é possível mapear a condutividade elétrica da terra e, assim, localizar determinados materiais, entre eles a água.

VESTIBULAR

Os testes de 1 a 10 referem-se à unidade I deste volume.

1 (Cesesp-PE) Os sistemas de unidades empregados na Física são constituídos por grandezas fundamentais e derivadas. Na engenharia, um dos sistemas mais utilizados é o MKS, o qual tem como grandezas fundamentais:

- a) massa, força e tempo
- b) força, comprimento e tempo
- c) massa, comprimento e tempo
- d) comprimento, energia mecânica e tempo
- e) comprimento, aceleração da gravidade e tempo

2 (Cesgranrio-RJ) Em qual das opções abaixo se colocam corretamente, em ordem decrescente, as unidades de comprimento apresentadas?

- a) km, m, μm , mm, cm
- b) km, m, mm, μm , cm
- c) m, km, mm, μm , cm
- d) km, m, cm, mm, μm
- e) mm, μm , km, m, cm

3 (UFAL) A espessura de uma lâmina de metal é 0,20 mm. Qual é, em metros, a medida dessa lâmina?

- a) $2,0 \cdot 10^4$
- b) $2,0 \cdot 10^2$
- c) $2,0 \cdot 10$
- d) $2,0 \cdot 10^{-3}$
- e) $2,0 \cdot 10^{-4}$

4 (Unirio-RJ) Numa viagem interestadual, um motorista de ônibus registrou os seguintes tempos:

Da parada A à parada B: 1,53 h

Da parada B à parada C: 2,7 h

Da parada C à parada D: 0,856 h

Da parada D à parada E: 2,00 h

Quanto tempo levou para dirigir da parada A à parada E?

- a) 7 h
- b) 7,1 h
- c) 7,07 h
- d) 7,08 h
- e) 7,075 h

5 (UERJ) Qual a ordem de grandeza do número de segundos contidos em um mês?

- a) 10^3
- b) 10^4
- c) 10^5
- d) 10^6
- e) 10^7

6 (Vunesp-SP) O intervalo de tempo de 2,4 min equivale, no Sistema Internacional de unidades (SI), a:

- a) 24 s
- b) 124 s
- c) 144 s
- d) 160 s
- e) 240 s

7 (UEL-PR) A densidade média da Terra é de $5,5 \text{ g/cm}^3$. Em unidades do Sistema Internacional ela deve ser expressa por:

- a) 5,5
- b) $5,5 \cdot 10^2$
- c) $5,5 \cdot 10^3$
- d) $5,5 \cdot 10^4$
- e) $5,5 \cdot 10^6$

8 (Fuvest-SP) Um conhecido autor de contos fantásticos associou o tempo restante de vida de certa personagem à duração de escoamento da areia de uma enorme ampulheta. A arcia escoa uniforme, lenta e inexoravelmente à razão de 200 g por dia. Sabendo que a ampulheta comporta 30 kg de areia e que $\frac{2}{3}$ do seu conteúdo inicial já escoaram, quantos dias de vida restam à personagem?

- a) 100
- b) 50
- c) 600
- d) 2 000
- e) 1 000

9 (UCSal-BA) O volume interno de uma caixa, com formato de um paralelepípedo, é igual a 60 dm^3 . Quantos litros de água essa caixa comporta?

- a) 0,06
- b) 0,6
- c) 6
- d) 60
- e) 600

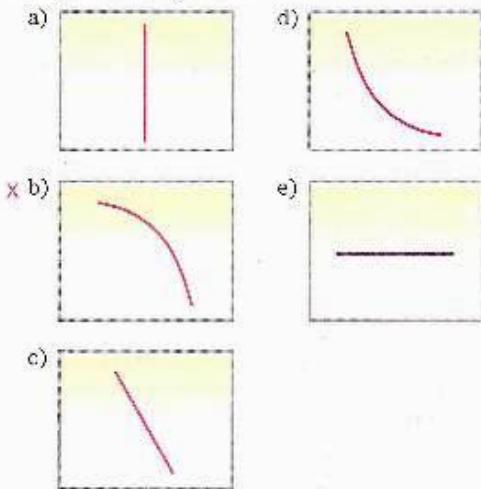
10 (UFCE) O ser humano possui, em média, um cabelo por cada milímetro quadrado da superfície de sua cabeça. Isto representa cerca de 10^4 cabelos por pessoa. Em 1997 a população humana da Terra era cerca de $5 \cdot 10^9$ pessoas. Suponha que, além da Terra, existam no Universo muitos outros planetas, povoados por seres vivos (com igual densidade média de cabelos por habitante) e cada um com população equivalente à nossa. Se alguém precisar de 1 mol (1 mol $\approx 6 \cdot 10^{23}$) de cabelos originários das populações acima mencionadas poderá consegui-lo?

- a) apenas em nosso planeta, a Terra
- b) em 10 planetas
- c) em cerca de 10^8 planetas
- d) em cerca de 10^{10} planetas
- e) em, no mínimo, 10^{18} planetas

Os testes de 11 a 74 referem-se à unidade II deste volume.

11 (UFES) Um objeto é solto de um aparelho ultraleve que se desloca, paralelamente ao solo, a baixa altura, com uma velocidade constante. Desprezando a

resistência do ar, a representação gráfica da trajetória do objeto em relação ao solo é:



■ 12 (UFU-MG) Uma mãe sentada numa poltrona observa seu filho brincar, ao lado de sua poltrona, no corredor de um trem em movimento retílineo. De repente, ela vê o filho saltar, verticalmente para cima. Ela verá seu filho cair (despreze a resistência do ar):

- a) no mesmo local, qualquer que seja o estado de movimento do trem
- b) um pouco atrás de sua poltrona, se o trem estiver freando (parando)
- c) um pouco à frente de sua poltrona, se o trem estiver acelerando (aumentando a velocidade)
- d) no mesmo local, se o trem estiver com velocidade constante
- e) um pouco atrás de sua poltrona, se o trem estiver com velocidade constante

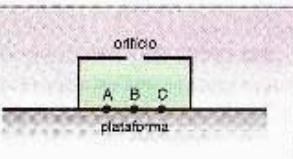
■ 13 (UFSM-RS)

A figura representa uma caixa que se move sobre uma plataforma horizontal parada em relação ao observador. Um corpo cai verticalmente em relação à plataforma e passa pelo orifício no alto da caixa, atingindo o fundo em um dos pontos marcados pelas letras A, B e C.

Se a caixa está se movendo para a _____, a bola atinge o ponto _____.

Assinale a alternativa que completa, corretamente, as lacunas.

- a) esquerda; A
- b) esquerda; B
- c) esquerda; C
- d) direita; C
- e) direita; B



■ 14 (FURRN) Na sala de aula, você está sentado e permanece imóvel nessa posição. Podemos afirmar que você estará em repouso em relação a um sistema de eixos ortogonais:

- a) fixo na entrada da sala
- b) concebido fixo na Lua
- c) colocado fixo num automóvel que passa na frente da escola
- d) imaginado fixo no Sol
- e) qualquer que seja o sistema

■ 15 (PUC-SP) Considere a seguinte situação: um ônibus movendo-se numa estrada e duas pessoas: uma, A, sentada no ônibus e outra, B, parada na estrada, ambas observando uma lâmpada fixa no teto do ônibus. A diz: "A lâmpada não se move em relação a mim, uma vez que a distância que nos separa permanece constante". B diz: "A lâmpada está se movimentando, uma vez que está se afastando de mim".

- a) A está errada e B está certa
- b) A está certa e B está errada
- c) ambas estão erradas
- d) cada uma, dentro do seu ponto de vista, está certa
- e) n.d.a.

■ 16 (Cesgranrio-RJ) Uma pessoa, correndo, percorre 4,0 km com velocidade escalar média de 12 km/h. O tempo do percurso é de:

- | | |
|---|-----------|
| a) 3,0 min | d) 30 min |
| b) 8,0 min | e) 33 min |
| <input checked="" type="checkbox"/> c) 20 min | |

■ 17 (UFPA) Um transatlântico faz uma viagem de 3 600 km em 6 dias e 6 horas. Em metros por segundo, sua velocidade de cruzeiro é, aproximadamente:

- | | |
|---|---------|
| a) 24,12 | d) 3,40 |
| b) 12,40 | e) 1,86 |
| <input checked="" type="checkbox"/> c) 6,70 | |

■ 18 (Unisinos-RS) O jornal de Astronomia e Ciência Espacial *Cosmos* publicou, em sua edição especial de setembro de 1994, que a sombra da Lua projetada sobre a Terra percorrerá cerca de 14 000 km, desde 2 000 km a oeste do Peru, no Oceano Pacífico, até 750 km ao sul de Madagascar, no Oceano Índico, em 3h 15min. A velocidade média da sombra sobre a superfície terrestre foi de, aproximadamente:

- | | |
|--|--------------|
| a) 1,2 m/s | d) 4 300 m/s |
| b) 72 m/s | e) 4 440 m/s |
| <input checked="" type="checkbox"/> c) 1 200 m/s | |

■ 19 (Unifor-CE) O motorista de um automóvel percorre a distância de 600 km entre duas cidades. Nos primeiros 300 km da viagem ele manteve a velocidade média de 120 km/h, fazendo, em seguida, uma parada de 30 min. Prossegue a viagem gastando mais 3,0 h para completá-la. A velocidade escalar média do automóvel, no percurso todo, foi de:

- | | | |
|------------|------------|---|
| a) 78 km/h | c) 90 km/h | <input checked="" type="checkbox"/> e) 100 km/h |
| b) 85 km/h | d) 95 km/h | |

■ 20 (Coperve-PB) Um Monza e um Santana, a 80 km/h e 60 km/h, respectivamente, partem de João Pessoa para Recife. O Monza pára na estrada por 10 min, prosseguindo a viagem com a mesma velocidade. Considerando que a distância que separa as duas cidades é de 120 km, o Monza chega a Recife:

- a) 10 min antes que o Santana
- b) 20 min antes que o Santana
- c) 10 min depois que o Santana
- d) 20 min depois que o Santana
- e) exatamente no mesmo instante que o Santana

■ 21 (FAFI-BH) Um atleta corre 100 m com velocidade de 40 m/s; a seguir, corre 25 m com velocidade de 50 m/s ao longo de uma pista retílinea.

Durante esse movimento, pode-se afirmar que a velocidade média do atleta é de, aproximadamente,



- a) 90 m/s
- b) 60 m/s
- c) 45 m/s
- d) 42 m/s

■ 22 (UEL-PR) Um carro percorreu a metade de uma estrada viajando a 30 km/h e, a outra metade da estrada, a 60 km/h. Sua velocidade média no percurso total foi de:

- a) 60 km/h
- b) 54 km/h
- c) 48 km/h
- d) 40 km/h
- e) 30 km/h

(PUC-SP) Este enunciado refere-se aos testes 23 a 25. A função horária das posições de um móvel sobre uma trajetória retílinea é $s = 10 - 2t$ (no SI).

■ 23 A posição do móvel no instante 6 s é:

- a) 0
- b) 2 m
- c) -2 m
- d) 22 m
- e) n.d.a.

■ 24 O deslocamento do móvel entre os instantes 1 s e 4 s é:

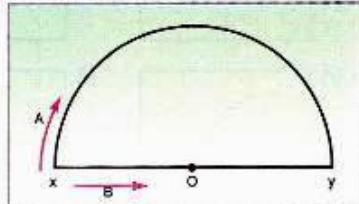
- a) 4 m
- b) 2 m
- c) 0
- d) 6 m
- e) n.d.a.

■ 25 O móvel passa pela origem das posições no instante:

- a) 3 s
- b) 0
- c) 1 s
- d) 5 s
- e) n.d.a.

■ 26 (UCPR) Dois móveis, *A* e *B*, partem de um mesmo ponto *x* com velocidades 20 m/s e 50 m/s, respectivamente. O móvel *A* percorre uma semicircunferência, enquanto o móvel *B* percorre trajetória reta. Sabendo-se que a distância *Ox* é de 1 000 m, para que os dois móveis cheguem juntos ao ponto *y* o intervalo de tempo entre suas partidas deverá ser de:

- a) 95 s
- b) 117 s
- c) 135 s
- d) 157 s
- e) 274 s



■ 27 (Unifor-CE) Um menino sai de sua casa e caminha para a escola dando, em média, um passo por segundo. Se o tamanho médio de seu passo é de 0,5 m e se ele gasta 5 min no trajeto, a distância entre sua casa e a escola, em metros, é de:

- a) 15
- b) 25
- c) 100
- d) 150
- e) 300

■ 28 (UFSM-RS) Dois ciclistas percorrem, com velocidades constantes, uma pista retílinea. No tempo $t = 0$, o primeiro encontra-se a 10 m da origem e o segundo, a 15 m. Sabendo que suas velocidades escalares são, respectivamente, de 15 m/s e 10 m/s, o intervalo de tempo decorrido e a distância a partir da origem onde se dará o encontro serão:

- a) 1 s e 15 m
- b) 1 s e 25 m
- c) 2 s e 25 m
- d) 2 s e 50 m
- e) 3 s e 25 m

■ 29 (EFOA-MG) Dois móveis partem simultaneamente de dois pontos de uma reta, separados por uma distância de 15 m, percorrendo-a na mesma direção e em sentidos contrários, com velocidades constantes e iguais a 2 m/s e 3 m/s. O tempo, após a partida, no qual se verifica o encontro é de:

- a) 3 s
- b) 5 s
- c) 2 s
- d) 4 s
- e) 7 s

■ 30 (PUC-RS) Dois automóveis, *A* e *B*, se deslocam sobre uma mesma estrada, na mesma direção e em sentidos opostos, animados, respectivamente, das velocidades constantes $v_A = 90 \text{ km/h}$ e $v_B = 60 \text{ km/h}$. Num determinado instante $t_0 = 0 \text{ h}$, passam pelo mesmo referencial. Ao final de 15 min, contados a partir do referencial, a distância entre os automóveis, em quilômetros, será de:

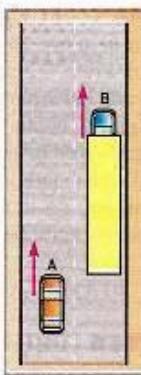
- a) 10,0
- b) 37,5
- c) 42,7
- d) 54,8
- e) 81,3

■ 31 (Uniube-MG) A unidade de velocidade usada nos navios é o nó, e seu valor equivale a cerca de 1,8 km/h. Se um navio se movimentar a uma velocidade média de 20 nós, em 5 h de viagem ele terá percorrido:

- a) 9 km
- b) 18 km
- c) 36 km
- d) 180 km
- e) 250 km

32 (FURRN) Em uma estrada estão trafegando dois veículos: um carro A, de 3,0 m de comprimento, e um caminhão B, de 15,0 m de comprimento. As velocidades de A e B são, respectivamente, 72 km/h e 36 km/h e eles se deslocam no mesmo sentido. Num certo instante (indicado na figura), o carro A começa a ultrapassar o caminhão B. Enquanto ultrapassa completamente o caminhão B, o carro A percorre uma distância, em metros, de:

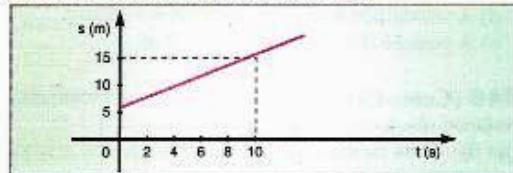
- a) 10 c) 15 **x** e) 36
b) 12 d) 20



33 (ITA-SP) Um avião voando horizontalmente a 4 000 m de altura numa trajetória retílinea com velocidade constante passou por um ponto A e depois por um ponto B situado a 3 000 m do primeiro. Um observador no solo, parado no ponto verticalmente abaixo de B, começou a ouvir o som do avião, emitido em A, 4,00 s antes de ouvir o som proveniente de B. Se a velocidade do som no ar era de 320 m/s, a velocidade do avião era de:

- a) 960 m/s c) 390 m/s e) 292 m/s
b) 750 m/s **x** d) 421 m/s

34 (FGV-SP) Um objeto desloca-se em movimento retílineo uniforme durante 30 s. A figura representa o gráfico do espaço em função do tempo.



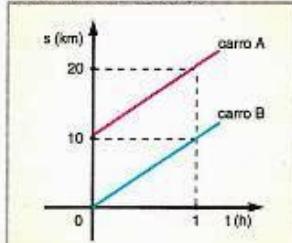
O espaço do objeto no instante $t = 30\text{ s}$, em metros, será:

- a) 30 **x** b) 35 c) 40 d) 45 e) 50

35 (UFSM-RS) O gráfico da figura representa a posição, em função do tempo, de dois carros, A e B, que se deslocam numa estrada reta.

Pode-se afirmar que a velocidade do carro A:

- a) é maior que a do carro B
- x** b) é igual à do carro B
- c) é menor que a do carro B
- d) aumenta na mesma taxa que a do carro B
- e) é de 20 km/h



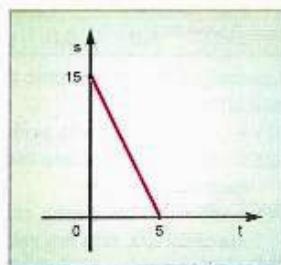
36 (Cesgranrio-RJ) Um trem sai da estação de uma cidade, em percurso retílineo, com velocidade constante de 50 km/h. Quanto tempo depois de sua partida deverá

sair, da mesma estação, um segundo trem com velocidade constante de 75 km/h para alcançá-lo a 120 km da cidade?

- a) 24 min d) 144 min
x b) 48 min e) 288 min
c) 96 min

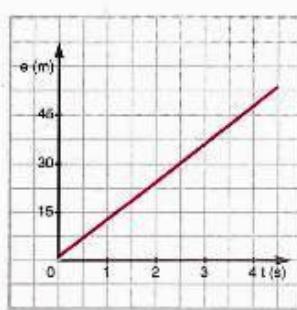
37 (UFSE) O movimento descrito através do gráfico ao lado pode também ser descrito pela função horária:

- a) $s = 15t$
b) $s = 15 + 5t$
x c) $s = 15 - 3t$
d) $s = 15 - 5t$
e) $s = 15 + 3t$

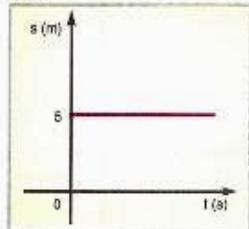
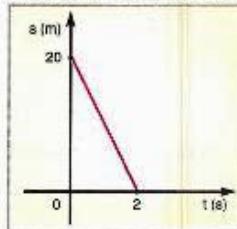


38 (PUC-BA) No gráfico, representa-se a distância e percorrida por um corpo que se move em linha reta, em função do tempo. Qual é, mais aproximadamente, a distância percorrida pelo corpo entre os instantes $t = 1,0\text{ s}$ e $t = 3,0\text{ s}$?

- a) 11,3 m d) 35,0 m
b) 20,0 m e) 48,6 m
x c) 23,3 m



39 (Unicruz-RS) Os gráficos abaixo representam as funções horárias de dois móveis.



As velocidades dos móveis são, respectivamente:

- a) 40 m/s e zero d) 40 m/s e -20 m/s
b) 10 m/s e 20 m/s e) 10 m/s e zero
x c) -10 m/s e zero

40 (Cesgranrio-RJ) Um atleta desloca-se em movimento uniformemente variado. Às 2 h, 29 min e 55 s, sua velocidade é de 1 m/s e, logo a seguir, às 2 h, 30 min e 25 s, está com 10 m/s. Qual a aceleração escalar desse atleta?

- a) $0,03\text{ m/s}^2$
b) $0,1\text{ m/s}^2$
x c) $0,3\text{ m/s}^2$
d) $1,0\text{ m/s}^2$
e) $3,0\text{ m/s}^2$

Em testes como o 41 a resposta é dada pela soma dos números que identificam as alternativas certas.

■41 (UFMS) A tabela abaixo fornece, em vários instantes, os valores da velocidade de um corpo que se desloca em linha reta.

t (s)	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
v (m/s)	5,0	8,0	11,0	14,0	17,0

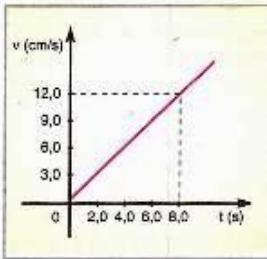
A respeito desse movimento descrito pela tabela, é correto afirmar que:

- 01) é caracterizado pela aceleração variável
- 02) é caracterizado como movimento retílineo uniformemente variado
- 04) o valor da aceleração, calculado a partir da tabela apresentada, tem um valor constante de 3 m/s^2
- 08) considerando a aceleração constante, o espaço inicial quando foi acionado o cronômetro correspondeu à posição 0 m.
- 16) considerando a aceleração constante, a velocidade inicial quando foi acionado o cronômetro correspondeu a 2 m/s
- 32) observando os valores da tabela, entre os instantes 1 s e 2 s, o espaço percorrido correspondeu a 6,5 m

Resposta: 54

(Uniube-MG) Instruções para as questões de números 42 e 43.

Estas questões devem ser resolvidas com base no gráfico ao lado, no qual se representa a velocidade escalar (v) de um corpo em função do tempo (t).



■42 Qual foi a aceleração escalar média do corpo entre os instantes $t = 0 \text{ s}$ e $t = 8,0 \text{ s}$?

- a) $0,75 \text{ cm/s}^2$
- c) $1,5 \text{ cm/s}^2$
- e) $3,2 \text{ cm/s}^2$
- b) $1,1 \text{ cm/s}^2$
- d) $2,0 \text{ cm/s}^2$

■43 Qual foi a distância percorrida pelo corpo entre os instantes $t = 0 \text{ s}$ e $t = 8,0 \text{ s}$?

- a) 8,0 cm
- c) 24 cm
- e) 96 cm
- b) 12 cm
- d) 48 cm

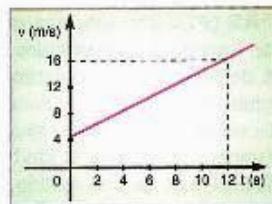
■44 (UFAL) O gráfico ao lado representa a velocidade de um carro, que se desloca em estrada reta, em função do tempo. Durante a freada, os módulos do deslocamento e da aceleração, em unidades do Sistema Internacional, são:

- a) 150 e 4,0
- c) 100 e 0
- e) 50 e 2,0
- b) 150 e 2,0
- d) 50 e 4,0

■45 (UFCE) Um objeto se move ao longo de uma reta. Sua velocidade varia linearmente com o tempo, como mostra o gráfico ao lado.

A velocidade média do objeto, no intervalo de tempo compreendido entre $t = 4 \text{ s}$ e $t = 8 \text{ s}$, é de:

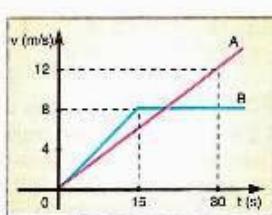
- a) 6 m/s
- c) 10 m/s
- e) 14 m/s
- b) 8 m/s
- d) 12 m/s



■46 (UEL-PR) Dois móveis partem simultaneamente de um mesmo ponto e suas velocidades estão representadas no gráfico ao lado.

A diferença entre as distâncias percorridas pelos dois móveis, nos 30 s, é igual a:

- a) zero
- c) 120 m
- e) 300 m
- b) 60 m
- d) 180 m



■47 (UFRO) O movimento de uma partícula se faz segundo a equação horária:

$s = 2t^2 - 5t + 10$ (no SI). Assinale a alternativa correta.

- a) A aceleração da partícula é 2 m/s^2 .
- b) A velocidade inicial da partícula é 5 m/s .
- c) A posição inicial da partícula é 10 m .
- d) A velocidade inicial da partícula é -10 m/s .
- e) A posição inicial da partícula é 2 m .

■48 (Cefet-PR) Um móvel descreve um movimento retílineo obedecendo à função horária $x = 8 + 6t - t^2$ (no SI). Esse movimento tem inversão de seu sentido no instante, em segundos, igual a:

- a) 8
- b) 3
- c) 6
- d) 2
- e) $\frac{4}{8}$

■49 (ESAL-MG) Dois móveis percorrem a mesma trajetória retílinea, segundo as equações horárias:

$$s_1 = 2 + 8t \text{ e } s_2 = 10 + 8t - 2t^2$$

Pode-se afirmar que os móveis encontrar-se-ão na posição:

- a) 0 (origem)
- c) 9 m
- e) -10 m
- b) 2 m
- d) 18 m

■50 (Cefet-PR) Um móvel parte do repouso com aceleração constante de $1,5 \text{ m/s}^2$ e neste instante passa por ele um segundo móvel, com velocidade constante de 30 m/s com a mesma direção e sentido. O primeiro móvel alcança o segundo após _____ s, quando tiverem se deslocado por _____ m.

A alternativa que completa corretamente as lacunas corresponde à opção:

- a) 20 — 600
- c) 40 — 600
- e) 30 — 1 200
- b) 30 — 900
- d) 40 — 1 200

51 (UFBA) O maquinista aciona os freios de um trem, reduzindo a sua velocidade de 80 km/h para 60 km/h, no intervalo de 1 min. Nesse intervalo, a aceleração do trem foi de:

- a) 20 km/h^2 d) $1,2 \cdot 10^3 \text{ km/h}^2$
 b) -20 km/h^2 e) $-1,2 \cdot 10^3 \text{ km/h}^2$
 c) $-0,3 \text{ km/h}^2$

52 (UFRN) Um trem corre a uma velocidade de 20 m/s quando o maquinista vê um obstáculo 50 m à sua frente. A desaceleração máxima que deve ser dada ao trem para que não haja choque é de:

- a) 4 m/s^2 d) $0,5 \text{ m/s}^2$
 b) 2 m/s^2 e) 0
 c) 1 m/s^2

53 (Unirio-RJ) Caçador nato, o guepardo é uma espécie de mamífero que reforça a tese de que os animais predadores estão entre os bichos mais velozes da natureza. Afinal, a velocidade é essencial para os que caçam outras espécies em busca de alimentação. O guepardo é capaz de, saindo do repouso e correndo em linha reta, chegar à velocidade de 72 km/h em apenas 2,0 s, o que nos permite concluir, em tal situação, ser o módulo de sua aceleração média igual a:

- a) 10 m/s^2
 b) 15 m/s^2
 c) 18 m/s^2
 d) 36 m/s^2
 e) 50 m/s^2

54 (Puccamp-SP) Um esquiador desce por uma pista de esqui com aceleração constante. Partindo do repouso do ponto P , ele chega ao ponto T , a 100 m de P , com velocidade de 30 m/s. O esquiador passa por um ponto Q , a 36 m de P , com velocidade de:

- a) 18 m/s d) $10,8 \text{ m/s}$
 b) 15 m/s e) $9,0 \text{ m/s}$
 c) 12 m/s

55 (UEL-PR) Um trem em movimento está a 15 m/s quando o maquinista freia, parando o trem em 10 s. Admitindo aceleração constante, pode-se concluir que os módulos da aceleração e do deslocamento do trem neste intervalo de tempo valem, em unidades do Sistema Internacional, respectivamente,

- a) $0,66 \text{ e } 75$ d) $1,5 \text{ e } 150$
 b) $0,66 \text{ e } 150$ e) $1,5 \text{ e } 75$
 c) $1,0 \text{ e } 150$

56 (FURRN) Uma revista especializada explica que os recordes batidos por um veículo eram devidos ao seguinte desempenho: I) sair do repouso e atingir 100 km/h em 10 s e II) retomar a velocidade de 40 km/h até 100 km/h em 20 s. A razão entre as acelerações ocorridas nos casos I e II é de:

- a) $\frac{5}{3}$ b) $\frac{5}{1}$ c) $\frac{6}{10}$ d) $\frac{10}{3}$ e) $\frac{10}{6}$

57 (FURRN) Continuando a carona na reportagem citada, a revista informa que o veículo, estando a uma velocidade de 80 km/h, consegue frear totalmente num trecho de 24 m de pista. A aceleração desse retardamento é de aproximadamente:

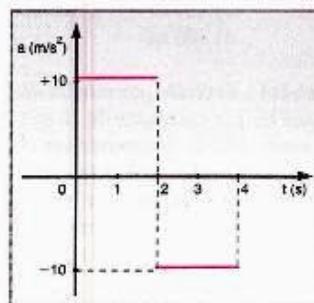
- a) 5 m/s^2 d) 20 m/s^2
 b) 10 m/s^2 e) 25 m/s^2
 c) 15 m/s^2

58 (Fuvest-SP) Um carro viaja com velocidade de 90 km/h (ou seja, 25 m/s) num trecho retílineo de uma rodovia quando, subitamente, o motorista vê um animal parado na sua pista. Entre o instante em que o motorista avista o animal e aquele em que começa a frear, o carro percorre 15 m. Se o motorista frear o carro à taxa constante de $5,0 \text{ m/s}^2$, mantendo-o em sua trajetória retílinea, ele só evitará atingir o animal, que permanece imóvel durante todo o tempo, se o tiver percebido a uma distância de, no mínimo:

- a) 15 m d) 77,5 m
 b) 31,25 m e) 125 m
 c) 52,5 m

59 (UFES) Uma partícula partindo do repouso, ao longo do seu movimento retílineo, é submetida a acelerações conforme mostra o gráfico $a \times t$ da figura. No decorrer do tempo indicado, o máximo valor de velocidade atingido pela partícula é de:

- a) 5 m/s d) 40 m/s
 b) 10 m/s e) 80 m/s
 c) 20 m/s



60 (FURRN) Você conhece a brincadeira do gato no pote, que consiste numa panela de barro pendurada por uma corda? Digamos que dentro de nossa panela havia, além do gato, bombons e pedacinhos de madeira. No instante em que la ser quebrada a panela, a corda se desprende e caíram a panela, o gato, os bombons e os pedacinhos de madeira. Seria correto afirmar, com respeito às acelerações de cada elemento, que:

- a) são iguais
 b) é maior para o elemento de maior massa
 c) é menor para o de menor massa
 d) dependem das massas
 e) dependem dos pesos de cada elemento

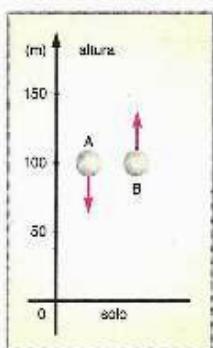
- 61 (UFSC)** Quanto ao movimento de um corpo lançado verticalmente para cima e submetido somente à ação da gravidade, é correto afirmar que: **Resposta: 21**
- A velocidade do corpo no ponto de altura máxima é zero instantaneamente.
 - A velocidade do corpo é constante para todo o percurso.
 - O tempo necessário para a subida é igual ao tempo de descida, sempre que o corpo é lançado de um ponto e retorna ao mesmo ponto.
 - A aceleração do corpo é maior na descida do que na subida.
 - Para um dado ponto na trajetória, a velocidade tem os mesmos valores, em módulo, na subida e na descida.
- 62 (UFES)** Um projétil é disparado do solo, verticalmente para cima, com velocidade inicial igual a 200 m/s. Desprezando-se a resistência do ar, a altura máxima alcançada pelo projétil e o tempo necessário para alcançá-la são, respectivamente:
- 4 000 m; 40 s
 - 4 000 m; 20 s
 - 2 000 m; 40 s
 - 2 000 m; 20 s
 - 2 000 m; 10 s
- 63 (UFES)** Um garoto lança uma pequena bola, verticalmente para cima, do topo de um edifício. A bola parte com velocidade inicial de módulo 10 m/s e atinge o solo 4,0 s após o lançamento. Desprezando-se a resistência do ar, a altura do edifício é:
(Use $g = 10 \text{ m/s}^2$.)
- 40 m
 - 80 m
 - 120 m
 - 160 m
 - 200 m
- 64 (Cefet-BA)** Um balão, em movimento vertical ascendente à velocidade constante de 10 m/s, está a 75 m da Terra, quando dele se desprende um objeto. Considerando a aceleração da gravidade igual a 10 m/s² e desprezando a resistência do ar, o tempo, em segundos, em que o objeto chegará à Terra, é:
X a) 5 b) 20 c) 10 d) 8 e) 7
- (Cesesp-PE)** O enunciado refere-se às questões 65 e 66. Uma bola é abandonada em queda livre de uma altura de 180 m ($g = 10 \text{ m/s}^2$).
- 65** O tempo que a bola levará para atingir o solo será, em segundos:
- 1
 - 5
 - 10
 - 2
 - 6
- 66** Sua velocidade ao tocar o solo será, em metros por segundo:
- 60
 - 30
 - 80
 - 90
 - 180
- 67 (Unicruz-RS)** Um menino, brincando na janela de um apartamento, deixa cair seu carrinho, que leva 2,0 s para atingir o solo. A velocidade com que o carri-
- nho chega ao solo e a altura da janela são, respectivamente: (Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$)
- 20 m/s e 60 m
 - 20 m/s e 20 m
 - 60 m/s e 20 m
 - 20 m/s e 20 m
 - 5 m/s e 25 m
- 68 (Cesesp-PE)** Na beira de um despenhadeiro, 5,0 m acima da superfície de um rio que corre a uma velocidade de 5,0 m/s, um garoto atira pedras em troncos que passam boiando. Se ele solta uma pedra no exato instante em que um determinado tronco começa a passar abaixo de sua posição, e a pedra o atinge 60 cm antes do final, pode-se concluir que o comprimento total do tronco era, em metros:
- 7,2
 - 5,6
 - 4,5
 - 3,7
 - 1,2
- 69 (UEL-PR)** Um corpo é abandonado a partir do repouso e atinge o chão com velocidade de 20 m/s. Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, o corpo caiu da altura de:
- 200 m
 - 100 m
 - 50 cm
 - 20 m
 - 10 m
- 70 (UFPE)** Atira-se em um poço uma pedra verticalmente para baixo, com uma velocidade inicial $v_0 = 10 \text{ m/s}$. Sendo a aceleração local da gravidade igual a 10 m/s² e sabendo que a pedra gasta 2 s para chegar ao fundo do poço, podemos concluir que a profundidade desse poço é, em metros:
- 30
 - 40
 - 50
 - 20
 - n.d.a.
- 71 (UFMT)** Dois projéteis iguais são atirados da mesma posição (40 m acima do solo), verticalmente, em sentidos opostos e com a mesma velocidade. Em 2 s o primeiro projétil atinge o solo. Depois de quanto tempo da chegada do primeiro o segundo atingirá o solo? (Despreze qualquer atrito e considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.)
- 1 s
 - 2 s
 - 3 s
 - 4 s
 - 5 s
- 72 (FAFIC-MG)** Um malabarista apresenta-se em um terraço de um arranha-céu. Atira uma bola para cima e outra logo depois para baixo. Sendo as velocidades de lançamento de 10 m/s para as duas bolas, pode-se afirmar que (desprezando a resistência do ar):
- A 2^a bola tem aceleração maior que a primeira.
 - A 2^a bola tem aceleração menor que a primeira.
 - X A velocidade de ambas ao tocar o solo é igual.
 - A 2^a bola atinge o solo com velocidade maior que a primeira.
 - A 2^a bola atinge o solo com velocidade menor que a primeira.
- 73 (Pucamp-SP)** De um ponto a 80 m do solo um pequeno objeto O é abandonado e cai em direção ao solo. Outro corpo, Q , um segundo antes, havia sido atirado para baixo, na mesma vertical, de um ponto a 180 m do solo. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$ e despreze a ação do ar sobre

os corpos. Sabendo-se que eles caegaram juntos ao solo, a velocidade com que o corpo Q foi atirado tem módulo, em metros por segundo, de:

- a) 100
b) 95
c) 50
d) 20
e) 11

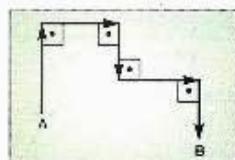
74 (UFU-MG) Duas pedras são lançadas do alto de um edifício de 100 m de altura. Elas são lançadas no mesmo instante com a mesma velocidade em módulo, só que a pedra A é lançada verticalmente para baixo enquanto a pedra B é lançada verticalmente para cima. Desprezando a resistência do ar, a afirmação correta, para qualquer velocidade de lançamento, é:

- a) A velocidade da pedra A ao atingir o solo é maior que a velocidade da pedra B quando esta atinge o solo.
b) No instante em que a pedra A estiver a 50 m do solo a pedra B estará a 150 m do solo.
c) A velocidade da pedra A ao atingir o solo é menor que a velocidade da pedra B quando esta atinge o solo.
d) A velocidade da pedra A no instante em que ela passar pela posição 50 m é a mesma que a velocidade da pedra B quando esta passar por essa mesma posição.
e) No instante em que a pedra A atingir o solo a pedra B estará a 100 m do solo.



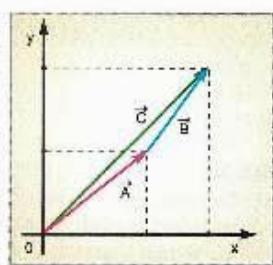
77 (UFRN) A figura abaixo representa o deslocamento de um móvel em várias etapas. Cada vetor tem módulo igual a 20 m. A distância percorrida pelo móvel e o módulo do vetor deslocamento são, respectivamente:

- a) $20\sqrt{5}$ m e $20\sqrt{5}$ m
b) 40 m e $40\sqrt{5}$ m
c) 100 m e $20\sqrt{5}$ m
d) $20\sqrt{5}$ m e 40 m
e) 100 m e $40\sqrt{5}$ m



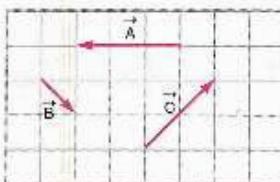
78 (Cefet-PB) A figura mostra os vetores \vec{A} , \vec{B} e \vec{C} . Sobre eles, pode-se afirmar que:

- I) A soma da componente de A e a componente de B , ao longo de cada eixo, é igual à componente de C ao longo deste eixo.
II) Pode-se obter C , tanto somando A e B diretamente, como somando as componentes de A e B .
III) Considerando que os vetores A e B possuem módulos diferentes, A e B podem ser combinados e obtemos resultante nula.
IV) O vetor B é a diferença entre o vetor C e o vetor A . É correta a alternativa:
a) I, II e IV são verdadeiras.
b) Apenas a III é verdadeira.
c) Apenas a II é falsa.
d) Apenas a IV é verdadeira.
e) II e III são verdadeiras.



79 (Fatec-SP) Dados os vetores \vec{A} , \vec{B} , \vec{C} , representados na figura em que cada quadricula apresenta lado correspondente a uma unidade de medida, é correto afirmar que a resultante dos vetores tem módulo:

- a) 1 b) 2 c) 3 d) 4 e) 6



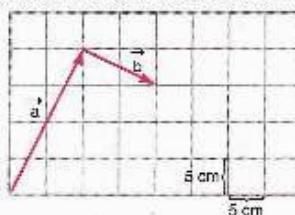
80 (UnB-DF) Considere um relógio com mostrador circular de 10 cm de raio e cujo ponteiro dos minutos tem comprimento igual ao raio do mostrador. Considere esse ponteiro como um vetor de origem no centro do relógio e direção variável. O módulo da soma dos três vetores determinados para a posição desse ponteiro, quando o relógio marca exatamente 12 h; 12 h e 20 min e, por fim, 12 h e 40 min, é, em centímetros, igual a:

- a) 30 c) 20
b) $10(1 + \sqrt{3})$ d) zero

Os testes de 75 a 113 referem-se à unidade III deste volume.

75 (FACIA) Na figura, os vetores \vec{a} e \vec{b} representam os deslocamentos sucessivos de um móvel. O módulo do vetor $\vec{a} + \vec{b}$ é igual a:

- a) 15 cm
b) 25 cm
c) 30 cm
d) 35 cm
e) 40 cm



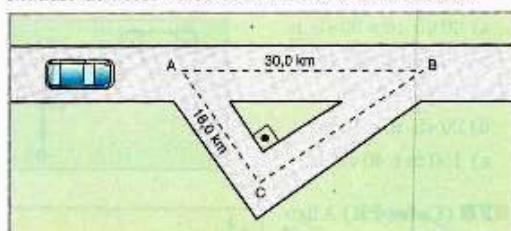
76 (Unisa-SP) Uma pessoa sai de sua casa e percorre as seguintes distâncias na seguinte ordem:

- I) 60 m para leste
II) 40 m para norte
III) 30 m para oeste

Podemos afirmar que após o último percurso, a pessoa se encontra distante do ponto de partida:

- a) 50 m c) 20 m e) 60 m
b) 80 m d) 40 m

81 (Mack-SP) Para se dirigir do ponto A ao ponto B da estrada abaixo, o veículo teve que passar pelo ponto C e gastou 15,0 min. Com relação ao plano da estrada, o módulo do vetor velocidade média entre A e B foi:



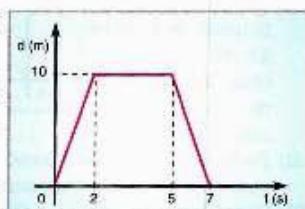
- a) zero
b) 72 km/h
X c) 120 km/h
d) 144 km/h
e) 168 km/h

82 (UFSM-RS)

O deslocamento d de um móvel em função do tempo t está representado no gráfico.

Os módulos dos deslocamentos correspondentes aos intervalos de tempo $(0, 2)$, $(2, 5)$, $(5, 7)$ e $(0, 7)$ são, respectivamente:

- a) 10, 0, 10, 20
b) 5, 0, 5, 10
X c) 10, 0, 10, 0
d) 10, 10, 0, 0
e) 10, 10, 10, 20



83 (FEI-SP) Sabe-se que a distância entre as margens paralelas de um rio é de 100 m e que a velocidade da correnteza, de 6 m/s, é constante, com direção paralela às margens. Um barco parte de um ponto x da margem A com velocidade constante de 8 m/s, com direção perpendicular às margens do rio. A que distância do ponto x o barco atinge a margem B?

- a) 100 m
X b) 125 m
c) 600 m
d) 750 m
e) 800 m

84 (FESP-PE) Um barco leva um tempo mínimo de 5 min para atravessar um rio quando não existe correnteza. Sabendo que a velocidade do barco em relação ao rio é de 4 m/s, podemos dizer que, quando as águas do rio tiverem uma velocidade de 3 m/s, o mesmo barco levará, para atravessá-lo, no mínimo:

- a) 8min 45s
X b) 5 min
c) 6min 15s
d) 4 min
e) 7 min

85 (UFCE) O piloto de um barco pretende atravessar um rio perpendicularmente à direção da correnteza, impondo ao barco uma trajetória que faz um ângulo de 30° com a direção pretendida. Se a velocidade da correnteza for de 5 km/h, a velocidade própria do barco, em quilômetros por hora, deverá ser:

- a) 5,8
b) 7,2
X c) 8,5
d) 10,0
e) 12,3

86 (UFSM-RS) Uma lancha que está com seu motor em regime máximo é observada da margem de um rio, indo rio acima, com velocidade de 8 m/s e, rio abaixo, com velocidade de 12 m/s.

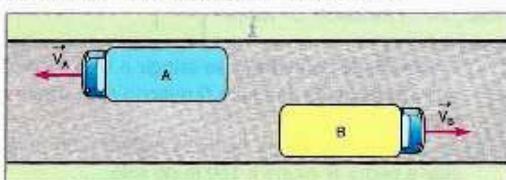
A velocidade da lancha, em relação à água, é de:

- a) 2 m/s
b) 4 m/s
X c) 6 m/s
d) 8 m/s
e) 10 m/s

87 (UFS-SE) Um barco, cuja velocidade em relação à água é de 4,0 m/s, orienta-se sempre perpendicularmente às margens de um rio que tem velocidade de correnteza de 3,0 m/s. A velocidade resultante, para um observador na margem do rio, tem módulo, em metros por segundo:

- a) 1,0
b) 3,0
c) 4,0
X d) 5,0
e) 7,0

88 (Unisinos-RS) Dois ônibus, A e B, movem-se com velocidades \vec{v}_A e \vec{v}_B conforme a figura.



Se o módulo de \vec{v}_A é 40 km/h e o de \vec{v}_B é 30 km/h em relação a uma pessoa parada na calçada, então o módulo da velocidade do ônibus A em relação ao ônibus B, em quilômetros por hora, é:

- X a) 70**
b) 40
c) 30
d) 10
e) zero

(PUC-SP) Enunciado para as questões 89, 90 e 91. Um canhão dispara um projétil com velocidade \vec{v}_0 formando um ângulo α com a horizontal. Se a aceleração da gravidade for \vec{g} , desprezando a resistência do ar, responda:

89 Se $v_0 = 20$ m/s, $g = 10$ m/s e $\alpha = 30^\circ$, então o tempo de subida é:

- a) 0,2 s
X b) 1,0 s
c) 0,8 s
d) 0,9 s
e) 2,0 s

90 Com os dados anteriores, o alcance horizontal vale:

- X a)** $20\sqrt{3}$ m
b) $7\sqrt{3}$ m
c) $10\sqrt{3}$ m
d) 5 m
e) 10 m

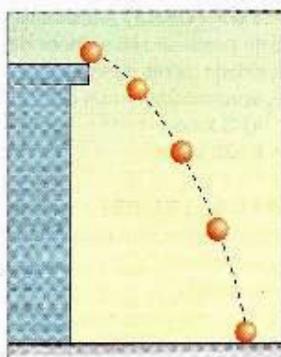
91 Com os dados anteriores, a altura máxima será:

- a) 2,5 m
X b) 5,0 m
c) 10 m
d) 20 m
e) 40 m

92 (UEL-PR) Do alto de um prédio de 40 m de altura, um projétil é disparado com velocidade inicial de 50 m/s, formando ângulo de 37° acima da horizontal. Adotando-se $g = 10$ m/s², sen $37^\circ = 0,60$ e cos $37^\circ = 0,80$, pode-se concluir que a altura máxima atingida em relação ao solo é, em metros, de:

- a) 45
b) 70
X c) 85
d) 135
e) 175

93 (FURRN) Uma bolinha, lançada horizontalmente da extremidade de uma mesa, descreve a trajetória mostrada na figura, na qual estão indicadas algumas posições da bolinha. O intervalo de tempo que a bolinha leva para percorrer a distância entre duas posições sucessivas é $\frac{1}{8}$ s. Considerando-se a aceleração da gravidade igual a $10,0 \text{ m/s}^2$, a altura aproximada da mesa, em metros, vale:



- a) 0,31
b) 0,80
x c) 1,25

- d) 2,50
e) 5,00

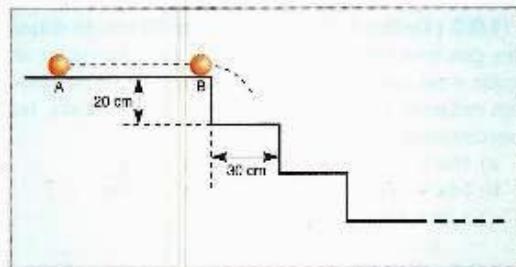
94 (UFSM-RS) Um avião, voando em linha reta, com velocidade constante em relação ao solo, abandona uma bomba. Se a resistência do ar sobre ela puder ser desprezada, a trajetória dessa bomba será em forma de uma:
 a) parábola para um observador que estiver no avião
 b) linha reta vertical, para um observador que estiver na terra
 c) linha reta horizontal, para um observador que estiver no avião
x d) linha reta vertical, para um observador que estiver no avião
 e) mesma figura para qualquer observador, pois independe do referencial

95 (UFJF-MG) A água sai de uma mangueira de jardim, inclinada em um ângulo de 30° com a horizontal, com velocidade de 10 m/s . Se a mangueira for inclinada de outro ângulo, de modo que a água caia no mesmo ponto que atingia quando a inclinação era de 30° , ela vai gastar um tempo de (desprezar a resistência do ar):
x a) $1,00 \text{ s}$
b) $0,86 \text{ s}$
c) $1,41 \text{ s}$
d) $0,71 \text{ s}$
e) $1,73 \text{ s}$

96 (UFCE) Um avião voa horizontalmente com velocidade constante. Em um dado instante, solta-se uma bola deste avião. Sabemos que para um indivíduo parado no chão a bola irá descrever um movimento curvo. Se desprezarmos a resistência do ar, para efeito do movimento da bola, podemos afirmar que: **Resposta: 18**
 01) O movimento da bola poderá ser decomposto em um MRU na horizontal e um MRU na vertical.
 02) O movimento da bola poderá ser decomposto em um MRU na horizontal e um movimento retílineo uniformemente acelerado na vertical.
 04) Ambos os movimentos, na horizontal e na vertical, são retílineos uniformemente acelerados.
 08) O movimento da bola poderá ser decomposto em um MRU na vertical e um movimento retílineo uniformemente acelerado na horizontal.

- 16) Para um indivíduo dentro do avião a bola descreve um movimento retílineo.
 32) O movimento curvo é uma ilusão de óptica devido ao movimento de rotação da Terra.

97 (Cesgranrio-RJ) Na superfície horizontal do pátamar superior de um escada, uma esfera de massa 10 g rola de um ponto A para um ponto B , projetando-se no ar a partir deste ponto para os degraus inferiores. Cada degrau tem altura de 20 cm e largura de 30 cm .



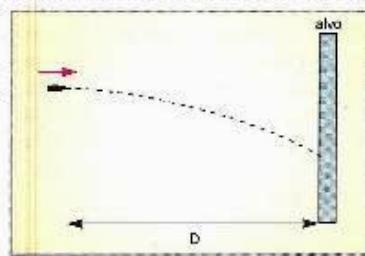
Considerando-se desprezível a resistência do ar e $g = 10 \text{ m/s}^2$, a velocidade mínima que a esfera deve ter ao passar pelo ponto B , para não tocar no primeiro degrau logo abaixo, é, em metros por segundo, igual a:

- a) 0,6
b) 0,8
x c) 1,0
d) 1,2
x e) 1,5

98 (FURRN) Um projétil é lançado horizontalmente, com velocidade de 510 m/s contra um alvo. Quando haviam transcorrido $5,00 \text{ s}$ do seu lançamento, ouviu-se o som do impacto com o alvo. Considerando desprezíveis as resistências ao movimento, a distância D do alvo, em metros, vale:

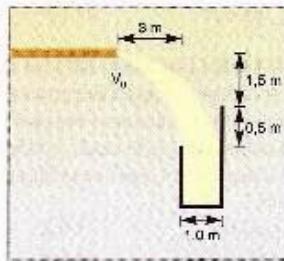
(Dado: velocidade do som no ar = 340 m/s)

- a) $2,55 \cdot 10^3$
b) $2,13 \cdot 10^3$
c) $1,70 \cdot 10^3$
d) $1,02 \cdot 10^3$
x e) $8,50 \cdot 10^2$



99 (Unitau-SP) Uma esteira horizontal é utilizada para descarregar areia que deve ser lançada em um tubo vertical, como indica a figura abaixo. Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, a areia cai dentro do tubo desde que a velocidade horizontal da esteira esteja no intervalo:

- a) de $4,74$ a $7,30 \text{ m/s}$
b) de $6,02$ a $7,30 \text{ m/s}$
c) de $4,74$ a $10,0 \text{ m/s}$
d) de $3,50$ a $10,0 \text{ m/s}$
x e) de $4,74$ a $6,32 \text{ m/s}$



■ 100 (Cesgrario-RJ) Para bombardear um alvo, um avião em vôo horizontal, a uma altitude de 2,0 km, solta a bomba quando a sua distância horizontal até o alvo é de 4,0 km. Admite-se que a resistência do ar seja desprezível. Para atingir o mesmo alvo, se o avião voasse com a mesma velocidade, mas agora a uma altitude de apenas 0,50 km, ele teria que soltar a bomba a uma distância horizontal do alvo igual a:

- a) 0,25 km c) 1,0 km e) 2,0 km
b) 0,50 km d) 1,5 km

■ 101 (Unifor-CE) Um disco com 20 cm de diâmetro gira com freqüência de 4,0 Hz. As velocidades angular e escalar de um ponto da periferia desse disco, em radianos por segundo e metros por segundo, respectivamente, valem:

- a) 16π e $1,6\pi$ d) $8,0\pi$ e $8,0\pi$
b) 16π e $0,80\pi$ e) $8,0\pi$ e $0,80\pi$
c) $8,0\pi$ e 80π

■ 102 (PUC-RS) As rodas de um carro têm 60,0 cm de diâmetro e realizam 5 voltas por segundo. Pode-se concluir que a velocidade desse carro é, aproximadamente:

- a) 9,42 m/s c) 18,8 m/s e) 25,6 m/s
b) 12,4 m/s d) 20,8 m/s

■ 103 (UFSM-RS) Uma bicicleta percorre 60 m em 10 s, em MU. Se as rodas tiverem 40 cm de raio, a freqüência do seu movimento em torno do eixo será de, aproximadamente:

- a) 6 Hz c) 3 Hz e) 1,5 Hz
b) 4 Hz d) 2,5 Hz

■ 104 (FAFIL-MG) Um móvel se desloca com velocidade constante sobre uma circunferência de 30 cm de raio, completando uma volta a cada 2 s. Tendo em vista essas informações, pode-se concluir que a aceleração centrípeta do móvel foi:

- a) $480\pi^2$ cm/s² d) 480π cm/s²
b) 30π cm/s² e) $30\pi^2$ cm/s²
c) $240\pi^2$ cm/s²

■ 105 (ESAL-MG) Uma pista circular de autódromo de $R = 2$ m é percorrida por um cartinho com velocidade linear constante de $8,0\pi$ m/s. Então, podemos dizer que o número de voltas dado em 1 s é:

- a) 2,0 c) 3,0 e) 6,28
b) 4,0 d) 1,0

■ 106 (Puccamp-SP) Na última fila de poltronas de um ônibus, dois passageiros estão distando 2 m entre si. Se o ônibus faz uma curva fechada, de raio 40 m, com velocidade de 36 km/h, a diferença das velocidades dos passageiros é, aproximadamente, em metros por segundo:

- a) 0,1 c) 0,5 e) 1,5
b) 0,2 d) 1,0

■ 107 (UERJ) A distância média entre o Sol e a Terra é de cerca de 150 milhões de quilômetros. Assim, a velocidade média de translação da Terra em relação ao Sol é, aproximadamente, de:

- a) 3 km/s c) 300 km/s
 b) 30 km/s d) 3 000 km/s

■ 108 (UEL-PR) A roda de uma motocicleta em movimento gira com uma freqüência de $30/\pi$ Hz. Supondo que o diâmetro da roda seja igual a 50 cm e que a roda não deslize no asfalto, a velocidade da moto, em quilômetros por hora, é de aproximadamente:

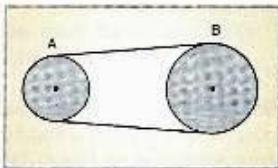
- a) 40 c) 54 e) 75
b) 48 d) 60

■ 109 (FAMECA-SP) As pás de um ventilador giram a 120 rpm. Um ponto P de uma das pás dista 50 cm do eixo do ventilador. Pode-se afirmar que a distância percorrida pelo ponto P em 1 h é, em m/s, de:

- a) 3 600π d) 7 200π
b) 1 800π e) 9 000π
c) 10 800π

■ 110 (FEI-SP) Um avião voa com velocidade constante de 720 km/h. Ao realizar uma curva de raio 4 km sua aceleração será:

- a) nula d) 10 m/s^2
b) 5 m/s^2 c) 50 m/s^2
c) $7,2 \text{ m/s}^2$



■ 111 (UFAL) A polia A tem raio de 10 cm e está ligada por uma corrente à polia B de raio 25 cm. Não ocorre deslizamento enquanto elas giram e a freqüência da polia A é de 5,0 Hz. Nestas condições, a freqüência de rotação da polia B é:

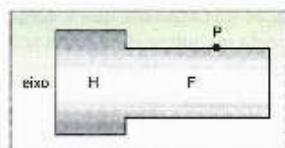
- a) 1,0 Hz c) 2,5 Hz e) 12,5 Hz
 b) 2,0 Hz d) 5,0 Hz

■ 112 (UFBA) Uma roda de raio R_1 apresenta velocidade linear v_1 nos pontos situados na superfície e velocidade linear v_2 nos pontos que distam 5 cm da superfície. Sendo v_1 2,5 vezes maior do que v_2 , R_1 é aproximadamente igual a:

- a) 6,3 cm c) 8,3 cm e) 13,3 cm
b) 7,5 cm d) 12,5 cm

■ 113 (FAFEOD) Uma broca para perfuração, na forma de um cilindro, é mostrada no desenho a seguir. A parte mais larga (H) tem 6 mm de diâmetro e a mais fina (F) tem 4 mm de diâmetro.

A broca gira em torno do eixo, com a cabeça (H) presa a uma máquina de furar. Se a freqüência de rotação da máquina é de 1 000 Hz, é correto afirmar que a velocidade tangencial do ponto P é igual a:



- a) $9\pi \text{ m/s}$
 b) $8\pi \text{ m/s}$
 c) $6\pi \text{ m/s}$
 d) $4\pi \text{ m/s}$
 e) $2\pi \text{ m/s}$

Os testes de 114 a 244 referem-se à unidade IV deste volume.

■ 114 (UFPI) Duas forças de intensidades 20 N e 50 N têm resultantes de intensidades máxima e mínima respectivamente iguais a:

- a) 70 N e 30 N
 b) 150 N e 20 N
 c) 200 N e 70 N
 d) 210 N e 30 N

■ 115 (PUC-BA) Duas forças de módulo igual a 1,0 N atuam sobre um corpo, formando entre si um ângulo de 90° . Qual é o módulo da resultante dessas forças?

- a) 1,0 N
 b) $\sqrt{3}$ N
 c) $\sqrt{2}$ N
 d) 2 N
 e) 4 N

■ 116 (UFRGS) A inércia de uma partícula de massa m se caracteriza:

- pela incapacidade de essa partícula, por si mesma, modificar seu estado de repouso ou de movimento retílineo uniforme.
 - pela incapacidade de essa partícula permanecer em repouso quando uma força resultante é exercida sobre ela.
 - pela capacidade de essa partícula exercer forças sobre outras partículas.
- Das afirmações acima, quais estão corretas?

- a) apenas II
 b) apenas III
 c) apenas I e II
 d) apenas I e III
 e) I, II e III

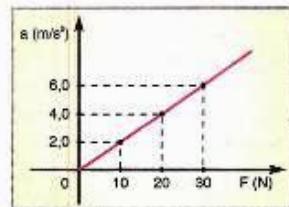
■ 117 (FURRN) Numa história em quadrinhos, os personagens fizeram uma viagem de avião e, como não havia assentos, permaneceram de pé e soltos durante toda a viagem. Considerando-se as condições normais, os personagens, nos momentos da decolagem e da aterrissagem, foram deslocados:

- a) no sentido da cauda do avião, na decolagem e no da cabine de comando, na aterrissagem.
 b) no sentido da cabine, na decolagem, e no da cauda do avião, na aterrissagem.
 c) sempre no sentido da cabine do avião.
 d) sempre no sentido contrário ao da cabine de comando.
 e) desceram numa vertical nos dois momentos.

■ 118 (Cesgrario-RJ) Mede-se a aceleração de um carrinho em função do módulo da força resultante que lhe é aplicada. Obtém-se o gráfico a seguir:

A massa do carrinho é:

- a) 5,0 kg
 b) 1,8 kg
 c) 0,50 kg
 d) 0,20 kg
 e) $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$



■ 119 (UFRGS) Um corpo de massa igual a 5 kg, inicialmente em repouso, sofre a ação de uma força resultante constante de 30 N. Qual a velocidade do corpo depois de 5 s?

- a) 5 m/s
 b) 6 m/s
 c) 25 m/s
 d) 30 m/s
 e) 150 m/s

■ 120 (Fuvest-SP) Um corpo de massa igual a 3,0 kg está sob a ação de uma força horizontal constante. Ele se desloca num plano horizontal, sem atrito e a sua velocidade aumenta de 2,0 m/s em 4,0 s. A intensidade da força vale:

- a) $\frac{3}{8}$ N
 b) 1,5 N
 c) 3,0 N
 d) 6,0 N
 e) 24 N

■ 121 (UFGO) Um automóvel tem massa de 1 512 kg e velocidade inicial de 60 km/h. Quando os freios são acionados para produzir uma desaceleração constante, o carro pára em 1,2 min. A força aplicada ao carro é igual, em newtons, a:

- a) 350
 b) 1 260
 c) 21 000
 d) 25 200
 e) 75 600

■ 122 (UFMS) Para uma partícula em movimento retílineo uniformemente acelerado, é correto afirmar que:

- sua trajetória é uma circunferência
- sua trajetória é uma linha reta
- sua aceleração é nula
- sua aceleração é constante e não-nula
- a força resultante que atua na partícula é constante e não-nula
- não atua nenhuma força na partícula

Resposta: 26

■ 123 (UFRGS) Um automóvel pode desenvolver uma aceleração máxima de $2,7 \text{ m/s}^2$. Qual seria sua aceleração máxima se ele estivesse rebocando outro carro cuja massa fosse o dobro da sua?

- a) $2,5 \text{ m/s}^2$
 b) $1,8 \text{ m/s}^2$
 c) $1,5 \text{ m/s}^2$
 d) $0,9 \text{ m/s}^2$
 e) $0,5 \text{ m/s}^2$

- 124 (UFAL)** Na superfície da Terra, onde se pode considerar $g = 10,0 \text{ m/s}^2$, uma pedra pesa 150 N. Se essa pedra fosse transportada para a superfície de Júpiter, onde a aceleração gravitacional é de $26,0 \text{ m/s}^2$, o peso da pedra seria, em newtons, dc:

- 125 (UFAL)** Um corpo de peso 40 N é suspenso verticalmente por um fio que pode suportar no máximo tração de 100 N. Adotando-se $g = 10 \text{ m/s}^2$, a máxima aceleração com que este corpo pode ser puxado para cima pelo fio é de:

- a) 60 m/s^2 c) 15 m/s^2 e) $7,5 \text{ m/s}^2$
 b) 30 m/s^2 d) 10 m/s^2

- 126 (FGV-SP)** Um dinamômetro é construído utilizando-se uma mola cuja constante elástica é $k = 80 \text{ N/m}$. Pode se afirmar que um deslocamento de 1 cm, na escala desse dinamômetro, corresponde, em newtons, a uma força de:

- a) 0,8 c) 1,0 e) 10
 b) 80 d) 800

- 127 (Unip-SP)** Uma pessoa de massa 80 kg está no pólo Norte da Terra onde a aceleração da gravidade é suposta com módulo igual a 10 m/s^2 . A força gravitacional que a pessoa aplica sobre o planeta Terra:

- a) é praticamente nula
 - b) tem intensidade igual a 80 kg
 - c) tem intensidade igual a 80 N
 - d) tem intensidade igual a 800 N e está aplicada no solo onde a pessoa pisa
 - e) tem intensidade igual a 800 N e está aplicada no centro de gravidade da Terra

- 128 (UFSC) Com relação às leis de Newton, é correto afirmar:

- 01) A velocidade adquirida por um corpo é diretamente proporcional à força que nele é aplicada. Esse é o conteúdo da 1^a lei de Newton.
 - 02) A velocidade adquirida por um corpo é diretamente proporcional à força que nele é aplicada. Esse é o conteúdo da 2^a lei de Newton.
 - 04) Um avião a jato ou um foguete tem o seu movimento explicado pela 3^a lei de Newton, ou lei da ação e reação.
 - 08) A 1^a lei de Newton, também conhecida como lei da inércia, só pode ser utilizada para os corpos que estão parados em relação a um sistema de referência inercial, porque inércia e repouso são sinônimos na Mecânica.
 - 16) Se, num dado instante, um corpo se desloca em linha reta com velocidade constante, então, naquele instante, a resultante de todas as forças que atuam no corpo também é uma constante não-nula em módulo.

- 32) A lei da ação e reação diz que a força de reação é igual e oposta ao que se denomina ação, desde que ambas as forças estejam sempre aplicadas no mesmo corpo.

- 64) Dois corpos que possuem as mesmas massas inerciais, animados de movimentos retílineos, estarão sujeitos a acelerações iguais, em módulo, quando a resultante das forças que sobre eles atuarem possuírem as mesmas intensidades.

Resposta: 68

- 129 (FAFI-MG) As afirmativas abaixo referem-se às leis de Newton.

- I) As forças sempre existem aos pares: quando um corpo A exerce uma força F_{AB} sobre um corpo B , este exerce sobre A uma força igual e oposta.

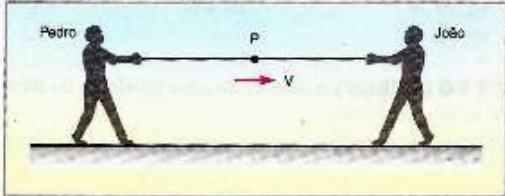
II) Se nenhuma força resultante atua sobre um corpo, sua aceleração é nula.

III) Quando várias forças atuam sobre um corpo, cada uma produz independentemente sua própria aceleração. A aceleração resultante é a soma vetorial das várias acelerações independentes.

Está(ão) correta(s):

- a) apenas I c) apenas II e) todas as três
b) apenas I e II d) apenas II e III

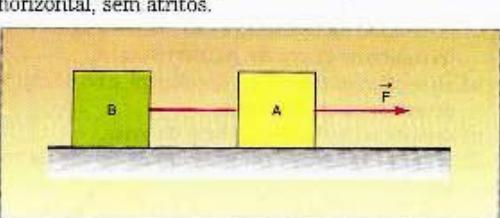
■ 130 (Cefet-RJ)



Pedro e João estão brincando de cabo-de-guerra. João está levando a melhor, arrastando Pedro. Verifica-se que o ponto P marcado na corda move-se com velocidade constante de 1 m/s, conforme o esquema da figura acima. Portanto, a força exercida na corda por:

- a) Pedro tem módulo igual ao de João
 - b) Pedro é menor que o peso de João
 - c) João é igual ao peso de Pedro
 - d) João é maior que a de Pedro
 - e) João corresponde ao peso de Pedro somado à força por este exercida na corda

131 (UCS-RS) Os blocos *A* e *B* (veja a figura) de massas $m_A = 4 \text{ kg}$ e $m_B = 2 \text{ kg}$ estão amarrados entre si e puxados por uma força $F = 12 \text{ N}$, sobre um plano



Analice as afirmações.

- I) A aceleração dos blocos é constante e vale 2 m/s^2 .
- II) O bloco B tem aceleração maior do que o bloco A .
- III) A força tensora no fio entre os blocos vale 4 N .
- IV) A força resultante sobre o bloco A vale 8 N .

Quais estão corretas?

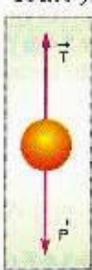
- a) apenas II e IV
- b) apenas I, II e III
- c) apenas I, III e IV
- d) apenas II, III e IV

■132 (FAFI-MG) Um peso, $P = 100 \text{ N}$, está preso a um fio. Considere as seguintes afirmativas ($g = 10 \text{ m/s}^2$):

- I) Se $T = 150 \text{ N}$, o fio com o peso se eleva com uma aceleração de 5 m/s^2 .
- II) Quando o fio corta o peso desce com uma aceleração de 5 m/s^2 , a tensão no fio vale 50 N .
- III) Se $T = 100 \text{ N}$, o peso poderá subir com velocidade constante.

Assinale:

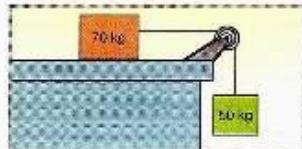
- a) se todas as afirmativas são falsas
- b) se todas as afirmativas estão corretas
- c) se apenas as afirmativas I e II estão corretas
- d) se apenas as afirmativas I e III estão corretas
- e) se apenas as afirmativas II e III estão corretas



■133 (Med. Itajubá-MG) A figura mostra um corpo de massa igual a 70 kg , sobre uma mesa horizontal, ligado por uma corda a um segundo corpo de massa igual a 50 kg . Sabendo que a massa da corda é desprezível, bem como todas as forças de atrito, indique o valor da aceleração do corpo de massa igual a 50 kg .

Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- a) $9,8 \text{ m/s}^2$
- b) $10,0 \text{ m/s}^2$
- c) $4,1 \text{ m/s}^2$
- d) $0,0 \text{ m/s}^2$
- e) $6,9 \text{ m/s}^2$



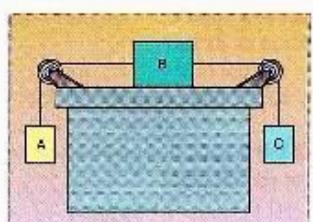
■134 (UEL-PR)

A figura mostra um sistema em que se considera desprezível o atrito entre o bloco B e a superfície de apoio, bem como as massas das polias e dos fios.

Dados: $m_A = 2,0 \text{ kg}$; $m_B = 5,0 \text{ kg}$
 $m_C = 3,0 \text{ kg}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$

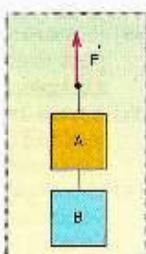
A aceleração adquirida pelos corpos, quando o sistema é abandonado, vale, no Sistema Internacional de unidades:

- a) 1,0
- b) 2,0
- c) 3,0
- d) 5,0
- e) 10



■135 (UFRN) Uma corrente consistida de sete anéis, cada um com massa de 200 g , está sendo puxada verticalmente para cima, com aceleração constante de $2,0 \text{ m/s}^2$. A força para cima no anel do meio é:

- a) $16,8 \text{ N}$
- c) $8,4 \text{ N}$
- e) $1,6 \text{ N}$
- b) $9,6 \text{ N}$
- d) $2,4 \text{ N}$

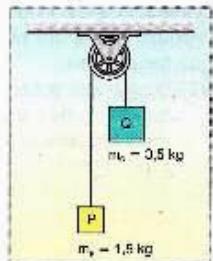


■136 (UEL-PR) Os corpos A e B são puxados para cima, com aceleração de $2,0 \text{ m/s}^2$, por meio da força F , conforme o esquema da figura. Sendo $m_A = 4,0 \text{ kg}$, $m_B = 3,0 \text{ kg}$ e $g = 10 \text{ m/s}^2$, a força de tração na corda que une os corpos A e B tem módulo de:

- a) 14 N
- c) 32 N
- e) 44 N
- b) 30 N
- d) 36 N

■137 (Pucamp-SP) Dois corpos estão presos às extremidades de um barbante que passa por uma polia, como mostra o esquema da figura. Desprezando atritos, massa do barbante e massa da polia, e considerando a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 , o módulo da aceleração do corpo P é igual a:

- a) $1,3 \text{ m/s}^2$
- d) 10 m/s^2
- b) $4,0 \text{ m/s}^2$
- e) 13 m/s^2
- c) $5,0 \text{ m/s}^2$



■138 (Mack-SP) Um elevador cujo peso é de $1\ 200 \text{ N}$ desce com uma aceleração constante de 1 m/s^2 . Admitindo $g = 10 \text{ m/s}^2$, podemos afirmar que a tração no cabo é de:

- a) 980 N
- b) 890 N
- c) $1\ 100 \text{ N}$
- d) $1\ 080 \text{ N}$
- e) Não sei.

■139 (UFV-MG) Uma pessoa está sobre uma balança, que se encontra presa ao piso de um elevador. O elevador está subindo, ao mesmo tempo que sua velocidade está sendo reduzida. Nestas condições, a balança indicará um valor:

- a) maior que o peso real da pessoa
- b) igual ao peso real da pessoa
- c) menor que o peso real da pessoa
- d) que não depende da aceleração do elevador
- e) que depende da velocidade do elevador

■140 (UEL-PR) No piso de um elevador é colocada uma balança de banheiro, graduada em newtons. Um corpo é colocado sobre a balança e, quando o elevador sobe acelerado com aceleração constante de $2,3 \text{ m/s}^2$, a mesma indica 720 N . Sendo a aceleração local da gravidade igual a $9,8 \text{ m/s}^2$ a massa do corpo, em quilogramas, vale:

- a) 72
- b) 68
- c) 60
- d) 58
- e) 54

■ 141 (UFSC) No que diz respeito ao atrito, é correto afirmar:

- 01) É uma coisa extremamente inútil em qualquer circunstância prática.
- 02) É um dos fatores que mais contribuem para o desgaste de diversos tipos de equipamentos e utensílios, como engrenagens mecânicas, solas de sapatos, pneus etc.
- 04) Se o atrito não existisse teríamos muita dificuldade para executar determinadas tarefas como, por exemplo, caminhar.
- 08) A força de atrito a que um dado corpo se acha submetido é proporcional à força normal que a superfície exerce sobre o corpo.
- 16) O coeficiente de atrito cinético é proporcional à velocidade adquirida por um corpo, e a sua unidade no SI é $N \cdot m/s$.
- 32) O coeficiente de atrito cinético é sempre numericamente superior ao coeficiente de atrito estático.

Resposta: 14

■ 142 (UFCE) Um cubo de peso P encontra-se em repouso sobre um piso plano e horizontal. Assinale o que for correto.

- 01) O piso age sobre o cubo com uma força normal à superfície de contato entre ele e o cubo, no sentido de baixo para cima e com uma intensidade igual a duas vezes P .
- 02) A Terra atrai o cubo puxando-o para baixo com uma força igual a P .
- 04) O piso age sobre o cubo com uma força normal à superfície de contato entre ele e o cubo, no sentido de cima para baixo e com uma intensidade igual a P .
- 08) Se o cubo estivesse em movimento, a força de atrito entre ele e o piso seria calculada pelo produto entre o módulo da normal e o coeficiente de atrito cinético.

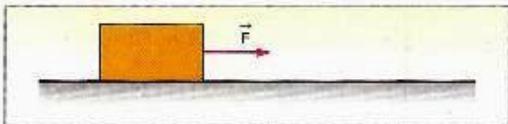
Resposta: 10

■ 143 (Unifor-CE) Uma pessoa está tentando empurrar um carro sobre um gramado horizontal molhado. A superfície é muito lisa e a pessoa não consegue mover o carro pois os pés deslizam para trás. Uma maneira de aumentar o atrito da pessoa com o chão seria empurrar o carro com uma força:

- a) oblíqua em relação ao péra-choque, para baixo.
- x b) oblíqua em relação ao péra-choque, para cima.
- c) horizontal, na altura da péra-choque.
- d) horizontal, na altura do porta-malas.
- e) horizontal, na altura do teto.

■ 144 (FAFI-BH) Um bloco que pesa 10 N repousa em uma superfície horizontal. O coeficiente de atrito estático entre o bloco e a superfície é de 0,40, sendo o de atrito cinético 0,20.

Uma força horizontal de 5,0 N é então aplicada sobre ele. Com relação a essa situação, pode-se afirmar:



- x a) A força de atrito cinético sobre o bloco vale 2,0 N.
b) A força de atrito estático sobre o bloco vale 6,0 N.
c) O bloco se deslocará com velocidade constante.
d) O bloco permanecerá em repouso.

■ 145 (FURRN) Um bloco de madeira de massa 400 g é arrastado sobre uma superfície horizontal, a partir do repouso, por uma força constante de intensidade 2,0 N, também horizontal. Sabendo que a aceleração do corpo é $1,0 \text{ m/s}^2$, a força de atrito entre o corpo e a superfície horizontal, em newtons, vale:

- a) zero b) 0,40 c) 0,80 x d) 1,6 e) 2,4

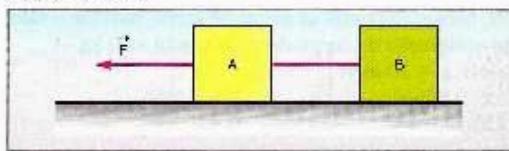
■ 146 (UEL-PR) Um bloco de massa 5,0 kg é lançado horizontalmente, com uma velocidade inicial de 72 km/h, sobre uma superfície horizontal, parando após percorrer 80 m. Desprezando-se a resistência do ar e considerando a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 , o coeficiente de atrito entre o bloco e a superfície vale:

- a) 0,10 x b) 0,25 c) 0,40 d) 0,50 e) 0,75

■ 147 (FGV-SP) Um bloco de massa m é puxado por uma força constante horizontal de 20 N sobre uma superfície plana horizontal, adquirindo uma aceleração constante de 3 m/s^2 . Sabendo que existe uma força de atrito entre a superfície e o bloco que vale 8 N, calcule m .

- a) 5 kg x b) 4 kg c) 12 kg d) 16 kg e) 17 kg

(Omeç-SP) O desenho a seguir refere-se às questões 148, 149 e 150.



São dados dois corpos, A e B , com massas 15 kg e 25 kg, respectivamente, apoiados num plano horizontal. Um fio de massa desprezível (ideal) liga os dois corpos e uma força horizontal F , constante, de intensidade 40 N, puxa o sistema para a esquerda.

Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

■ 148 Qual é a aceleração do sistema se não houver força de atrito?

- a) $10,0 \text{ m/s}^2$ c) $1,5 \text{ m/s}^2$ e) $0,0 \text{ m/s}^2$
b) $2,5 \text{ m/s}^2$ x d) $1,0 \text{ m/s}^2$

■ 149 Qual é o coeficiente de atrito se a aceleração for de $0,9 \text{ m/s}^2$?

- a) 0,1 d) 100,0
x b) 0,01 e) Este movimento não pode existir.
c) 10,0

■ 150 Qual é o módulo da tração nos dois casos descritos, com atrito e sem atrito, respectivamente?

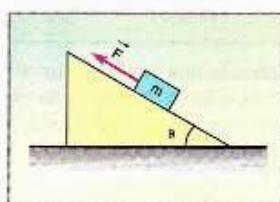
- a) 10 N e 20 N c) 25 N e 20 N x e) 25 N e 25 N
b) 15 N e 20 N d) 20 N e 25 N

■ 151 (Omeec-SP) Um corpo de massa 4 kg é abandonado em um plano inclinado com inclinação de 30° . Não havendo atrito entre o corpo e o plano e considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$ e a resistência do ar desprezível, determine a aceleração a que o corpo fica submetido.

- a) $0,0 \text{ m/s}^2$ c) $1,0 \text{ m/s}^2$ e) $2,5 \text{ m/s}^2$
 X b) 5 m/s^2 d) $1,5 \text{ m/s}^2$

■ 152 (Unimep-SP) Um bloco de massa 5 kg é arrastado ao longo de um plano inclinado sem atrito, conforme a figura abaixo. Para que o bloco adquira uma aceleração de 3 m/s^2 para cima, a intensidade de \vec{F} deve ser:

- a) igual ao peso do bloco
 b) menor que o peso do bloco
 c) igual à reação do bloco
 X d) igual a 55 N
 e) n.d.a.



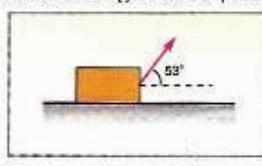
Dados: $\sin \theta = 0,8$
 $\cos \theta = 0,6$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$

■ 153 (Puccamp-SP) Um corpo de massa 4,0 kg está sobre uma superfície horizontal com a qual tem coeficiente de atrito dinâmico 0,25. Aplica-se nele uma força \vec{F} constante, que forma com a horizontal um ângulo de 53° , conforme a figura.

Dados: $\sin 53^\circ = 0,80$
 $\cos 53^\circ = 0,60$

Se o módulo de \vec{F} é 20 N e a aceleração local da gravidade é 10 m/s^2 , pode-se concluir que a aceleração do movimento do corpo é, em metros por segundo ao quadrado,

- a) 2,0 X b) 1,5 c) 0,75 d) 0,50 e) 0,25

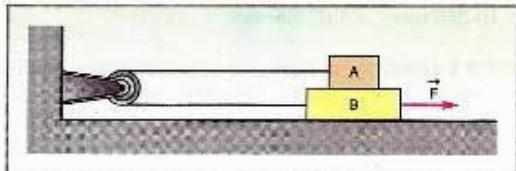


■ 154 (Unifor-CE) Em determinado instante, uma bola de 200 g cai verticalmente com aceleração de $4,0 \text{ m/s}^2$. Nesse instante, o módulo da força de resistência, exercida pelo ar sobre essa bola, é, em newtons, igual a:

- a) 0,20 b) 0,40 X c) 1,2 d) 1,5 e) 2,0

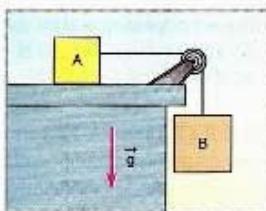
Dado: $g = 10 \text{ m/s}^2$

■ 155 (UFU-MG) O bloco A tem massa 2 kg e o B, 4 kg. O coeficiente de atrito estático entre todas as superfícies de contato é 0,25. Se $g = 10 \text{ m/s}^2$, qual a força \vec{F} aplicada ao bloco B capaz de colocá-lo na iminência de movimento?



- a) 5 N c) 15 N
 b) 10 N X d) 20 N e) 25 N

■ 156 (PUC-PR) Dois corpos A e B ($m_A = 3 \text{ kg}$ e $m_B = 6 \text{ kg}$) estão ligados por um fio ideal que passa por uma polia sem atrito, conforme a figura. Entre o corpo A e o apoio há atrito, cujo coeficiente é 0,5.



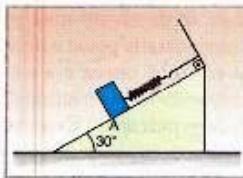
Considerando-se $g = 10 \text{ m/s}^2$, a aceleração dos corpos e a força de tração no fio valem:

- X a) 5 m/s^2 e 30 N d) 2 m/s^2 e 100 N
 b) 3 m/s^2 e 30 N e) 6 m/s^2 e 60 N
 c) 8 m/s^2 e 80 N

■ 157 (FCC-BA) Um corpo de massa igual a 5,0 kg, abandonado sobre um plano inclinado rugoso, desliza com aceleração igual a $4,0 \text{ m/s}^2$. O componente da força peso do corpo na direção do plano inclinado vale 25,0 N. A força de atrito entre o corpo e o plano inclinado, em newtons, deve ser igual a:

- X a) 5,0 b) 10 c) 15 d) 20 e) 25

■ 158 (UFRGS) Na posição A, o corpo de 10 kg, ligado à mola ideal M, de constante elástica 1 000 N/m e não-distendida, encontra-se preso. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$ e despreze os atritos. Abandonando-se o corpo, a deformação da mola quando o sistema entra em equilíbrio é:



- a) 1 cm b) 2 cm X c) 5 cm d) 10 cm e) 20 cm

■ 159 (UFOP-MG) Para uma partícula em MCU, é incorreto afirmar que:

- X a) Sua aceleração é zero.
 b) O módulo da força que atua na partícula é proporcional ao quadrado da sua velocidade.
 c) A força que atua na partícula está dirigida para o centro da circunferência.
 d) A aceleração em cada ponto é perpendicular à velocidade em cada ponto.
 e) A velocidade em cada ponto é perpendicular ao raio da circunferência em cada ponto.

■ 160 (FURRN) Um carrinho de brinquedo de massa 400 g executa, numa superfície horizontal, um movimento circular uniforme de raio 0,50 m e velocidade de 2,0 m/s. A força centrípeta que age sobre esse carrinho é, em newtons, igual a:

- a) 0,40 b) 0,80 c) 1,6 X d) 3,2 e) 4,0

161 (UEPG-PR) Um corpo de massa 2 kg em movimento circular uniforme, e de raio 3 m, leva π segundos para descrever uma volta completa na circunferência. A força centrípeta que atua no corpo vale:

- a) 12 N c) 10 N e) n.d.a.
 X b) 24 N d) 8 N

162 (FAMECA-SP) Um corpo de massa 2 kg gira em movimento circular uniforme num plano horizontal preso a um fio de comprimento 1 m. A velocidade angular do corpo é 5 rad/s e o raio da trajetória é 0,5 m. A tração no fio mede:

- a) 50 N X b) 25 N c) 10 N d) 100 N e) 20 N

163 (Mack-SP) Um bloco de 0,2 kg está sobre um disco horizontal em repouso, a 0,1 m de distância do centro. O disco começa a girar, aumentando vagarosamente a velocidade angular. Acima de uma velocidade angular crítica de 10 rad/s, o bloco começa a deslizar. Qual a intensidade máxima da força de atrito que atua sobre o bloco?

- a) 1 N X b) 2 N c) 3 N d) 4 N e) 5 N

164 (UFMS) Um automóvel de massa 10^4 kg percorre, com velocidade escalar de 20 m/s, um trecho circular de raio 80 m, numa estrada plana horizontal. O número coeficiente de atrito entre os pneus e a pista, para que não haja derrapagem, deve ser:

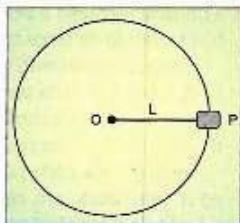
- a) 1,0 b) 0,8 X c) 0,5 d) 0,2 e) 0,1

165 (UFPA) Considere que um automóvel de 1 000 kg de massa vai descrever uma curva cujo raio é $R = 250$ m, em uma estrada plana e horizontal. O coeficiente de atrito entre os pneus e a estrada vale 0,50. Qual a máxima velocidade que o automóvel pode alcançar nesta curva, sem derrapar? Expressa-a em metros por segundo.

- a) 30 X b) 35 c) 60 d) 70 e) 105

166 (Cesgranrio-RJ) Na figura, L é uma linha de comprimento 0,5 m, fixa em O , e P é uma pedra de 5 g em movimento circular. A tensão máxima suportada pela linha é 25 N. A velocidade máxima (em relação ao ponto O) da pedra que a linha suporta é:

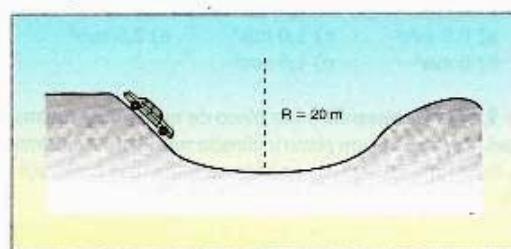
- a) 10 m/s
 b) 30 m/s
 X c) 50 m/s
 d) 20 m/s
 e) 40 m/s



167 (Unifor-CE) Um corpo de massa igual a 0,20 kg, preso por um fio de 0,40 m de comprimento, gira sobre uma superfície horizontal perfeitamente lisa, com velocidade de 0,8 m/s. Nestas condições, a tração no fio, em newtons, vale:

- a) 0,16 X b) 0,32 c) 0,64 d) 0,80 e) 1,28

168 (UEL-PR) Em uma estrada, um automóvel de 800 kg, com velocidade constante de 72 km/h, se aproxima de um fundo de vale, conforme esquema abaixo. Dado: $g = 10 \text{ m/s}^2$

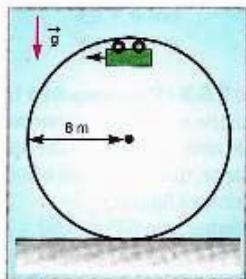


Sabendo que o raio de curvatura nesse fundo de vale é 20 m, a força de reação da estrada sobre o carro é, em newtons, aproximadamente:

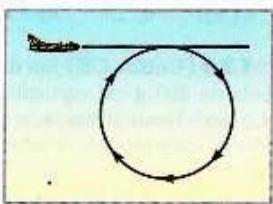
- a) $2,4 \cdot 10^5$ d) $8,0 \cdot 10^4$
 X b) $2,4 \cdot 10^4$ e) $1,6 \cdot 10^5$
 c) $1,6 \cdot 10^4$

169 (Fuvest-SP) A figura mostra, num plano vertical, parte dos trilhos do percurso circular de uma montanha-russa de um parque de diversões. A velocidade mínima que o carrinho deve ter, ao passar pelo ponto mais alto da trajetória, para não desgrudar dos trilhos vale, em metros por segundo:

- a) $\sqrt{20}$ X c) $\sqrt{80}$ e) $\sqrt{320}$
 b) $\sqrt{40}$ d) $\sqrt{160}$



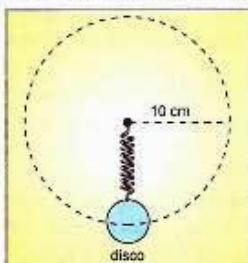
170 (Cefet-RJ) No filme *Top-Gun*, o piloto de um dos aviões comenta com outro que seu avião pode suportar manobras de combate em que a aceleração centrípeta atinja, no máximo, dez vezes o valor da aceleração da gravidade terrestre. Numa das manobras, ele faz o loop da figura com a aceleração máxima que seu avião pode suportar. Qual a maior velocidade que o avião pode atingir no loop, sabendo-se que o raio é de 2,5 km e considerando-se $g = 10 \text{ m/s}^2$?



- a) 100 m/s c) 450 m/s e) 900 m/s
 b) 250 m/s X d) 500 m/s

171 (UFGO) Na figura, um disco de massa igual a 3,0 kg encontra-se preso a uma mola de constante elástica $3,0 \cdot 10^4 \text{ N/m}$, podendo mover-se em torno do ponto O num plano horizontal sem atrito. Para que o disco possa executar um MCU com velocidade escalar de 5,0 m/s,

numa trajetória de raio 10 cm, a deformação apresentada pela mola deverá ser, em centímetros, igual a:



- a) 1,1 x b) 2,5 c) 3,0 d) 5,0 e) 10

172 (Mack-SP) De acordo com uma das leis de Kepler, cada planeta completa (varre) áreas iguais em tempos iguais em torno do Sol.

Como as órbitas são elípticas e o Sol ocupa um dos focos, conclui-se que:

- Quando o planeta está mais próximo do Sol, sua velocidade aumenta.
 - Quando o planeta está mais distante do Sol, sua velocidade aumenta.
 - A velocidade do planeta em sua órbita elíptica independe da sua posição relativa ao Sol.
- Responda de acordo com o código a seguir:
- x a) Somente a proposição I é correta.
b) Somente a proposição II é correta.
c) Somente as proposições II e III são corretas.
d) Todas as proposições são corretas.
e) Nenhuma das respostas anteriores é correta.



173 (UFSC) Sobre as leis de Kepler, assinale a(s) proposição(ões) verdadeira(s) para o sistema solar.

- O valor da velocidade de revolução da Terra, em torno do Sol, quando sua trajetória está mais próxima do Sol, é maior do que quando está mais afastada do mesmo.
- Os planetas mais afastados do Sol têm um período de revolução, em torno do mesmo, maior que os mais próximos.
- Os planetas de maior massa levam mais tempo para dar uma volta em torno do Sol, devido à sua inércia.
- O Sol está situado num dos focos da órbita elíptica de um dado planeta.
- Quanto maior for o período de rotação de um dado planeta, maior será o seu período de revolução em torno do Sol.
- No caso especial da Terra, a órbita é exatamente uma circunferência.

Resposta: 11

174 (Cesgranrio-RJ) O raio médio da órbita de Marte em torno do Sol é aproximadamente quatro vezes maior do que o raio médio da órbita de Mercúrio

em torno do Sol. Assim, a razão entre os períodos de revolução, T_1 e T_2 , de Marte e de Mercúrio, respectivamente, vale, de forma aproximada:

- a) $\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{4}$ c) $\frac{T_1}{T_2} = 2$ x e) $\frac{T_1}{T_2} = 8$
b) $\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{2}$ d) $\frac{T_1}{T_2} = 4$

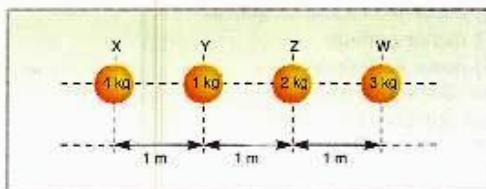
175 (Unilube-MG) A respeito do sistema solar, é correto afirmar que:

- x a) A linha imaginária que une os centros do Sol e de um planeta varre uma área proporcional ao tempo de varredura.
b) Os planetas descrevem órbitas circulares ao redor do Sol.
c) O cubo do período de um planeta é proporcional ao quadrado de sua distância ao Sol.
d) A linha imaginária que une os centros do Sol e de um planeta varre uma área inversamente proporcional ao tempo de varredura.
e) O quadrado do período de um planeta é inversamente proporcional ao cubo de sua distância ao Sol.

176 (PUC-SP) A intensidade da força gravitacional com que a Terra atrai a Lua é igual a F . Se fossem duplicadas a massa da Terra e a da Lua e se a distância que as separa fosse reduzida à metade, a nova força seria:

- x a) $16 F$ b) $8 F$ c) $4 F$ d) $2 F$ e) F

177 (UFAL) Quatro esferas fixas, de mesmo diâmetro (X , Y , Z e W), estão dispostas como mostra a figura a seguir. Suas massas são, respectivamente, $m_X = 4 \text{ kg}$, $m_Y = 1 \text{ kg}$, $m_Z = 2 \text{ kg}$ e $m_W = 3 \text{ kg}$. Em que par de esferas é maior o módulo da força de atração gravitacional entre as esferas do par?



- x a) ZW b) YZ c) XZ d) XW e) XY

178 (Unicruz-RS) Urano é o terceiro maior planeta do sistema solar, com cerca de 48 000 km de diâmetro (quatro vezes maior que o da Terra). Se Urano tivesse a mesma massa da Terra, o valor da sua aceleração da gravidade seria:

- a) 4 vezes maior que o da Terra.
b) 4 vezes menor que o da Terra.
c) 16 vezes maior que o da Terra.
x d) 16 vezes menor que o da Terra.
e) 64 vezes menor que o da Terra.

- 179 (FAFI-MG)** Analise as proposições abaixo:
- Os lançamentos espaciais se baseiam rigorosamente nas leis de Newton. O êxito desses lançamentos solidifica a crença nessas leis.
 - Um astronauta remetido para o espaço sideral, longe das galáxias, das estrelas ou outros corpos, ao analisar sua massa, verificará que ela é nula.
 - Em uma cápsula espacial em órbita na vizinhança da superfície da Terra os astronautas estão em queda livre, caindo para a Terra com a aceleração da gravidade.

Estão corretas:

- a) apenas I e II c) apenas II e III
 b) apenas I e III d) I, II e III

- 180 (UEL-PR)** A constante de gravitação universal é igual a $6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$. Se a massa de um planeta, considerado esférico, fosse $1,00 \cdot 10^{35} \text{ kg}$ e o seu raio, $1,00 \cdot 10^9 \text{ m}$, o campo gravitacional nas proximidades da superfície desse planeta seria igual a:
- a) $6,67 \cdot 10^{-7} \text{ N/kg}$ d) $6,67 \cdot 10 \text{ N/kg}$
 b) $6,67 \cdot 10^{-1} \text{ N/kg}$ e) $6,67 \cdot 10^7 \text{ N/kg}$
 c) $6,67 \text{ N/kg}$

- 181 (EFOA-MG)** O campo gravitacional de Júpiter, na superfície do planeta, é aproximadamente 3 vezes o da superfície da Terra. Uma pessoa de massa igual a 50 kg deve pesar, aproximadamente, em Júpiter:
- a) 50 N c) 500 N e) 50 kgf
 b) 1 500 N d) 167 N

- 182 (Unisinos-RS)** O Brasil está tentando fazer parte do seleto grupo de países que dominam a tecnologia de lançamento de foguetes e que colocam em órbita seus próprios satélites.

A respeito de dois satélites em órbitas estáveis em torno da Terra, em altitudes diferentes, afirma-se que o de menor altitude tem:

- maior velocidade tangencial
 - menor período
 - maior aceleração
- Das afirmações acima:
- a) Somente I é correta.
 b) Somente II é correta.
 c) Somente I e II são corretas.
 d) Somente I e III são corretas.
 e) I, II e III são corretas.

- 183 (Cefet-PR)** Atualmente existem vários tipos de satélites artificiais em órbita da Terra. Um desses tipos de satélites é denominado geostacionário, porque:
- a) sua órbita é circular.
 b) sua velocidade tangencial é igual à velocidade tangencial de um ponto na superfície da Terra.
 c) sua altitude é constante em relação à superfície da Terra.
 d) seu período é igual ao período de rotação da Terra.
 e) sua órbita passa próxima dos pólos.

- 184 (PUC-MG)** Não realiza trabalho:

- a) a força de resistência do ar
 b) a força peso de um corpo em queda livre
 c) a força centrípeta em um movimento circular uniforme
 d) a força de atrito durante a frenagem de um veículo
 e) a tensão no cabo que mantém um elevador em movimento uniforme

- 185 (Unitau-SP)** Um corpo de massa 2 kg e velocidade inicial de 2 m/s desloca-se em linha reta por 3 m adquirindo velocidade final de 3 m/s. O trabalho realizado e o valor aproximado da força resultante valem, respectivamente:

- a) zero J e zero N d) 5 J e 1,6 N
 b) 1 J e 1,6 N c) 1,6 J e 1,6 N
 c) 1,6 J e 5 N

- 186 (PUC-BA)** A força \vec{F} de módulo 30 N atua sobre um objeto formando ângulo constante de 60° com a direção do deslocamento d do objeto. Dados: $\sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$, $\cos 60^\circ = \frac{1}{2}$. Se $d = 10 \text{ m}$, o trabalho realizado pela força \vec{F} , em joules, é igual a:

- a) 300 x c) 150 e) 100
 b) $150\sqrt{3}$ d) 125

- 187 (Esal-MG)** Um guincho eleva verticalmente uma carga de massa 100 kg a uma altura de 20 m, com velocidade constante, num intervalo de tempo de 5,0 s. Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, a potência utilizada pelo guincho é da ordem de:

- a) 1 000 W c) 3 000 W e) 18 556 W
 b) 2 000 W d) 4 000 W

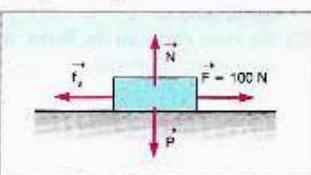
- 188 (Osec-SP)** Um bloco com 4,0 kg, inicialmente em repouso, é puxado por uma força constante e horizontal, ao longo de uma distância de 15,0 m, sobre uma superfície plana, lisa e horizontal, durante 2,0 s. O trabalho realizado, em joules, é de:

- a) 50 c) 250 x e) 450
 b) 150 d) 350

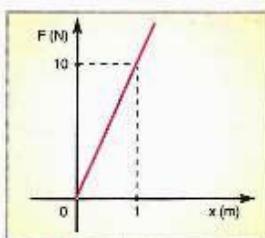
- 189 (UCS-RS)** Sobre um bloco atuam as forças indicadas na figura as quais o deslocam 2 m ao longo do plano horizontal. Analise as afirmações:

- O trabalho realizado pela força de atrito f_a é positivo.
 - O trabalho realizado pela força F vale 200 J.
 - O trabalho realizado pela força peso P é diferente de zero.
 - O trabalho realizado pela força normal N é nulo.
- Quais estão corretas?

- a) apenas I e II
 b) apenas I e III
 c) apenas II e III
 d) apenas II e IV
 e) apenas III e IV



- 190 (UFSE)** Uma força aplicada sobre uma partícula varia sua intensidade em função do deslocamento, conforme o gráfico da figura. O trabalho da força no deslocamento de 1 m é, em joules, de:



- a) 0 b) 1 c) 4 **d) 5** e) 10

- 191 (UEM-PR)** Uma pessoa sobe um lance de escadas, com velocidade constante, em 1,0 min. Se a mesma pessoa subisse o mesmo lance, também com velocidade constante, em 2,0 min, ela realizaria um trabalho:

- a) duas vezes maior que o primeiro
 b) duas vezes menor que o primeiro
 c) quatro vezes maior que o primeiro
 d) quatro vezes menor que o primeiro
 e) equivalente a um quarto do primeiro
f) igual ao primeiro

- 192 (UCMG)** Um motor é instalado no alto de um prédio para elevar pesos e deve executar as seguintes tarefas:

- I) elevar 100 kg a 20 m de altura em 10 s
 II) elevar 200 kg a 10 m de altura em 20 s
 III) elevar 300 kg a 15 m de altura em 30 s

A ordem crescente das potências que o motor deverá desenvolver para executar as tarefas anteriores é:

- a) I, II, III c) II, I, III **e) II, III, I**
 b) I, III, II d) III, I, II

- 193 (EFOA-MG)** Uma força de 10 N age sobre um corpo, fazendo com que ele realize um deslocamento de 5 m em 20 s. A potência desenvolvida, supondo que a força seja paralela ao deslocamento, é, em watts, de:

- x) a) 2,5** c) 20 e) 10
 b) 5 d) 50

- 194 (USJT-SP)** Um rio, em certo ponto, apresenta um desnível de 5,0 m, propiciando uma queda-d'água aproveitável para a instalação de uma mini-hidrelétrica. Sendo a vazão nessa queda de 10 t/s e considerando a massa de um litro de água igual a 1,0 kg e $g = 10 \text{ m/s}^2$, então a potência máxima que se pode obter nessa queda é:

- a) $1,0 \cdot 10^2 \text{ W}$ d) $5,0 \cdot 10^2 \text{ W}$
x) b) $5,0 \cdot 10^2 \text{ W}$ e) $1,0 \cdot 10^4 \text{ W}$
 c) $1,0 \cdot 10^6 \text{ W}$

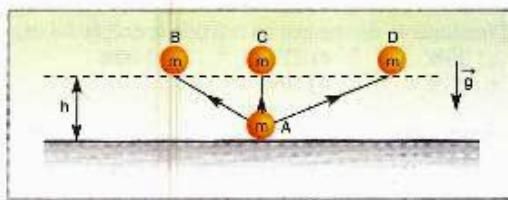
- 195 (UFPR)** Um motor de automóvel desenvolve potência média de 20 HP para manter o veículo à velocidade de 60 km/h. Qual a força média que se opõe ao movimento? (1 HP = 746 W)

- x) a) 895,2 N** d) 91,3 kgf
 b) 906,4 N e) 91,3 N
 c) 906,4 kgf

- 196 (UFSM-RS)** Suponha que um caminhão de massa igual a $1,0 \cdot 10^4 \text{ kg}$ suba, com velocidade constante de 9 km/h, um estrada com 30° de inclinação com a horizontal. Que potência seria necessária ao motor do caminhão? Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

- a) $9,0 \cdot 10^3 \text{ W}$ d) $4,0 \cdot 10^4 \text{ W}$
 b) $2,5 \cdot 10^3 \text{ W}$ e) $1,1 \cdot 10^4 \text{ W}$
x) c) $1,25 \cdot 10^4 \text{ W}$

- 197 (UFSM-RS)** Conforme a figura, um corpo de massa m é elevado contra o campo gravitacional g com velocidade constante, passando da posição A para as posições B ou C ou D .



Desprezando qualquer tipo de atrito, o trabalho realizado é:

- a) maior na trajetória AD
 b) menor na trajetória AD
 c) menor na trajetória AC
 d) igual somente nas trajetórias AB e AD
x) e) igual em todas as trajetórias

- 198 (Fatec-SP)** Considere as afirmações:

- I) O rendimento de uma máquina simples é a razão entre o trabalho útil e o trabalho do operador.
 II) Nas máquinas simples reais, o rendimento é maior que a unidade.
 III) O rendimento de uma máquina é dado por um número puro.

É(são) correta(s):

- a) I e II d) I, II e III
 b) II e III e) II
x) c) I e III

- 199 (Vunesp-SP)** Um motor de potência útil igual a 125 W, funcionando como elevador, eleva a 10 m de altura, com velocidade constante, um corpo de peso igual a 50 N, no tempo de:

- a) 0,4 s d) 5,0 s
 b) 2,5 s **x) e) 4,0 s**
 c) 12,5 s

- 200 (UFAL)** Uma queda-d'água de 60 m de altura tem vazão de $4 \text{ m}^3/\text{s}$. Considere 10 m/s^2 a aceleração local da gravidade e $1,0 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ a densidade da água. A potência máxima que a queda-d'água poderia fornecer é de:

- a) 2,4 W d) 2,4 GW
 b) 2,4 kW e) 2,4 TW
x) c) 2,4 MW

201 (Mack-SP) Uma máquina simples, em que existe atrito, realiza um trabalho total de 1 600 J para elevar um peso de 400 N a uma altura de 3 m. O rendimento da máquina é de:

- a) 50% c) 80% e) 85%
 b) 65% d) 75%

202 (Fameca-SP) Um elevador de massa M "subiu" de uma altura h levando 9 pessoas. A média aritmética das massas das 9 pessoas é m . Na referida operação foi consumido 0,1 kWh. Seja g a aceleração da gravidade local.

São dados:

$$M = 180 \text{ kg}; m = 60 \text{ kg}; h = 10 \text{ m}; g = 10 \text{ m/s}^2$$

O rendimento do sistema na referida operação foi de:

- a) 20% c) 15% e) 30%
 b) 25% d) 10%

203 (UFS) Qual é, em joules, a energia cinética de um corpo de massa igual a 1,0 kg que se movimenta com velocidade escalar de 2,0 m/s?

- a) 1,0 c) 3,0 e) 5,0
 b) 2,0 d) 4,0

204 (Unimep-SP) Quando dizemos que um móvel de massa 8 kg tem 900 J de energia cinética, podemos afirmar que:

- a) O móvel está em repouso.
 b) O móvel está com movimento retílineo.
 c) A trajetória descrita pelo móvel é uma parábola.
 d) O móvel está a 11,5 m acima do solo.
 e) A velocidade do móvel vale 15 m/s.

205 (F. M. Itajubá-MG) Um corpo de massa igual a 2,0 kg, inicialmente em repouso, é puxado sobre uma superfície horizontal sem atrito por uma força constante, também horizontal, de 4,0 N. Qual será sua energia cinética após percorrer 5,0 m?

- a) 0 J c) 10 J e) n.d.a.
 b) 20 J d) 40 J

206 (CEETEPS-SP) Um corpo de massa 4,0 kg, inicialmente parado, fica sujeito a uma força resultante constante de 8,0 N, sempre na mesma direção e no mesmo sentido.

Após 2,0 s o deslocamento do corpo e sua energia cinética, em unidades do Sistema Internacional, são respectivamente:

- a) 4,0 e 32 d) 2,0 e 4,0
 b) 4,0 e 16 e) 1,0 e 4,0
 c) 2,0 e 8,0

207 (UFRS) Um carrinho de 5 kg de massa move-se horizontalmente em linha reta, com velocidade de 6 m/s. O trabalho da resultante necessário para alterar a velocidade para 10 m/s deve ser, em joules:

- a) 40 c) 160 e) 560
 b) 90 d) 400

208 (UFES) Um objeto de massa igual a 2,0 kg, inicialmente em repouso, percorre uma distância igual a 8,0 m em uma superfície horizontal sem atrito, sob a ação de uma força constante, também horizontal, igual a 4,0 N.

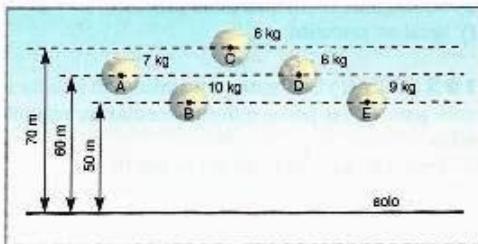
A variação da energia cinética do objeto é:

- a) 4,0 J c) 16,0 J e) 64,0 J
 b) 8,0 J d) 32,0 J

209 (Puccamp-SP) Em determinado intervalo de tempo, um elevador de 400 kg, em movimento ascendente, varia sua velocidade de 1,0 m/s para 2,0 m/s. O valor do trabalho da força resultante sobre o elevador, nesse intervalo, é, em joules, igual a:

- a) $2,0 \cdot 10^2$ c) $6,0 \cdot 10^2$ e) $1,6 \cdot 10^3$
 b) $4,0 \cdot 10^2$ d) $8,0 \cdot 10^2$

210 (UFAL) Na figura a seguir estão representadas cinco esferas e indicadas suas massas e suas alturas em relação ao solo.



Que esfera tem maior energia potencial?

- a) A c) C e) E
 b) B d) D

211 (UCBA) Uma pessoa ergue uma pedra do chão e coloca-a sobre a superfície de uma mesa. Para se calcular a energia potencial gravitacional da pedra em relação ao chão deve-se conhecer, além da altura da mesa, somente:

- a) a massa da pedra
 b) o peso da pedra
 c) o valor da aceleração da gravidade no local
 d) o tempo transcorrido para erguer a pedra
 e) a velocidade média com que a pedra foi erguida.

212 (FAFI-MG) Todas as afirmativas a respeito de energia estão corretas, exceto:

- a) É possível exercer uma força sobre um corpo e aumentar sua energia cinética.
 b) Quando a velocidade de um automóvel é duplicada, sua energia cinética se torna quatro vezes menor.
 c) A soma da energia potencial com a energia cinética é a energia mecânica total da partícula.
 d) Um corpo move-se sobre uma reta vertical. Dois observadores, num mesmo referencial, estudando o movimento, devem sempre concordar com o valor da energia potencial.
 e) Há uma função energia potencial associada a qualquer força.

213 (UFRN) Uma bola de massa 0,5 kg é solta de um prédio de 30 m de altura. Se a força de resistência do ar (suposta constante) consome 50 J de energia ao longo do percurso, a velocidade da bola, ao chegar ao solo, é de:

- a) 18 m/s c) 24 m/s e) 30 m/s
 X b) 20 m/s d) 27 m/s

214 (Cefet-PR) Uma bola de 200 g de massa é lançada verticalmente para cima, de modo a possuir uma energia cinética de 50 J no instante do lançamento. Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$ e desprezando a resistência do ar, a velocidade da bola ao atingir uma altura de 20 m é:

- a) 22 m/s c) 5 m/s e) 0 m/s
 X b) 10 m/s d) 3 m/s

215 (Unesp-SP) Conta-se que Newton teria descoberto a lei da gravitação ao lhe cair uma maçã na cabeça. Suponha que Newton tivesse 1,70 m de altura e se encontrasse em pé e que a maçã, de massa 0,20 kg, tivesse se soltado, a partir do repouso, de uma altura de 8,00 m do solo. Admitindo $g = 10 \text{ m/s}^2$ e desprezando a resistência do ar, pode-se afirmar que a energia cinética da maçã, ao atingir a cabeça de Newton, seria de:

- a) 0,60 J X c) 2,60 J e) 9,40 J
 b) 2,00 J d) 6,00 J

216 (ESAL-MG) A energia é um dos conceitos básicos da Física. O princípio da conservação da energia estabelece que:

- a) A energia cinética é a energia que depende da posição de um corpo, de um sistema de corpos, ou da posição relativa de suas partes.
 X b) A energia não pode ser criada ou destruída, mas apenas mudar de forma.
 c) A energia potencial que um corpo possui está associada ao seu estado de movimento.
 d) A energia mecânica é a diferença entre as energias cinética e potencial.
 e) A energia pode ser criada a partir de fontes energéticas e pode também ser destruída.

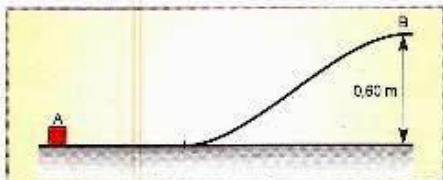
217 (FGV-SP) Uma pedra de 2 kg é lançada do solo, verticalmente para cima, com uma energia cinética de 500 J. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$. Se num determinado instante a sua velocidade for de 10 m/s, ela estará a uma altura do solo, em metros, de:

- a) 50 c) 30 e) 10
 b) 40 X d) 20

218 (Unifor-CE) Em determinado instante, um corpo de massa igual a 5,0 kg, com velocidade escalar de 20 m/s, passa, em queda livre, por um ponto a 30 m do solo. Nesse instante a energia mecânica desse corpo, em relação ao solo, é, em joules, igual a: (Dado: aceleração da gravidade = 10 m/s^2 .)

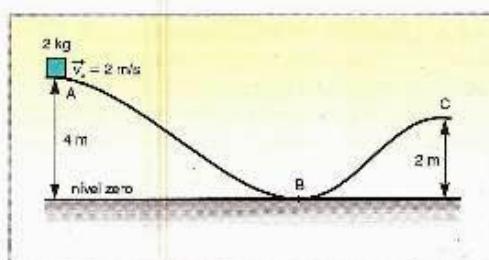
- a) $7,5 \cdot 10^4$ X d) $2,5 \cdot 10^4$
 b) $1,0 \cdot 10^3$ e) $3,0 \cdot 10^4$
 c) $1,5 \cdot 10^3$

219 (UFMS) Na rampa, suposta sem atrito, um corpo de massa 2,0 kg é arremessado horizontalmente, passando por A com velocidade de 4,0 m/s. Adotando $g = 10 \text{ m/s}^2$, ao passar por B, sua velocidade será de:



- a) 4,0 m/s X c) 2,0 m/s e) 0 m/s
 b) 3,0 m/s d) 1,0 m/s

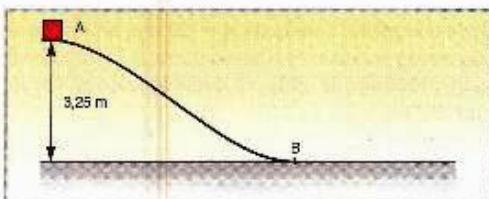
220 Uma partícula percorre a superfície curva ABC sem atritos, passando no ponto A com velocidade de 2 m/s.



Analicem as afirmações:

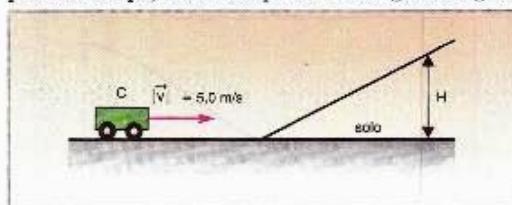
- I) A partícula no ponto A possui somente energia potencial gravitacional.
 II) A partícula no ponto B tem força resultante N-P, que é a força centrípeta.
 III) A partícula no ponto C possui energia potencial gravitacional e cinética.
 IV) A partícula no ponto A tem energia cinética de 4 J. Quais estão corretas?
 a) apenas I e II
 b) apenas II e III
 c) apenas I e III
 d) apenas I, II e III
 X e) apenas II, III e IV

221 (UFPI) Na pista, suposta de atrito desprezível, o bloco de 2 kg de massa passa pelo ponto A com velocidade de 4 m/s. Sendo $g = 10 \text{ m/s}^2$, a velocidade ao passar pelo ponto B será de:



- a) 4 m/s X c) 9 m/s e) 14 m/s
 b) 6 m/s d) 10 m/s

222 (FCC-BA) Um carrinho C , cuja massa é de 5,0 kg, está se movimentando com velocidade escalar $v = 5,0 \text{ m/s}$ ao longo de uma superfície plana e está prestes a subir por uma rampa, como se representa na figura a seguir.



A aceleração da gravidade no local é de $10,0 \text{ m/s}^2$. A máxima altura H que o carrinho pode atingir na rampa, desprezando-se os atritos, é igual, em metros, a:

- a) 1,00 x b) 1,25 c) 1,50 d) 1,75 e) 2,00

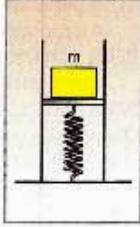
223 (Acafe-SC) Uma criança, inicialmente em repouso, encontra-se sobre um escorregador de 2,4 m de altura. Ao descer escorregendo, ocorre uma perda de 25% da energia mecânica inicial devido às forças dissipativas. Supondo que a aceleração da gravidade no local é de 10 m/s^2 , calcule a velocidade, em metros por segundo, com que a criança atinge o solo.

- a) 4 x b) 6 c) 7 d) 9 e) 10

224 (UFSE) Certa mola de constante elástica $k = 100 \text{ N/m}$ apresenta-se deformada 10 cm. A energia armazenada na mola é, em joules, de:

- x a) 0,5 b) 10 c) 50 d) 1 000 e) 5 000

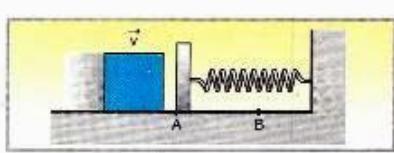
225 (PUC-SP) Uma mola de constante elástica $k = 60 \text{ N/m}$ disposta verticalmente, conforme figura ao lado, sustenta uma massa $m = 100 \text{ g}$. A mola é comprimida de 0,1 m e, em seguida, liberada, projetando a massa m verticalmente para cima. A altura que a massa atinge a partir da posição em que é liberada é: ($g = 10 \text{ m/s}^2$)



- a) 0,50 m c) 1,00 m x e) 0,30 m
b) 0,10 m d) 0,60 m

226 (UFES) Um corpo de massa $m = 2,0 \text{ kg}$ move-se sobre uma superfície horizontal com atrito, indo de encontro a uma mola de constante elástica $k = 100 \text{ N/m}$, como mostra a figura. O módulo da velocidade do corpo imediatamente antes de atingir a mola é $v = 2,0 \text{ m/s}$. O corpo comprime a mola de $x = 20 \text{ cm}$, ao chegar momentaneamente ao repouso no ponto B . O trabalho realizado pela força de atrito no deslocamento do corpo de A até B é de:

- a) +2 J
x b) -2 J
c) +4 J
d) -4 J
e) +6 J



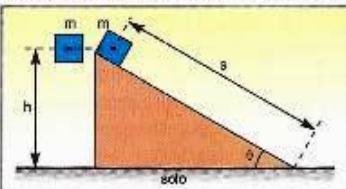
227 (Fatec-SP) Um móvel de 2 kg passa pelo ponto A da pista da figura a seguir com velocidade de 12 m/s . A pista ABC não apresenta atrito, e o trecho BC é uma semicircunferência de diâmetro $BC = 4 \text{ m}$.

Adotando-se $g = 10 \text{ m/s}^2$, o valor da força que o móvel exerce sobre a pista no ponto C é, em newtons, de:

- a) 0
b) 20
x c) 44
d) 64
e) 84



228 (UFGO) Dois objetos de massas iguais a m cada um são abandonados a partir do repouso no mesmo instante e de uma mesma altura h , um em queda livre e o outro sobre um plano inclinado, conforme a figura. A partir destes dados, pode-se afirmar que: **Resposta: 21**



- 01) Na ausência de atrito no plano inclinado, os objetos chegarão ao solo com a mesma velocidade.
- 02) Sendo a distância s maior que a altura h , o trabalho realizado pela força da gravidade, ao arrastar o objeto ao longo do plano, é maior que o realizado ao longo da vertical em queda livre.
- 04) O trabalho realizado pela força da gravidade ao longo do plano inclinado é o mesmo quer o plano seja liso ou tenha atrito.
- 08) Na ausência de atrito no plano inclinado, os dois objetos chegarão ao solo no mesmo instante.
- 16) O princípio da conservação da energia mecânica para o objeto ao longo do plano inclinado só se aplica na ausência de atrito.
- 32) Sendo o coeficiente de atrito cinético entre o objeto e o plano, $\mu < \tan \theta$, a variação da energia potencial do objeto ao longo do plano será totalmente convertida em calor.

229 (PUC-RS) A quantidade de movimento linear de um móvel é definida pelo produto da velocidade do móvel pela sua massa. Pode-se afirmar corretamente que:

- a) Dois corpos de mesma massa terão sempre a mesma quantidade de movimento linear.
- b) Dois corpos que apresentam a mesma quantidade de movimento linear apresentam sempre a mesma energia cinética.
- x c) Dois corpos que apresentam a mesma quantidade de movimento linear podem apresentar energias cinéticas diferentes.
- d) A energia cinética de um corpo duplica quando sua quantidade de movimento duplica.
- e) A quantidade de movimento linear de um corpo quadruplica quando a sua velocidade duplica.

230 (Mack-SP) Um corpo de massa igual a 8 kg desloca-se sem atritos, sobre uma superfície plana e horizontal, com velocidade escalar constante e igual a 15 m/s. Qual é o módulo da quantidade de movimento do corpo?

- a) 8 kg · m/s c) 23 kg · m/s e) 200 kg · m/s
 b) 15 kg · m/s **X** d) 120 kg · m/s

231 (Fuvest-SP) Um veículo de 0,3 kg parte do repouso com aceleração constante; 10 s após, encontra-se a 40 m da posição inicial. Qual o valor da quantidade de movimento nesse instante?

- X** a) 2,4 kg · m/s c) 60 kg · m/s e) 400 kg · m/s
 b) 6,0 kg · m/s d) 120 kg · m/s

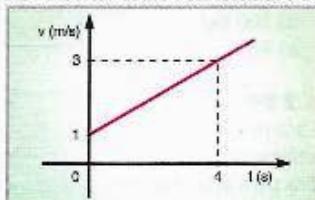
232 (Vunesp-SP) Uma nave espacial de 10^3 kg se move em movimento, livre de quaisquer forças, com velocidade constante de 1 m/s, em relação a um referencial inicial. Necessitando pará-la, o centro de controle decidiu acionar um dos motores auxiliares, que fornecerá uma força constante de 200 N, na mesma direção, mas em sentido contrário ao do movimento. Esse motor deverá ser programado para funcionar durante:

- a) 1 s b) 2 s c) 4 s **X** d) 5 s e) 10 s

233 (UEL-PR) Um corpo de massa igual a 2,0 kg é lançado verticalmente para cima, com velocidade inicial de 20 m/s. Despreze a resistência do ar e considere a aceleração da gravidade $g = 10 \text{ m/s}^2$. O módulo do impulso exercido pela força peso, desde o lançamento até atingir a altura máxima, em unidades do SI, vale:

- a) 10 b) 20 c) 30 **X** d) 40 e) 50

(UECE) As questões 234 e 235 estão relacionadas ao enunciado apresentado a seguir. É fornecido o gráfico velocidade × tempo de um corpo de massa igual a 4 kg, que se move em trajetória retilínea.



234 O impulso da força resultante sobre o corpo, no intervalo de tempo de 0 a 4,0 s, é:

- X** a) 8,0 N · s c) 16 N · s e) 24 N · s
 b) 12 N · s d) 20 N · s

235 A variação da energia cinética do corpo e o trabalho da força resultante sobre ele de 0 a 4,0 s, são, respectivamente:

- a) 18 J e 18 J d) 8,0 J e 16 J
X b) 18 J e 16 J e) 8,0 J e 8,0 J
 c) 16 J e 8,0 J

236 (UFRGS) Uma bola de massa igual a 0,5 kg, inicialmente parada, passa a ter uma velocidade de 50 m/s, logo após ser chutada. Qual seria o módulo de uma for-

ça constante que provocasse essa variação de velocidade em um intervalo de tempo de 0,25 s?

- a) 25 N **X** c) 100 N e) 500 N
 b) 50 N d) 200 N

237 (Aman-RJ) Uma arma com massa de 1 kg atira um projétil de 0,02 kg, com uma velocidade de 1 000 m/s. Logo, a velocidade de recuo da arma é de:

- a) 2 m/s c) 10 m/s e) 40 m/s
X b) 20 m/s d) 4 m/s

238 (Santa Casa-SP) Um homem sobre patins está em repouso na superfície congelada de um lago. Em dado momento, arremessa, para a frente, uma pedra de 10 kg que adquire velocidade horizontal de 8,0 m/s. Sendo desprezível o atrito entre os patins e o gelo, o homem, que tem massa de 80 kg, adquire uma velocidade que, em metros por segundo, vale:

- a) 10 c) 2,0 e) 0,10
 b) 5,0 **X** d) 1,0

239 (UFAL) Um canhão dispara um projétil na horizontal com velocidade de $5,0 \cdot 10^3$ m/s. Sabendo-se que a massa do canhão é cem vezes maior que a massa do projétil, a velocidade de recuo do canhão é, em metros por segundo, de:

- X** a) 5,0 c) 2,0 e) 0,5
 b) 4,0 d) 1,0

240 (UFSM-RS) As forças internas de um sistema de partículas _____ variações na quantidade de movimento de cada partícula, _____ variações na quantidade de movimento total.

Assinale a alternativa que completa, corretamente, os espaços.

- X** a) podem causar; mas não causam
 b) podem causar; que resultam em
 c) não podem causar; mas causam
 d) não podem causar; portanto não causam
 e) sempre causam; podendo causar

241 (UFPB) Um patinador de 70 kg desloca-se com velocidade $v = 3,0 \text{ m/s}$ quando agarra um menino de 35 kg que estava parado no rink de patinação. Em consequência, os dois passam a se mover juntos com velocidade igual a:

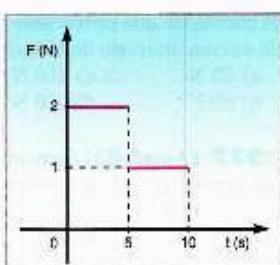
- a) 3,0 m/s c) 1,5 m/s e) zero
X b) 2,0 m/s d) 1,0 m/s

242 (UFAL) Um pedaço de massa de modelar de 200 g é atirado horizontalmente com velocidade de 12 m/s contra um carrinho de massa 600 g, inicialmente parado sobre uma superfície horizontal. Se a massa se choca contra o carrinho e nele permanece grudada, a velocidade com que o conjunto passa a se mover é, em metros por segundo:

- X** a) 3 c) 8 e) 12
 b) 6 d) 9

■ 243 (Unesp-SP) O gráfico representa a intensidade da força resultante que atua num corpo em função do tempo. Se a quantidade de movimento do corpo em $t = 0$ é $15 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ e se a força resultante atua na mesma direção, mas em sentido oposto ao do seu movimento, sua velocidade no instante $t = 10 \text{ s}$ é, em metros por segundo, igual a:

- a) 0 b) 5 c) 10 d) 15 e) 20

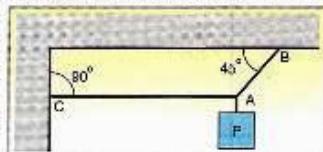


■ 244 (UFPR) Sobre a relação entre forças e movimento de uma partícula, é correto afirmar que:

- 01) Se uma partícula está em MRU, a resultante das forças que atuam sobre ela é nula.
- 02) Uma partícula numa trajetória circular com velocidade de módulo constante não experimenta nenhum tipo de aceleração.
- 04) Quando duas partículas de massas diferentes são submetidas à mesma força resultante, as acelerações que elas adquirem são inversamente proporcionais às suas massas.
- 08) É nulo o trabalho realizado por uma força aplicada sobre uma partícula perpendicularmente ao seu deslocamento.
- 16) A variação da quantidade de movimento de uma partícula é tanto maior quanto menor for o intervalo de tempo no qual uma força constante age sobre ela. **Resposta: 13**

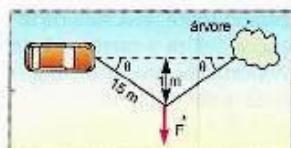
Os testes de 245 a 259 referem-se à unidade V deste volume.

■ 245 (PUC-RS) O sistema da figura encontra-se em equilíbrio. Determine as trações T_1 e T_2 nos fios AB e AC, respectivamente. O peso do corpo P é 200 N.



- a) $T_1 = 200 \text{ N}$ e $T_2 = 120 \text{ N}$
 b) $T_1 = 185 \text{ N}$ e $T_2 = 283 \text{ N}$
 c) $T_1 = 215 \text{ N}$ e $T_2 = 325 \text{ N}$
 d) $T_1 = 283 \text{ N}$ e $T_2 = 200 \text{ N}$
 e) $T_1 = 300 \text{ N}$ e $T_2 = 200 \text{ N}$

■ 246 (UFES) Para tirar um carro de um atoleiro é necessário aplicar-lhe uma força de módulo 6 000 N. Utilizando uma corda, co-

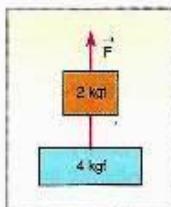


mo esquematizado na figura, um motorista deverá puxá-la com uma força \vec{F} , cujo módulo, no mínimo, é igual a:

- a) 400 N c) $1600\sqrt{4} \text{ N}$ e) 90 000 N
 b) 800 N d) $3200\sqrt{14} \text{ N}$

■ 247 (PUC-MG) Dois blocos na posição vertical são ligados por uma corda. Outra corda é amarrada ao bloco superior. A força \vec{F} necessária para manter o sistema em repouso vale:

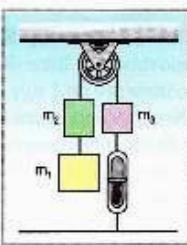
- a) 2 kgf c) 6 kgf
 b) 3 kgf e) $\sqrt{20} \text{ kgf}$
 c) 4 kgf



■ 248 (UFSM-RS) Os corpos de massas $m_1 = 6 \text{ kg}$, $m_2 = 3 \text{ kg}$ e $m_3 = 4 \text{ kg}$ são mantidos em repouso pelo dinamômetro, conforme a figura.

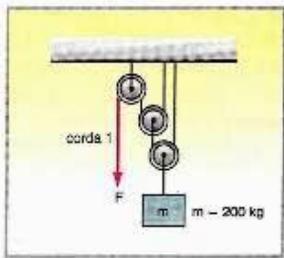
Considerando a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2 e desconsiderando eventuais forças de atrito e a massa da corda, a leitura no dinamômetro é:

- a) 180 N b) 90 N c) 60 N d) 50 N e) 40 N



■ 249 (FEI-SP) No sistema ao lado, que força deverá ser feita na corda 1 para levantar uma massa de 200 kg?

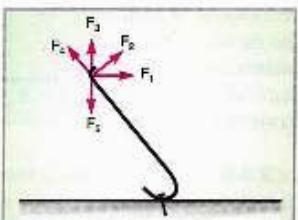
- a) 500 N
 b) 800 N
 c) 200 kgf
 d) 500 kgf
 e) 800 kgf



■ 250 (UFV-MG)

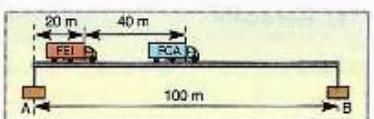
Uma pessoa pretende utilizar um pé-de-cabra para arrancar um prego. Dos cinco vetores representados na figura, o que corresponde à menor força necessária à tarefa é:

- a) F_2 b) F_1 c) F_3 d) F_4 e) F_5



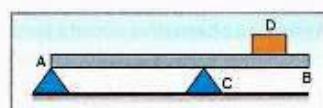
■ 251 (FEI-SP) Uma ponte de peso 300 kN encontra-se sobre dois apoios, conforme a figura. Dois caminhões, de peso 30 kN cada, estão nas posições indicadas na mesma figura. Nesta situação, qual é a carga suportada pelo apoio A?

- a) 99 kN
 b) 174 kN
 c) 186 kN
 d) 192 kN
 e) 100 kN



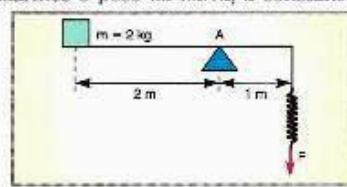
252 (PUC-SP) A barra AB é uniforme, pesa 50,0 N e tem 10 m de comprimento. O bloco D pesa 30,0 N e dista 8,0 m de A. A distância entre os pontos de apoio da barra é AC = 7,0 m. Calcule a reação na extremidade A.

- a) 14,0 N
- b) 7,0 N
- c) 20,0 N
- d) 10,0 N
- e) 8,0 N

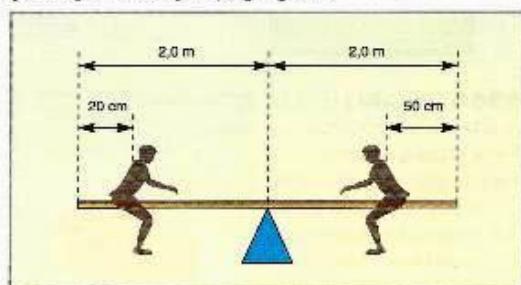


253 (Mack-SP) Na situação da figura, a barra está em equilíbrio, apoiada em A e a mola está distendida 10 cm. Se desprezarmos o peso da barra, a constante elástica da mola será:

- a) 400 N/m
- b) 600 N/m
- c) 40 N/m
- d) 20 N/m
- e) 60 N/m



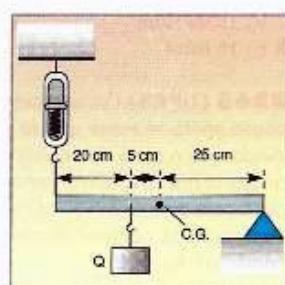
254 (Mack-SP) Duas crianças brincam numa gangorra homogênea, de 4,0 m de comprimento e 10 kg de massa que está apoiada no centro, conforme mostra a figura abaixo. Uma destas crianças está sentada a 20 cm da extremidade A e a outra, para manter a gangorra em equilíbrio, na horizontal, está sentada a 50 cm da extremidade B. Se a criança mais gorda se deslocar em direção ao ponto de apoio, a gangorra:



- a) sofre uma rotação, porém num sentido imprevisível
- b) fica em equilíbrio, com a criança magra no alto e a gorda no solo
- c) sofre uma rotação no sentido anti-horário
- d) sofre uma rotação no sentido horário
- e) continua em equilíbrio na horizontal

255 (Cefet-PR)

O sistema figurado a seguir está em equilíbrio e o dinamômetro à esquerda marca 60 N. Deslocando a carga Q 20 cm para a direita, o dinamômetro passa a registrar 30 N. O peso da barra, homogênea e de

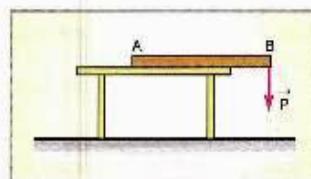


seção constante, e da carga Q, em newton, são, respectivamente, iguais a:

- a) 30 e 75
- b) 25 e 80
- c) 35 e 70
- d) 40 e 65
- e) 45 e 60

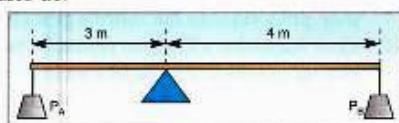
256 (ITA-SP) Um pedaço de madeira homogêneo, de seção transversal constante A e comprimento L , repousa sobre uma massa fixa no chão. A madeira está com 25% do seu comprimento para fora da mesa, como mostra a figura. Aplicando uma força $P = 300$ N ao ponto B a madeira começa a se deslocar de cima da mesa. Qual é o valor real do peso Q da madeira?

- a) $Q = 150$ N
- b) $Q = 300$ N
- c) $Q = 400$ N
- d) $Q = 600$ N
- e) $Q = 900$ N

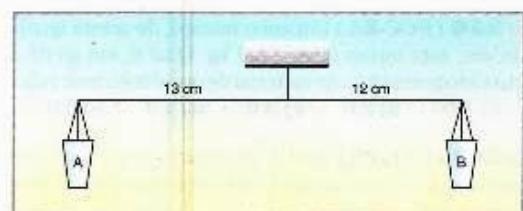


257 (UFLA-MG) A figura abaixo representa um sistema em equilíbrio estático. Sendo $P_A = 20$ N, o peso P_B deve ter o valor de:

- a) 15 N
- b) 20 N
- c) 25 N
- d) 30 N
- e) 40 N



258 (Cesgrario-RJ) Dois copinhos de massa desprezível são pendurados nas extremidades de uma haste de alumínio, sendo o conjunto suspenso por um fio, conforme indica a figura abaixo:



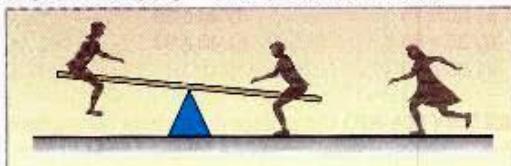
O copinho da esquerda (A) contém 60 grãos de feijão e a massa da haste de alumínio equivale a 48 grãos de feijão (suponha grãos de massas idênticas).

Logo, o número de grãos de feijão que deve ser colocado no copinho da direita (B) para que o sistema permaneça em equilíbrio, com a haste na posição horizontal é:

- a) 61
- b) 63
- c) 65
- d) 67
- e) 69

259 (UFGO) Três crianças, Juquinha, Carmelita e Zezinho de massa 40 kg, 30 kg e 25 kg, respectivamente, estão brincando numa gangorra. A gangorra possui uma prancha homogênea de 4 m e massa de 20 kg. Con-

siderando que o suporte da gangorra seja centralizado na prancha e que $g = 10 \text{ m/s}^2$, pode-se afirmar:



- 01) Se os meninos sentarem-se nas extremidades da prancha, só poderá existir equilíbrio se Carmelita sentar-se em um determinado ponto da prancha do lado de Juquinha.
- 02) Se Carmelita sentar-se junto com Zezinho, bem próximos da extremidade da prancha, não existirá uma posição em que Juquinha consiga equilibrar a gangorra.
- 04) Se Juquinha sentar-se no lado esquerdo, a 1 m do centro da gangorra, Zezinho terá que se sentar no lado direito e a 1,6 m do centro, para a gangorra ficar em equilíbrio.
- 08) Se Juquinha sentar-se na extremidade esquerda (a 2 m do centro) e Zezinho na extremidade direita, haverá equilíbrio se Carmelita sentar-se a 1 m à direita do suporte.
- 16) Numa situação de equilíbrio da gangorra, com as três crianças sentadas sobre a prancha, a força normal que o suporte faz sobre a prancha é de 950 N.
- 32) Com Juquinha e Zezinho sentados nas extremidades da prancha, a gangorra tocará o chão no lado de Juquinha. Neste caso, Zezinho ficará em equilíbrio porque a normal, que a prancha faz sobre ele, anula seu peso.

Os testes de 260 a 284 referem-se à unidade VI deste volume.

■ 260 (FCC-BA) Um cubo maciço, de aresta igual a 10 cm, tem massa igual a 5,0 kg. Qual é, em g/cm^3 , a densidade absoluta do material de que é feito esse cubo?

- a) 1,0 b) 2,0 c) 3,0 d) 4,0 e) 5,0

■ 261 (UEL-PR) Qual é, em gramas, a massa de um volume de 50 cm^3 de um líquido cuja densidade é igual a $2,0 \text{ g/cm}^3$?

- a) 25 b) 50 c) 75 d) 100 e) 125

■ 262 (Ibero-Americana-SP) Uma pessoa cujo peso é 720 N está parada e apoiada nos dois pés. A área da sola de cada sapato é 120 cm^2 . Determine a pressão que a pessoa exerce no solo.

- a) $10\,000 \text{ N/m}^2$ c) $1\,750 \text{ N/m}^2$ e) $30\,000 \text{ N/m}^2$
b) $1\,000 \text{ N/m}^2$ d) $21\,000 \text{ N/m}^2$

■ 263 (UMC-SP) Em Mecânica define-se uma grandeza denominada pressão que é a razão entre o módulo de uma força aplicada sobre uma superfície e a área dessa superfície.

Um tijolo tem peso igual a 20 N e suas arestas medem, 5,0 cm, 10,0 cm e 20,0 cm.

Foram escolhidos dez desses tijolos, os mais iguais possível e colados dois a dois, conforme as alternativas seguintes.

Assinale a alternativa correta para a qual a dupla de tijolos colados exerce a maior pressão sobre o plano horizontal.

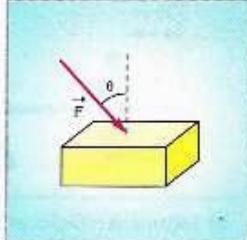
- a)
d)
b)
e)
c)

■ 264 (PUC-RJ) Um bloco B tem a sua superfície inferior plana em contato com a superfície também plana e horizontal de uma mesa. A área de contato tem 2 m^2 e o bloco pesa 15 N.

A força \vec{F} que atua sobre o bloco, indicada na figura, tem módulo igual a 30 N e o ângulo θ de inclinação da força \vec{F} , também mostrado na figura, é tal que $\sin \theta = 0,866$ e $\cos \theta = 0,500$.

A pressão sobre a superfície de contato do bloco com a mesa é:

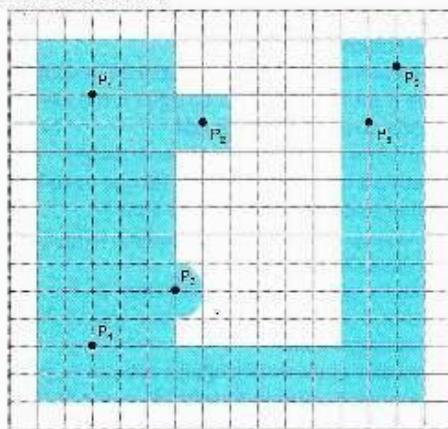
- a) $7,5 \text{ N/m}^2$
b) $12,99 \text{ N/m}^2$
 c) 15 N/m^2
d) $20,49 \text{ N/m}^2$
e) $25,98 \text{ N/m}^2$



■ 265 (UFES) Um automóvel de massa 800 kg em repouso apoia-se sobre quatro pneus idênticos. Considerando que o peso do automóvel seja distribuído igualmente sobre os quatro pneus e que a pressão em cada pneu seja de $1,6 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ (equivalente a 24 lb/in²) a superfície de contato de cada pneu com o solo é, em centímetros quadrados:

- a) 100 b) 125 c) 175 d) 200 e) 250

266 (FURRN) Considere um recipiente com forma semelhante à indicada no esquema, contendo um líquido homogêneo. Nesse esquema estão assinalados alguns pontos de referência.



A pressão hidrostática nesses pontos tem mesmo valor em:

- a) P_1 e P_2
- b) P_2 e P_3
- c) P_4 e P_1
- d) P_3 e P_2
- e) P_3 e P_1

267 (Unisinos-RS) Uma piscina tem área de 28 m^2 e contém água até uma altura de 1,5 m. A massa específica da água é 10^3 kg/m^3 .

A pressão exercida exclusivamente pela água no fundo da piscina é:

- a) $1,5 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$
- b) $2,8 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$
- c) $1,5 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$
- d) $4,2 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$
- e) $4,2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

268 (PUC-SP) Submerso em um lago, um mergulhador constata que a pressão absoluta no medidor que se encontra no seu pulso corresponde a $1,6 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Um barômetro indica ser a pressão atmosférica local $1,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Considere a massa específica da água como sendo 10^3 kg/m^3 e a aceleração da gravidade 10 m/s^2 . Em relação à superfície, o mergulhador encontra-se a uma profundidade de:

- a) 1,6 m
- c) 16 m
- b) 6,0 m
- d) 5,0 m
- e) 10 m

269 (UERJ) Um submarino encontra-se a uma profundidade de 50 m. Para que a tripulação sobreviva, um descompressor mantém o seu interior a uma pressão constante igual à pressão atmosférica ao nível do mar. Considerando-se 1 atm = 10^5 Pa , a diferença entre a pressão, junto às suas paredes, fora e dentro do submarino, é da ordem de:

- a) 0,1
- b) 1,0
- c) 5,0
- d) 50,0

270 (UEL-PB) Analise as afirmativas a seguir.

- I) Dois pontos, situados no mesmo nível de um líquido em equilíbrio, suportam a mesma pressão.

II) A pressão suportada por um ponto no interior de um líquido é igual à soma da pressão na superfície do líquido com a pressão da coluna líquida acima de ele.

III) Se a superfície livre de um líquido tem grande extensão, ela é curva, acompanhando a curvatura da Terra.

Pode-se afirmar que:

- a) somente I é verdadeira
- b) somente I e II são verdadeiras
- c) somente I e III são verdadeiras
- d) somente II e III são verdadeiras
- e) I, II e III são verdadeiras

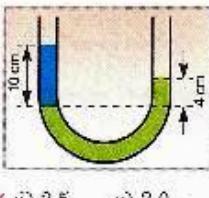
271 (UFV-MG) Para tirar sangue de uma pessoa, faz-se vácuo no interior de uma seringa, cuja agulha é introduzida na veia dessa pessoa. O sangue flui para a seringa porque:

- a) é colocada uma tira de borracha, apertando a veia, para expulsar o sangue
- b) a agulha possui diâmetro interno muito pequeno, possibilitando a capilaridade
- c) ele tende a atingir o mesmo nível na seringa e na veia, por serem vasos comunicantes
- d) a pressão sanguínea é maior que a pressão do interior da seringa
- e) a seringa fica com um nível mais baixo que o ponto da picada.

272 (FAAP-SP) Um dos edifícios da FAAP tem 25 m de altura. Qual é a diferença entre as pressões da água numa torneira situada no andar térreo e outra situada no último andar? (Dado: massa específica da água igual a $1\,000 \text{ kg/m}^3$.)

- a) 250 Pa
- c) 0,25 Pa
- e) 25 Pa
- b) 2 500 Pa
- d) 250 kPa

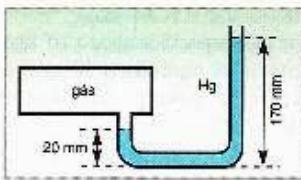
273 (UFSM-RS) No tubo representado na figura, há dois líquidos inmiscíveis. Sabendo-se que o líquido menos denso é a água, cuja densidade vale $1,0 \text{ g/cm}^3$, a densidade do outro líquido, em g/cm^3 , é:



- a) 0,4
- b) 1,5
- c) 2,0
- d) 2,5
- e) 3,0

274 (UEL-PR)

Para medir a pressão p exercida por um gás contido num recipiente, utilizou-se um manômetro de mercúrio, obtendo-se os valores indicados na figura. A pressão atmosférica local medida por um barômetro indicava 750 mmHg. O valor de p vale:



- a) 150 mmHg
- c) 750 mmHg
- e) 940 mmHg
- b) 170 mmHg
- d) 900 mmHg

■ 275 (UEL-PR) O freio dos veículos é uma aplicação prática do princípio de:
X a) Pascal c) Galileu e) Fermat
b) Arquimedes d) Newton

■ 276 (UFPR) Uma prensa hidráulica tem dois pistões cilíndricos de seções retas de áreas iguais a 30 cm^2 e 70 cm^2 . A intensidade da força transmitida ao êmbolo maior, quando se aplica ao menor uma força de intensidade 600 N , é:
a) 1 200 N c) 1 600 N e) 2 400 N
X b) 1 400 N d) 2 100 N

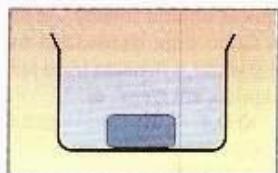
■ 277 (FES-MG) Sobre Hidrostática, um estudante fez as afirmações a seguir:
I) O empuxo que um corpo recebe ao ser mergulhado em fluido depende da densidade desse fluido.
II) A pressão hidrostática no fundo de um líquido só depende de sua profundidade e de sua densidade, não dependendo do valor da aceleração da gravidade local.
III) A densidade de um navio é menor do que a densidade da água.
Dessas afirmações a(s) correta(s) é(são) apenas:

- a) I X c) III e) I e III
b) II d) I e II

■ 278 (UECE) Uma gota de certo líquido imiscível, de massa $m = 0,6 \text{ g}$ e volume $V = 0,4 \text{ cm}^3$, está equilibrada, em suspensão, no interior da amostra de urina de um paciente renal. A massa específica dessa urina é:
X a) $1,5 \text{ g/cm}^3$ c) $1,24 \text{ g/cm}^3$
b) $1,5$ d) $1,24$

■ 279 (UCMG) Um tronco de madeira flutua na água tendo emerso $\frac{1}{10}$ de seu volume. Dado: $d_{\text{ág}} = 1 \text{ g/cm}^3$. A densidade do tronco é:
X a) $0,90 \text{ g/cm}^3$ c) $0,80 \text{ g/cm}^3$ e) $1,20 \text{ g/cm}^3$
b) $1,10 \text{ g/cm}^3$ d) $1,0 \text{ g/cm}^3$

■ 280 (Cefet-PR) Na figura está representado um bloco de ferro de massa específica $7,8 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, apoiado no fundo de um recipiente que contém água (massa específica igual a 10^3 kg/m^3). Como o campo gravitacional equivale a 10 m/s^2 e o volume do bloco, a $2\,000 \text{ cm}^3$, a reação normal exercida pelo fundo do recipiente sobre o corpo, em newtons, é igual a:
a) 78 X b) 136 c) 221 d) 318 e) 414



■ 281 (FURG-RS) Uma jangada de madeira de 2 m de largura e 4 cm de comprimento flutua em um lago com águas paradas. Nessa situação, 4 cm da espessura da madeira fica fora d'água. Considere a densidade da água $1\,000 \text{ kg/m}^3$ e a gravidade local 10 m/s^2 . Quantas

pessoas de 50 kg cada podem ficar sobre a jangada sem molhar os pés?

- X a) 6 b) 8 c) 10 d) 32 e) 50

■ 282 (UFPE) Analise as proposições abaixo e assinale a alternativa falsa.

- a) Um cubo de gelo flutua na água de um copo, porque a massa específica da água é menor na fase sólida do que na fase líquida.
b) Um corpo completamente imerso na água está submetido a um empuxo menor do que quando inteiramente imerso em mercúrio líquido.
c) Uma jangada flutua melhor na água salgada do que na água doce.
d) Quanto maior a massa específica de um líquido, menor é o volume ocupado por uma dada massa dessa substância.
X e) Um balão cheio de hidrogênio sobe no ar, porque a sua pressão interna é maior do que a pressão atmosférica.

■ 283 (UFG-GO) Considere dois recipientes, *A* e *B*, idênticos, um contendo apenas água (recipiente *A*), e o outro contendo água mais um pedaço de madeira flutuando (recipiente *B*). O nível de água nos dois recipientes é o mesmo.

Em relação às afirmações que se seguem, verifique quais são as verdadeiras: **Resposta: 12**

- 01) O bloco de madeira flutua por ter maior densidade.
02) Os recipientes *A* e *B* possuem mesmo volume e massa de água.
04) O empuxo sobre o pedaço de madeira, como resultante de forças superficiais, iguala-se ao peso do volume do fluido deslocado pela madeira.
08) O peso de recipiente *A* é menor que o peso do recipiente *B*.

■ 284 (UFLA-MG) Um corpo, cuja densidade é $1,25 \text{ g/m}^3$, é abandonado na superfície livre da água contida num recipiente de $0,49 \text{ m}$ de profundidade. Sendo $g = 10 \text{ m/s}^2$ e a densidade da água $1,00 \text{ g/m}^3$, podemos afirmar que:

- a) O tempo gasto pelo corpo para atingir o fundo do recipiente é de 10 s .
b) A aceleração adquirida pelo corpo é de 10 m/s^2 .
X c) A aceleração adquirida pelo corpo é de 2 m/s^2 .
d) O tempo gasto pelo corpo para atingir o fundo do recipiente é de 2 s .
e) A aceleração adquirida pelo corpo é de $4,9 \text{ m/s}^2$.

Os testes de 285 a 365 referem-se à unidade VII deste volume.

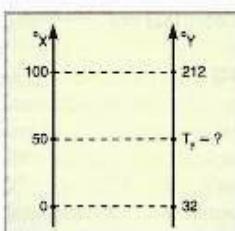
■ 285 (Mack-SP) Um turista, ao descer no aeroporto de Nova Iorque, viu um termômetro marcando 68°F . Fazendo algumas contas, esse turista verificou que essa temperatura era igual à de São Paulo, quando embarca-

ra. A temperatura de São Paulo, no momento de seu embarque, era de:

- a) 10 °C c) 20 °C e) 28 °C
 b) 15 °C d) 25 °C

286 (UFES) A relação entre as escalas X e Y de medida de temperatura é mostrada na figura. A temperatura em °Y correspondente a 50 °X é:

- a) 162 d) 90
 b) 122 e) 82
 c) 94



287 (UFSM-RS) Uma escala termométrica X atribui 20 °X para o ponto de gelo e 80 °X para o ponto do vapor de água. Quando um termômetro graduado na escala centígrada marcar 50 °C, o termômetro graduado na escala X marcará:

- a) 30 °X c) 50 °X e) 70 °X
 b) 40 °X d) 60 °X

288 (UFSC) Um termômetro de gás de volume constante indica uma pressão de:

- 60 cmHg na mistura água-gelo em equilíbrio térmico
- 82 cmHg no vapor da água em ebulição (sob pressão normal)
- 104 cmHg em óleo aquecido

Qual é a temperatura do óleo na escala Celsius?

- a) 22 °C d) 186 °C
 b) 44 °C e) 200 °C
 c) 164 °C

289 (Osec-SP) Uma temperatura na escala Fahrenheit é expressa por um número que é o triplo do correspondente na escala Celsius. Essa temperatura é:

- a) 26,7 °F d) 90,0 °F
 b) 53,3 °F e) n.d.a.
 c) 80,0 °F

290 (Unimep-SP) Mergulham-se dois termômetros na água: um graduado na escala Celsius e o outro na Fahrenheit. Espera-se o equilíbrio térmico e nota-se que a diferença entre as leituras nos dois termômetros é igual a 92. A temperatura da água valerá, portanto:

- a) 28 °C; 120 °F d) 75 °C; 167 °F
 b) 32 °C; 124 °F e) n.d.a.
 c) 60 °C; 152 °F

291 (USC-SP) Um estudante elaborou um termômetro e atribuiu $-20^{\circ}X$ para o ponto de fusão do gelo e $340^{\circ}X$ para o ponto de ebulição da água. A equação termométrica que relaciona essa escala com a escala Fahrenheit é:

- a) $t = 0,6 \cdot X + 44$ d) $t = 0,6 \cdot X + 42$
 b) $t = 0,6 \cdot X + 20$ e) $t = 0,5 \cdot X + 42$
 c) $t = -0,5 \cdot X + 22$

292 (UFSM-RS) Um termômetro graduado na escala Kelvin é utilizado para medir a temperatura de um determinado líquido, acusando o valor 173 K.

- a) Se for utilizado um termômetro graduado na escala Celsius para medir essa temperatura, obtém-se um valor negativo.
 b) Essa temperatura, na escala Celsius, seria dada pelo valor 273 °C.
 c) Essa temperatura, na escala Celsius, seria dada pelo valor 73 °C.
 d) Essa temperatura corresponde ao ponto de fusão do gelo.
 e) Essa temperatura corresponde ao ponto de ebulição da água.

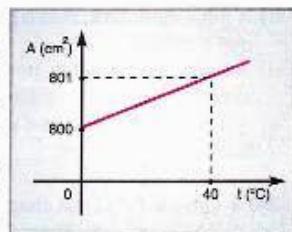
293 (PUC-RS) Um fio metálico tem 100 m de comprimento e coeficiente de dilatação linear igual a $17 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. A variação de comprimento desse fio, quando a temperatura varia $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, é de:

- a) 17 mm c) 17 m e) $17 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
 b) 1,7 m d) $17 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$

294 (UFPE) Uma régua de alumínio, com coeficiente de dilatação linear $\alpha = 25 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, tem o comprimento de 200,0 cm a $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Qual o valor, em centímetros, do seu comprimento a $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$?

- a) 200,1 c) 200,3 e) 200,5
 b) 200,2 d) 200,4

295 (UFAL) Uma chapa metálica tem sua área variando em função da temperatura, como mostra o gráfico.



O coeficiente de dilatação superficial do material da chapa vale, em $\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$:

- a) $3,1 \cdot 10^3$ d) $3,1 \cdot 10^{-5}$
 b) $3,1 \cdot 10^{-3}$ e) $3,1 \cdot 10^{-6}$
 c) $3,1 \cdot 10^{-4}$

296 (FURRN) Numa rua de Mossoró, um fio de cobre é preso entre dois postes distantes 150 m. Durante o dia a temperatura chega a $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e, durante a noite, cai para $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação linear do cobre é de $17 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, a variação de comprimento do fio, em centímetros, seria de:

- a) 1 b) 1,5 c) 1,70 d) 2 e) 2,55

297 (Cefet-BA) Um disco de alumínio de raio $5,00 \cdot 10^{-1} \text{ m}$ deve atravessar um orifício de raio $4,99 \cdot 10^{-1} \text{ m}$. Sendo o coeficiente de dilatação linear do alumínio igual a $2,4 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, a redução da temperatura, em graus centígrados, a que deve ser submetido o disco é, aproximadamente:

- a) 24 c) 83 e) 100
 b) 50 d) 97

■ 298 (ITA-SP) O coeficiente médio de dilatação térmica linear do aço é $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Usando trilhos de aço de 8,0 m de comprimento, um engenheiro construiu uma ferrovia deixando um espaço de 0,50 cm entre os trilhos, quando a temperatura era de $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Num dia de sol forte os trilhos soltaram-se dos dormentes. Qual dos valores abaixo corresponde à mínima temperatura que deve ter sido atingida pelos trilhos?

- a) $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ c) $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e) $90 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 b) $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ d) $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$

■ 299 (UFPR) Uma barra de metal de comprimento L a $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ sofreu um aumento de comprimento de $\frac{1}{200}$ do seu comprimento inicial, quando aquecida a $125 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Pode-se dizer que o coeficiente de dilatação do metal é:

a) $2 \cdot 10^{-12} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ d) $1 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
 b) $4 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ c) $2 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$
 c) $6 \cdot 10^{-8} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

■ 300 (FATEC-SP) Uma placa de alumínio tem um grande orifício circular no qual foi colocado um pino, também de alumínio, com grande folga. O pino e a placa são aquecidos de $500 \text{ }^{\circ}\text{C}$, simultaneamente. Podemos afirmar que:

- a) A folga irá aumentar, pois o pino só ser aquecido irá contrair-se.
 b) A folga diminuirá, pois ao aquecermos a chapa a área do orifício diminuirá.
 c) A folga diminuirá, pois o pino se dilata muito mais que o orifício.
 d) A folga irá aumentar, pois o diâmetro do orifício aumenta mais que o diâmetro do pino.
 e) A folga diminuirá, pois o pino se dilata, e a área do orifício não se altera.

■ 301 (Mack-SP) Uma chapa plana de uma liga metálica de coeficiente de dilatação linear $2 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ tem área A_0 à temperatura de $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Para que a área dessa placa aumente 1%, devemos elevar a sua temperatura para:

- a) $520 \text{ }^{\circ}\text{C}$ c) $320 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e) $170 \text{ }^{\circ}\text{C}$
 b) $470 \text{ }^{\circ}\text{C}$ d) $270 \text{ }^{\circ}\text{C}$

■ 302 (Fatec-SP) As tampas metálicas dos recipientes de vidro são mais facilmente removidas quando o conjunto é imerso em água quente. Tal fato ocorre porque:

- a) a água quente lubrifica as superfícies em contato, reduzindo o atrito entre elas
 b) a água quente amolece o vidro, permitindo que a tampa se solte
 c) a água quente amolece o metal, permitindo que a tampa se solte
 d) o metal dilata-se mais que o vidro, quando ambos são sujeitos à mesma variação de temperatura
 e) o vidro dilata-se mais que o metal, quando ambos são sujeitos à mesma variação de temperatura

■ 303 (UFJF) Um recipiente de cobre tem $1\,000 \text{ cm}^3$ de capacidade a $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Sua capacidade a $100,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ mede ($\alpha_{\text{cu}} = 1,700 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$):

- a) $1\,017 \text{ cm}^3$ d) $1\,002 \text{ cm}^3$
 b) $1\,005 \text{ cm}^3$ c) $1\,001 \text{ cm}^3$
 c) $1\,003 \text{ cm}^3$

■ 304 (PUC-SP) Um mecânico de automóveis precisa soltar um anel que está fortemente preso a um eixo. Sabe-se que o anel é feito de aço, de coeficiente de dilatação linear $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, e o eixo, de alumínio, cujo coeficiente é $2,3 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Lembrando que tanto o aço quanto o alumínio são bons condutores térmicos e sabendo-se que o anel não pode ser danificado e que não está soldado ao eixo, o mecânico deve:

- a) aquecer somente o eixo
 b) aquecer o conjunto (anel + eixo)
 c) resfriar o conjunto (anel + eixo)
 d) resfriar somente o anel
 e) aquecer o eixo e, logo após, resfriar o anel

■ 305 (UFRN) Um comerciante comprou, em Natal, 5 000 litros de um certo líquido cujo coeficiente de dilatação volumétrica era $0,80 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Esse líquido foi transportado e vendido por litro no Rio Grande do Sul, onde a temperatura era de $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Sabendo-se que a temperatura em Natal, no dia da compra, era de $35 \text{ }^{\circ}\text{C}$ podemos dizer que o comerciante teve um prejuízo de:

- a) 20 \AA c) 60 \AA e) 100 \AA
 b) 40 \AA d) 80 \AA

■ 306 (UEL-PR) Um recipiente de vidro de capacidade $2,0 \cdot 10^4 \text{ cm}^3$ está completamente cheio de mercúrio, a $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Os coeficientes de dilatação volumétrica do vidro e do mercúrio são, respectivamente, $4,0 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ e $1,8 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Aquecendo o conjunto a $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$, o volume de mercúrio que extravasa, em centímetros cúbicos, vale:

- a) $2,8 \cdot 10^{-4}$ d) $2,8 \cdot 10^{-1}$
 b) $2,8 \cdot 10^{-3}$ e) $2,8$
 c) $2,8 \cdot 10^{-2}$

■ 307 (Unesp-SP) Quando uma enfermeira coloca um termômetro clínico de mercúrio só a língua de um paciente, por exemplo, ela sempre aguarda algum tempo antes de fazer a sua leitura. Esse intervalo de tempo é necessário:

- a) para que o termômetro entre em equilíbrio térmico com o corpo do paciente
 b) para que o mercúrio, que é muito pesado, possa subir pelo tubo capilar
 c) para que o mercúrio passe pelo estrangulamento do tubo capilar
 d) devido à diferença entre os valores do calor específico do mercúrio e do corpo humano
 e) porque o coeficiente de dilatação do vidro é diferente do coeficiente de dilatação do mercúrio

308 (Unifor-CE) Considere dois corpos de massas diferentes e as afirmações a seguir:

- I) Eles podem possuir mesmo calor específico e capacidades térmicas iguais.
- II) Eles podem possuir diferentes calores específicos e capacidades térmicas iguais.
- III) Eles podem possuir mesmo calor específico e diferentes capacidades térmicas.

Pode-se afirmar que:

- a) apenas I é correta
- b) apenas I e II são corretas
- c) apenas I e III são corretas
- d) apenas II e III são corretas
- e) I, II e III são corretas

309 (Cefet-PB) Se a massa de um corpo é muito pequena, isto tende a fazer com que:

- a) seu calor específico seja muito grande
- b) seu calor específico seja muito pequeno
- c) sua capacidade térmica seja muito grande
- d) seu calor específico e sua capacidade térmica sejam iguais
- e) sua capacidade térmica seja muito pequena

310 (UFMG) Um corpo tem capacidade térmica igual a 18 cal/ $^{\circ}\text{C}$ e o calor específico do material que o constitui é igual a 0,12 cal/g $^{\circ}\text{C}$. A massa desse corpo vale:

- a) 150 g c) 220 g e) 330 g
- b) 180 g d) 280 g

311 (FGV-SP) O calor específico do ferro é, aproximadamente, 0,1 cal/g $^{\circ}\text{C}$. Isto significa que para se elevar a 12 $^{\circ}\text{C}$ a temperatura de um pedaço de 5 g de ferro é necessária uma quantidade de calor, em calorias, de:

- a) 0,5 c) 8 e) 120
- b) 1,2 d) 60

312 (UFRGS) Uma fonte calorífica fornece calor continuamente, à razão de 150 cal/s, a uma determinada massa de água. Se a temperatura da água aumenta de 20 $^{\circ}\text{C}$ para 60 $^{\circ}\text{C}$ em 4 min, sendo o calor específico da água 1,0 cal/g $^{\circ}\text{C}$, pode-se concluir que a massa de água aquecida, em gramas, é de:

- a) 600 c) 700 e) 900
- b) 600 d) 800

313 (FCC-BA) Num calorímetro colocam-se 80,0 g de água a 50,0 $^{\circ}\text{C}$, 20,0 g de água a 30,0 $^{\circ}\text{C}$ e um pedaço de cobre, à temperatura de 100,0 $^{\circ}\text{C}$. O calor específico da água é constante e igual a 1,0 cal/g $^{\circ}\text{C}$. O pedaço de cobre tem capacidade térmica igual a 2,0 cal/ $^{\circ}\text{C}$. Desprezando-se as trocas de calor tanto entre o calorímetro e o exterior como entre o calorímetro e a mistura, qual será, aproximadamente, o valor da temperatura da mistura, em graus Celsius, quando esta estiver em equilíbrio térmico?

- a) 46,0 c) 60,0 e) 80,0
- b) 47,1 d) 70,0

314 (Fesp-PE) Um calorímetro de alumínio de 200 g ($c = 0,22 \text{ cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$) contém 120 g de água a 96 $^{\circ}\text{C}$. A massa de alumínio a 10 $^{\circ}\text{C}$ que deve ser introduzida no calorímetro para resfriar o conjunto a 90 $^{\circ}\text{C}$ é:

- a) 6,6 g d) 112 g
- b) 28 g e) 41 g
- c) 6,6 g

315 (Cesgrario-RJ) Numa casa de praia, deseja-se aquecer 1,0 ℓ de água, num recipiente termicamente isolado, por meio de um aquecedor elétrico de 420 W. A água foi introduzida no recipiente a 10 $^{\circ}\text{C}$. Sabendo-se que o calor específico da água é igual a $4,2 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$, o tempo necessário para a água começar a ferver será aproximadamente de:

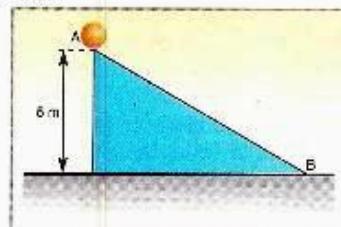
- a) 5 min d) 42 min
- b) 10 min e) 1 h
- c) 15 min

316 (UFPR) Um recipiente termicamente isolado contém 500 g de água, na qual se mergulha uma barra metálica homogênea de 250 g. A temperatura inicial da água é 25,0 $^{\circ}\text{C}$ e a da barra, 80,0 $^{\circ}\text{C}$. Considere o calor específico da água igual a 1,00 cal/g $^{\circ}\text{C}$, o do metal igual a 0,200 cal/g $^{\circ}\text{C}$ e despreze a capacidade térmica do recipiente. Com base nesse dados, é correto afirmar que:

- 01) A temperatura final de equilíbrio térmico é de 52,5 $^{\circ}\text{C}$.
- 02) O comprimento da barra permanece constante durante o processo de troca de calor.
- 04) A temperatura inicial da barra, na escala Kelvin, é de 353 K.
- 08) A quantidade de calor recebida pela água é igual à cedida pela barra.
- 16) A energia interna final da água, no equilíbrio térmico, é menor que sua energia interna inicial.

Resposta: 12

317 (FAMECA-SP) Um corpo de massa $m = 2 \text{ kg}$ é abandonado, a partir do repouso, de um ponto A sobre um plano inclinado e chega ao ponto B com velocidade de 8 m/s. Considere a aceleração da gravidade $g = 10 \text{ m/s}^2$ e o equivalente mecânico do calor $J = 4 \cdot 10^3 \text{ J/cal}$.



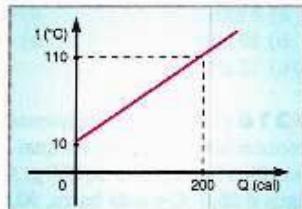
Pode-se afirmar que a quantidade de calor dissipada pelas forças resistentes no trajeto AB é um valor mais próximo de:

- a) 24 cal d) 12 cal
- b) 15 cal e) 0 cal
- c) 8,6 cal

- 318 (UFU-MG)** Assinale a alternativa correta.
- O calor específico de um corpo independe de como é fornecido calor a ele, se for mantido o volume constante ou se for mantida a pressão constante.
 - Dois corpos de mesma massa e à mesma temperatura têm a mesma quantidade de calor.
 - Nos dias de temperatura alta, o asfalto das ruas é mais quente que as partes cobertas com cimento e areia porque o calor específico do asfalto é maior que o calor específico do cimento e da areia.
 - Um corpo pode variar sua temperatura mesmo sem ganhar ou perder calor.
 - Quando um corpo quente aquece um corpo frio, suas temperaturas variam igualmente.

319 (UFSM-RS)

A figura mostra a temperatura t de um corpo de 10 g, em função do calor absorvido Q em um determinado processo. A capacidade térmica e o calor específico do corpo são, respectivamente:



- $2 \cdot 10^3 \text{ cal}/\text{°C}$ e $2 \cdot 10^3 \text{ cal/g} \text{ °C}$
- $2 \cdot 10^2 \text{ cal}/\text{°C}$ e $2 \cdot 10^1 \text{ cal/g} \text{ °C}$
- $2 \cdot 10^0 \text{ cal}/\text{°C}$ e $2 \cdot 10^{-1} \text{ cal/g} \text{ °C}$
- $2 \cdot 10^{-1} \text{ cal}/\text{°C}$ e $2 \cdot 10^{-2} \text{ cal/g} \text{ °C}$
- $2 \cdot 10^{-2} \text{ cal}/\text{°C}$ e $2 \cdot 10^{-3} \text{ cal/g} \text{ °C}$

- 320 (PUC-RS)** Um corpo de 500 g liberou 2 500 cal quando sua temperatura variou de 80 °C para 30 °C. A capacidade térmica desse corpo é:

- $5 \text{ cal}/\text{°C}$
- $25 \text{ cal}/\text{°C}$
- $50 \text{ cal}/\text{°C}$
- $80 \text{ cal}/\text{°C}$
- $250 \text{ cal}/\text{°C}$

- 321 (UCPR)** No interior de um calorímetro adiabático contendo 500 g de água a 20 °C, são colocados 100 g de chumbo a 200 °C. O calor específico da água é 1 cal/g °C e o do chumbo é 0,031 cal/g °C. A temperatura final de equilíbrio é aproximadamente:

- 31 °C
- 28,4 °C
- 25,3 °C
- 23,5 °C
- 21,1 °C

- 322 (PUC-PR)** Um bloco de gelo, inicialmente a -10 °C, tem massa de 500 g. Qual a quantidade de calor necessária para transformá-lo em igual quantidade de água, a 20 °C?

Dados: $c_{\text{gel}} = 0,5 \text{ cal/g} \text{ °C}$, $c_{\text{água}} = 1,0 \text{ cal/g} \text{ °C}$, $L_f = 80 \text{ cal/g}$.

- 0,05 kcal
- 0,52 kcal
- 5,25 kcal
- 525 kcal
- 52,5 kcal

- 323 (Cesgranrio-RJ)** Que quantidade de calor deve-se retirar de 1,00 kg de água inicialmente a 20 °C, para transformá-la totalmente em gelo a 0 °C?

$$(L_{\text{fusão}} = 80 \text{ cal/g})$$

- 20 kcal
- 40 kcal
- 60 kcal
- 80 kcal
- 100 kcal

- 324 (UFES)** 100 gramas de gelo a 0 °C absorvem calor na taxa de 800 calorias por segundo. Qual o tempo mínimo necessário para fundir todo o gelo?

$$\text{Dado: } L_f = 80 \text{ cal/g.}$$

- meia hora
- 10 segundos
- uma hora
- 100 segundos
- 10 minutos

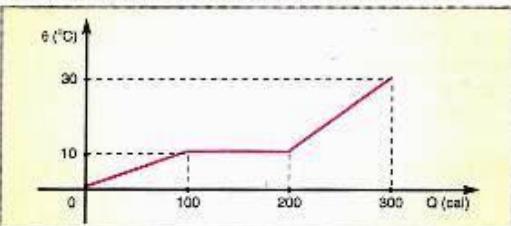
- 325 (UFBA)** Um litro de água a 25,0 °C é colocado num congelador, obtendo-se, após certo tempo, gelo a -10 °C. Considere $L_f = 80 \text{ cal/g}$, $c_{\text{água}} = 1 \text{ cal/g} \text{ °C}$ e $c_{\text{gelo}} = 0,50 \text{ cal/g} \text{ °C}$. A quantidade de calor extraído da água é igual a, aproximadamente:

- $1,50 \cdot 10^4 \text{ cal}$
- $2,50 \cdot 10^4 \text{ cal}$
- $3,50 \cdot 10^4 \text{ cal}$
- $1,05 \cdot 10^5 \text{ cal}$
- $1,10 \cdot 10^5 \text{ cal}$

- 326 (FAFI-MG)** Mistura-se 1 000 g de gelo a 0 °C e 1 500 g de água a 80 °C. Considerando-se o calor específico da água igual a 1 cal/g °C e o calor de fusão do gelo igual a 80 cal/g e estando o sistema isolado termicamente, o valor obtido para a temperatura de equilíbrio térmico foi:

- 26 °C
- 16 °C
- 8 °C
- 4 °C
- 0 °C

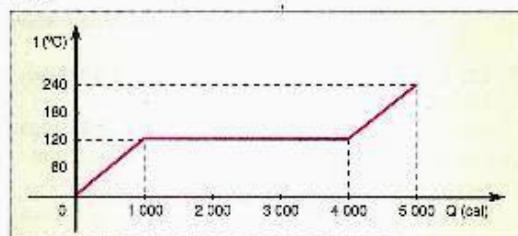
- 327 (ESAL-MG)** O gráfico representa a temperatura θ de uma substância de massa 20 g, inicialmente sólida, em função da quantidade de calor recebido Q . Podemos afirmar que a capacidade térmica no estado sólido, o calor latente de fusão e o calor específico no estado líquido dessa substância valem, respectivamente:



- 5 cal/°C; 10 cal; 0,5 cal/g °C
- 10 cal/°C; 5 cal/g; 1 cal/g °C
- 4 cal/°C; 2 cal/g; 5 cal/g °C
- 5 cal/°C; 0,5 cal/g; 10 cal/g °C
- 10 cal/°C; 5 cal/g; 0,25 cal/g °C

- 328 (UFMS)** O gráfico a seguir representa a temperatura de uma substância em função da quantidade de calor por ela absorvida. Considere que a massa da subs-

tância seja igual a 25 g e que ela esteja na fase líquida a 0 °C.



É correto afirmar: Resposta: 24

- 01) A temperatura de ebulição da substância é de 240 °C.
- 02) O calor específico do líquido é de 0,1 cal/(g · °C).
- 04) O calor latente de vaporização do líquido é de 40 cal/g.
- 08) Após a substância absorver 2 000 cal, coexistirão as fases líquida e de vapor.
- 16) Se a substância estiver a 210 °C e ceder 1 000 cal, inicia-se o processo de liquefação (ou condensação).

329 (UEL-PR) Analise as afirmações abaixo.

- I) É possível que uma substância receba calor e não sofra variação de temperatura.
- II) Dois corpos, de massas diferentes, podem apresentar a mesma capacidade térmica.
- III) Dois corpos, *A* e *B*, de mesma massa, recebem igual quantidade de calor. Se, em consequência, *A* se aquece mais do que *B*, o calor específico de *A* é maior do que o de *B*.

É correto afirmar que somente:

- a) I é correta
- b) II é correta
- c) III é correta
- x) I e II são corretas
- x) II e III são corretas

330 (Fac. Fed. Odont. Diamantina-MG) O calor pode ser transferido de um corpo a outro por condução, convecção e irradiação. A alternativa que não tem relação com a transferência de calor por *irradiação* é:

- a) as paredes de vidro de uma garrafa térmica são espelhadas
- b) bombons e chocolates são embrulhados em papel de alumínio
- c) é mais agradável usar roupas brancas em dias ensolarados
- d) uma pessoa sente "uma onda de calor" quando está de frente a uma lareira
- x) e) o congelador deve ficar na parte superior das geladeiras

331 (Mack-SP) Uma pessoa que se encontra perto de uma fogueira recebe calor principalmente por:

- a) convecção do dióxido de carbono
- b) convecção do monóxido de carbono
- c) convecção do ar
- d) condução
- x) e) irradiação

332 (UMC-SP) Na região litorânea a areia da praia aquece mais rápido que a água do mar durante o dia. À noite a areia esfria mais rápido que a água do mar. Isso ocorre porque o calor específico da água é maior que o da areia. Com base nesses dados podemos explicar a existência da brisa:

- a) do mar para a praia à noite
- b) da praia para o mar durante o dia
- x) c) do mar para a praia durante o dia
- d) da praia para o mar sempre
- e) do mar para a praia sempre

333 (Unitau-SP) Analise os três fenômenos que se seguem e associe, na mesma ordem, o tipo de transferência de calor que, principalmente, neles ocorre.

- I) Na parte de cima de um círculo, o ar é mais quente que na parte de baixo.
- II) Quando segurarmos uma colher de metal imersa em uma xícara de chá quente, sentimos calor na mão.
- III) Ao ficarmos expostos ao sol por algum tempo, sofremos queimaduras na pele.
- a) convecção, radiação, condução
- x) b) convecção, condução, radiação
- c) condução, convecção, radiação
- d) condução, radiação, convecção
- e) radiação, condução, convecção

334 (FAFI-MG) Os alimentos são muitas vezes envolvidos em papel de alumínio para depois serem consumidos. No entanto, é incorreto afirmar que:

- a) Ao ser colocado no freezer, a parte menos brillante do papel deve ficar em contato com o alimento.
- b) Ao ser colocado no forno a gás, a parte mais brillante do papel deve ficar em contato com o alimento.
- c) No forno de microondas deve-se retirar o papel alumínio.
- x) d) Tanto no freezer, quanto no microondas, não importa qual a face do papel ficará em contato com o alimento.

335 (UFPel-RS) O gaúcho adora um churrasco bem assado. Para isso, precisa de um bom braseiro e de uma carne gorda. Levando em conta o que está escrito acima, podemos afirmar:

- I) O calor do braseiro chega até a carne, principalmente por _____.
- II) O calor propaga-se através da carne por _____. Marque a alternativa que completa corretamente, e na ordem apresentada, as lacunas das afirmativas acima.
- a) condução; convecção
- b) irradiação; convecção
- c) condução; irradiação
- x) d) irradiação; condução
- e) convecção; condução

336 (FAFI-MG) Alguns utensílios de aço inoxidável usados para cozinhar possuem uma camada de co-

bre ou alumínio na parte inferior. Isso porque o cobre e o alumínio;

- X a) são melhores condutores de calor do que o aço inoxidável
b) são melhores isolantes térmicos
c) possuem maior coeficiente de dilatação
d) possuem menor coeficiente de dilatação

337 (Uninibe-MG) Acendendo-se uma churrasqueira, observa-se que a fumaça é liberada através da chaminé para que não incomode o churrasqueiro. Isso se deve:

- a) a um regime estacionário de condução de calor
X b) ao fato de o ar frio empurrar o ar quente, através do fenômeno de convecção
c) ao fato de a chaminé ser boa condutora de calor
d) às temperaturas diferentes entre o ar e a chaminé que tendem a se equilibrar
e) à radiação de calor que a chaminé produz

338 (UFSC) Assinale a(s) proposição(ões) verdadeira(s).

- 01) Um halde de isopor mantém a cerveja gelada porque impede a saída do frio.
02) A temperatura de uma escova de dentes é maior que a temperatura da água da pia; mergulhando-se a escova na água, ocorrerá uma transferência de calor da escova para a água.
04) Se tivermos a sensação de frio ao tocar um objeto com a mão, isto significa que esse objeto está a uma temperatura inferior à nossa.
08) Um copo de refrigerante gelado, pousado sobre uma mesa, num típico dia de verão, recebe calor do meio ambiente até ser atingido o equilíbrio térmico.
16) O agasalho, que usamos em dias frios para nos termarmos aquecidos, é um bom condutor de calor.
32) Os esquimós, para se proteger do frio intenso, costumam abrigos de gelo porque o gelo é um isolante térmico.

Resposta: 46

339 (UFG-GO) Ufai mas que calor.

Desde os primórdios dos tempos o homem procura entender os fenômenos relacionados à temperatura e ao calor. Na busca deste entendimento originou-se a Termologia, segundo a qual é correto afirmar que:

- 01) O vácuo existente entre as paredes de uma garrafa térmica evita a perda de calor por radiação.
02) Sendo o calor latente de fusão do gelo 80 cal/g, isto significa que devemos fornecer 80 calorias para derreter cada grama de um pedaço de gelo que esteja a 0 °C.
04) A água ferve a uma temperatura maior no topo do monte Everest do que em Goiânia.
08) Se diminuirmos o volume de um gás isotermicamente, este sofrerá uma queda na sua pressão.
16) Uma lata de refrigerante aparenta estar mais gelada que uma garrafa que esteja à mesma temperatura, devido à lata roubar calor de nossa mão mais rapidamente, ou seja, a lata possui um coeficiente de condutibilidade térmica maior que o vidro.

Resposta: 18

340 (Med. Taubaté-SP)

- I) Em uma transformação isobárica não varia a pressão.
II) Em uma transformação adiabática não varia o volume.
III) Em uma transformação isocórica não varia a temperatura.
- Com relação às três afirmativas acima, podemos dizer que:
- X a) Só I é verdadeira. c) I e II são verdadeiras.
b) Só II é verdadeira. e) Todas são falsas.
c) Só III é verdadeira.

341 (UECE) Acerca do comportamento de uma determinada amostra de gás ideal são feitas as seguintes afirmações:

- I) Sob pressão constante, o volume é diretamente proporcional à temperatura absoluta.
II) O volume é diretamente proporcional à pressão, se a temperatura se mantém constante.
III) A volume constante, a pressão é inversamente proporcional à temperatura absoluta.
- X a) Apenas I é correta. d) I, II e III são corretas.
b) Apenas II é correta. e) I, II e III são falsas.
c) Apenas III é correta.

342 (UCBA) Uma amostra de gás está armazenada em um recipiente fechado e rígido. A pressão da amostra é de 5,0 atm a uma temperatura de 0 °C. Qual será, aproximadamente, a pressão da amostra quando sua temperatura chegar a 137 °C.

- a) 5,0 atm c) 100 atm e) 685 atm
X b) 7,5 atm d) 352 atm

343 (Unimep-SP) Quinze litros de uma determinada massa gasosa encontram-se a uma pressão de 8 atm e à temperatura de 30 °C. Ao sofrer uma expansão isotérmica, seu volume passa para 20 L. Qual será a nova pressão?

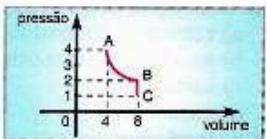
- a) 10 atm d) 5 atm
X b) 6 atm e) É impossível determinar.
c) 8 atm

344 (UFSC) Um gás, nas CNTP, encontra-se num recipiente fechado por uma rolha. A rolha suporta uma pressão interna de até 2 atm antes de saltar. O valor máximo de temperatura que o gás pode atingir antes de a rolha saltar é:

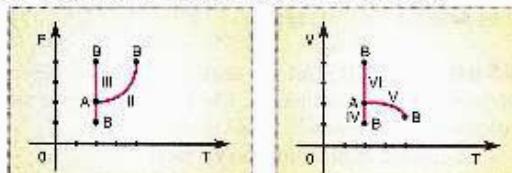
- X a) 273 °C c) 273 K e) 136,5 °C
b) 546 °C d) 136,5 K

345 (PUC-SP) Uma certa massa de gás sofre transformações de acordo com o gráfico. Sendo a temperatura em A de 1 000 K, as temperaturas em B e C valem, em Kelvin, respectivamente:

- a) 500 e 250
b) 750 e 500
c) 750 e 250
d) 1 000 e 750
X e) 1 000 e 500



346 (Fuvest-SP) Uma certa massa de gás ideal sofre uma compressão isotérmica muito lenta passando de um estado A para um estado B. As figuras representam diagramas TP e TV, sendo T a temperatura absoluta, V o volume e P a pressão do gás:



Nesses diagramas, a transformação descrita acima só pode corresponder às curvas:

- a) I e IV c) III e IV e) III e VI
b) II e V d) I e VI

347 (UFAL) Na tabela abaixo, I, II e III representam estados de uma mesma amostra de um gás perfeito.

	Pressão (atm)	Volume (L)	Temperatura (K)
I	1,0	3,0	300
II	1,5	3,0	x
III	2,0	y	600

Para completar corretamente a tabela, x e y devem ser substituídos, respectivamente, por:

- a) 300 e 2,0 c) 450 e 3,0 e) 600 e 4,5
b) 300 e 3,0 d) 450 e 4,5

348 (UFJF-MG) Após fechar a porta de um *freezer*, a dona de casa observa que se torna difícil abrir a porta imediatamente, devendo esperar algum tempo para isso. Se a pressão e a temperatura do ambiente são, respectivamente, 1 atm e 30 °C e a temperatura no interior do *freezer* é -20 °C, essa dificuldade acontece porque:

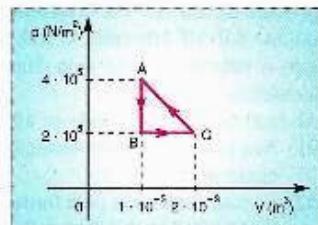
- a) A pressão externa é aproximadamente 0,2 atm maior que a pressão interna (de dentro do *freezer*).
b) A pressão interna é aproximadamente 0,2 atm maior que a pressão externa.
c) A pressão externa é aproximadamente 0,8 atm maior que a pressão interna.
d) A pressão interna é aproximadamente 0,8 atm maior que a pressão externa.
e) A diferença de pressão entre o exterior e o interior do *freezer* é de 0,66 atm.

349 (FAM-SP) Se a energia cinética média das moléculas de um gás aumentar e o volume permanecer constante:

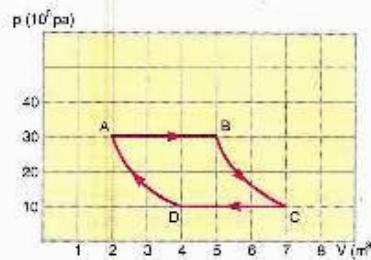
- a) a pressão do gás aumentará e a sua temperatura permanecerá constante
b) a pressão permanecerá constante e a temperatura aumentará
 c) a pressão e a temperatura aumentarão
d) a pressão diminuirá e a temperatura aumentará
e) a temperatura diminuirá e a pressão permanecerá constante

350 (UEL-PR) A figura abaixo representa uma transformação cíclica de um gás ideal. O módulo do trabalho realizado nos trechos AB, BC e CA, em joules, é respectivamente, de:

- a) 200, 100, 0
b) 100, 100, 100
c) 0, 300, 100
 d) 0, 200, 300
e) 100, 200, 300



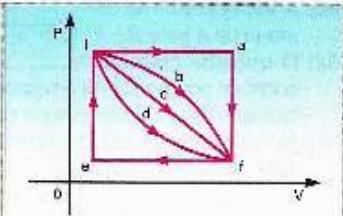
351 (ITA-SP) O gráfico a seguir representa um ciclo de um sistema termodinâmico hipotético, num diagrama pressão × volume. O trabalho produzido por esse gás nesse ciclo é de aproximadamente:



- a) $6,0 \cdot 10^3$ J d) $9,0 \cdot 10^3$ J
b) $9,0 \cdot 10^3$ J e) $6,0 \cdot 10^3$ J
c) $3,0 \cdot 10^3$ J

352 (UFSM-RS) Na figura estão representados processos nos quais um sistema termodinâmico passa do estado inicial i ao estado final f. O trabalho realizado pelo sistema é máximo no processo:

- a) if a) idf
b) ibf e) ifef
c) icf



353 (UECE) Nas transformações isotérmicas dos gases perfeitos, é incorreto afirmar que:

- a) Não há variação de temperatura.
b) A variação da energia interna do gás é nula.
 c) Não ocorre troca de calor entre o gás e o ambiente.
d) O calor trocado pelo gás com o exterior é igual ao trabalho realizado no mesmo processo.

354 (UFRN) Um sistema termodinâmico realiza um trabalho de 40 kcal quando recebe 30 kcal de calor. Nesse processo, a variação de energia interna desse sistema é de:

- a) -10 kcal d) 20 kcal
b) zero e) 35 kcal
c) 10 kcal

355 (UFMS) Um cilindro, fechado por um êmbolo, encerra o volume de $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$ de um gás ideal à pressão de $2,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$. O sistema recebe de uma fonte quente $5,0 \cdot 10^3 \text{ J}$ de calor. O êmbolo desloca-se de modo que o volume do gás seja duplicado num processo isobárico. **Resposta: 12**

Ao final do processo, pode-se afirmar corretamente:

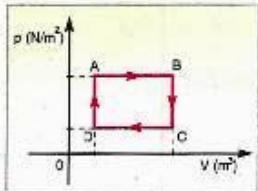
- 01) Não houve qualquer variação da energia interna do sistema.
- 02) O calor fornecido pela fonte quente foi totalmente armazenado sob a forma de energia interna do sistema.
- 04) O trabalho realizado pelo sistema sobre o meio foi de $2,0 \cdot 10^3 \text{ J}$.
- 08) O aumento da energia interna do sistema foi de $3,0 \cdot 10^3 \text{ J}$.
- 16) O calor fornecido pela fonte quente foi totalmente transformado em trabalho realizado pelo sistema sobre o meio.

356 (UFG-GO) As máquinas térmicas são dispositivos que operam sempre em ciclo, isto é, retornam periodicamente às condições iniciais. Uma maneira de estudá-las é através das transformações que ocorrem dentro desses ciclos, em um gráfico do comportamento da pressão do gás utilizado nessa máquina térmica em função do volume por ele ocupado.

O gráfico a seguir representa um ciclo realizado por um sistema gasoso.

Observando-o atentamente, pode-se afirmar que:

- 01) O sistema realiza trabalho de A para B.
- 02) A energia interna diminui de A para B.
- 04) O trabalho realizado entre os pontos C e D é negativo e, neste caso, o trabalho foi realizado sobre o sistema.
- 08) No ciclo completo não há variação da energia interna, e o trabalho total realizado é igual a zero.
- 16) O sistema libera calor entre B e C e absorve calor entre D e A. **Resposta: 21**



357 (PUC-RS) Um sistema recebe 300 cal de uma fonte térmica, ao mesmo tempo em que realiza um trabalho de 854 J. Sabendo-se que 1 cal é igual a 4,18 J, pode-se afirmar que a energia interna do sistema aumenta:

- a) 300 J c) 554 J e) 1 254 J
 X b) 400 J d) 1 154 J

358 (PUC-SP) Um gás perfeito realiza um ciclo de Carnot. A temperatura da fonte fria é de 127°C e a da fonte quente é de 427°C . O rendimento do ciclo é:

- a) 3,4% b) 70% X c) 43% d) 57% e) 7%

359 (ESAL-MG) Uma máquina térmica ideal funciona segundo o ciclo de Carnot. Em cada ciclo, o tra-

lho útil fornecido pela máquina é de 2 000 J. Sabendo que as temperaturas das fontes quente e fria são, respectivamente, 127°C e 27°C podemos dizer que a quantidade de calor rejeitada para a fonte fria é:

- X a) $6 \cdot 10^3 \text{ J}$ c) $7 \cdot 10^3 \text{ J}$ e) $5 \cdot 10^3 \text{ J}$
 b) $4 \cdot 10^3 \text{ J}$ d) zero

360 (UFU-MG) Um gás está confinado em um cilindro provido de um pistão. Ele é aquecido, mas seu volume não é alterado. É possível afirmar que:

- a) A energia interna do gás não varia.
 X b) O trabalho realizado nesta transformação é nulo.
 c) O pistão sobe durante o aquecimento.
 d) A força que o gás exerce sobre o pistão permanece constante.
 e) A energia cinética média das partículas do gás diminui.

361 (UFRN) As seguintes afirmativas se referem a um gás ideal.

- I) Sempre que o gás recebe calor, sua temperatura aumenta.
- II) Se o gás recebe calor e sua energia interna não varia, então seu volume aumenta.
- III) Se o gás sofre uma transformação isotérmica, tem-se $T = Q$ (T = temperatura e Q = calor).
- IV) Se o gás sofre uma expansão adiabática, a pressão e a temperatura diminuem.

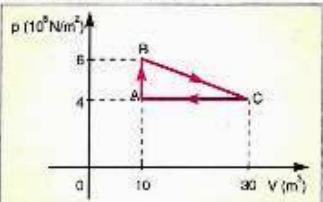
A letra que contém as afirmativas corretas é:

- a) I e II c) I e III e) III e IV
 X b) II e III d) II e IV

362 (UFBA) Uma certa massa de gás ideal sofre a transformação ciclica reversível ABCA, conforme o diagrama de pressão × volume apresentado abaixo.

Nessas condições, é correto afirmar:

- 01) Ao passar do estado A para o estado B, há um acréscimo na temperatura do gás.
- 02) Ao passar do estado B para o estado C, a temperatura da massa gasosa se mantém constante.
- 04) Ao passar do estado C para o estado A, a variação da energia interna do gás é igual a zero.
- 08) No ciclo, a quantidade de calor trocada com o meio externo vale $2 \cdot 10^6 \text{ J}$.
- 16) O trabalho realizado na expansão BC vale $2 \cdot 10^7 \text{ J}$.
- 32) Na etapa AB, há uma equivalência entre a variação da energia interna do gás e a quantidade de calor trocada com o meio externo. **Resposta: 43**



363 (UFPR) Considere um gás ideal sendo submetido a diversos processos termodinâmicos a partir de um mesmo estado inicial. Sobre essa situação, é correto afirmar: **Resposta: 27**

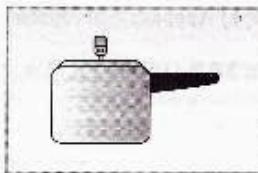
- 01) A temperatura atingida pelo gás no estado final não depende do processo escolhido.
 02) Se o processo for isotérmico, a energia interna do gás permanecerá constante.
 04) Se o processo for adiabático, o gás trocará calor com o meio externo.
 08) Se o processo for isovolumétrico (isocórico), o trabalho realizado pelo gás será nulo.
 16) Se o processo for uma expansão isotérmica, haverá uma diminuição da pressão do gás.
 32) Se o volume for diminuído, num processo isobárico, haverá aumento da temperatura do gás.

364 (UFRN) José brincava com uma bomba manual de encher bola de futebol. Mantendo o orifício de saída de ar tampado com seu dedo, ele comprimiu rapidamente o embolo da bomba e observou que o ar dentro da bomba era aquecido.

- A explicação para esse fenômeno é:
- x a) Devido à rapidez da compressão, não há tempo para troca de calor entre o ar dentro da bomba e o meio externo; assim, o trabalho realizado sobre o ar dentro da bomba aumenta a sua energia interna.
 b) A rapidez da compressão favorece a troca de calor entre o ar dentro da bomba e o meio externo; assim, o trabalho realizado sobre o ar dentro da bomba diminui a sua energia interna.
 c) Em qualquer compressão de um gás, a temperatura do gás sempre aumenta.
 d) Em qualquer transformação isovolumétrica, o trabalho realizado pelo gás é nulo.

365 (FURRN) A figura abaixo representa uma panela de pressão. Relacionando-a com a primeira lei da Termodinâmica, $Q = \tau + \Delta U$, o deslocamento para cima da válvula de segurança, quando da saída do vapor, corresponde à grandeza:

- a) calor
 x b) trabalho
 c) variação de energia interna
 d) temperatura interna
 e) energia cinética



Os testes de 366 a 431 referem-se à unidade VIII deste volume.

366 (Metodista-SP) Um observador *A*, visando um espelho, vê um segundo observador *B*. Se *B* visar o mesmo espelho, ele verá o observador *A*. Esse fato se explica pelo:

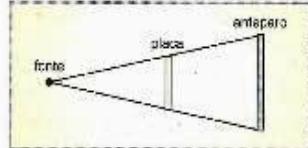
- a) princípio da propagação retílinea da luz
 b) princípio da independência dos raios de luz
 x c) princípio da reversibilidade dos raios de luz
 d) absorção da luz na superfície do espelho
 e) princípio da propagação curvilínea da luz

367 (UFAL) Os eclipses da Lua ocorrem sempre:

x a) que a Lua, ou parte dela, está na sombra da Terra
 b) que a Terra, ou parte dela, está na sombra da Lua
 c) que a Lua está entre o Sol e a Terra
 d) de madrugada
 e) durante o dia

368 (UEPG-PR) Entre uma fonte puntiforme e um anteparo coloca-se uma placa quadrada de lado 30 cm, paralela ao anteparo. A fonte e o centro da placa estão numa mesma reta perpendicular ao anteparo. Estando a placa a 1,5 m da fonte e a 3,0 m do anteparo, a área da sombra projetada é:

- a) 81 m^2
 b) $0,81 \text{ dm}^2$
 c) $0,81 \text{ cm}^2$
 x d) 8100 cm^2
 e) $8,1 \text{ dm}^2$



369 (UEL-PR) Um anteparo opaco, onde existe um pequeno orifício, é interposto entre o Sol e uma tela. Estando o anteparo a 2,0 m da tela, obtém-se nesta última uma imagem circular nítida do Sol, de diâmetro igual a 4,0 mm. Supondo que a distância entre a Terra e o Sol seja de $1,5 \cdot 10^{11}$ m, o diâmetro do Sol, medido nestas condições, é igual a:

- a) $1,0 \cdot 10^5 \text{ km}$ x c) $3,0 \cdot 10^6 \text{ km}$ e) $1,5 \cdot 10^6 \text{ km}$
 b) $1,5 \cdot 10^5 \text{ km}$ d) $1,0 \cdot 10^6 \text{ km}$

370 (FESP-PE) Um edifício projeta no solo uma sombra de 40 m. No mesmo instante, um observador toma uma haste vertical de 20 cm e nota que sua sombra mede 0,80 m. A altura do edifício é de:

- a) 4,0 m x c) 10 m e) 40 m
 b) 8,0 m d) 20 m

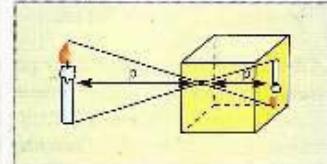
371 (PUC-RJ) Uma câmara escura tem 20 cm de profundidade. A que distância do orifício (da câmara) uma pessoa de 1,70 m deve permanecer para que sua imagem projetada seja da ordem de 10 cm?

- a) 1,0 m c) 2,0 m e) 4,2 m
 b) 1,7 m x d) 3,4 m

372 (FAFEOD-MG) A figura abaixo representa, esquematicamente, uma câmara escura fornecendo uma imagem de um objeto colocado diante dela.

Sabendo-se que a distância do objeto ao orifício de entrada da câmara vale $p = 3,00 \text{ m}$ e que a distância do orifício à parede posterior da câmara vale $p' = 40 \text{ cm}$ e que a altura do objeto é 15 cm, a altura da imagem será de:

- a) 3,0 cm d) 6,0 cm
 x b) 2,0 cm e) 3,5 cm
 c) 4,0 cm



373 (UFGO) Dadas as seguintes proposições:

- I) Nos meios transparentes, translúcidos e opacos, a luz se propaga em linha reta.
- II) Na reflexão, o raio incidente, a normal e o raio refletido estão contíguos num mesmo plano, e o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência.
- III) Cada raio de luz se propaga em um meio, independentemente de qualquer outro raio.

Podemos afirmar que:

- a) Apenas II e III estão corretas.
- b) Apenas I e II estão corretas.
- c) Apenas I está correta.
- d) Apenas II está correta.
- e) Apenas III está correta.

374 (UECE) Um raio luminoso reflete-se num espelho plano. O ângulo entre os raios incidente e refletido mede 35° . O ângulo de incidência mede:

- a) $20,5^\circ$
- b) $17,5^\circ$
- c) 35°
- d) 70°

375 (PUC-SP) Um objeto está a 20 cm de um espelho plano. Um observador, que se encontra diretamente atrás do objeto e a 50 cm do espelho, vê a imagem do objeto distante de si a:

- a) 40 cm
- c) 90 cm
- e) 140 cm
- b) 70 cm
- d) 100 cm

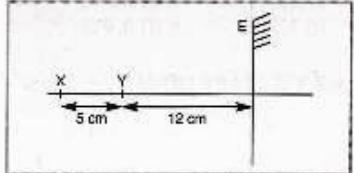
376 (PUC-PR) Um objeto está situado a 50 cm de um espelho plano. Se o espelho for afastado 1 m da posição original, em uma direção normal ao seu plano, que distância separará a antiga da nova imagem?

- a) 200 cm
- c) 100 cm
- e) 300 cm
- b) 150 cm
- d) 60 cm

377 (UFSM-RS) Estando à frente de um espelho plano e usando uma camiseta na qual está escrita a sigla UFSM, como é que se vê a imagem no espelho?

- a) UFSM
- c) MSU
- e) MSFU
- b) UFSM
- d) MFSU

378 (Unibe-MG) Dois objetos são colocados na frente de um espelho plano conforme mostra a figura. A distância do objeto X à imagem obtida do objeto Y é de:



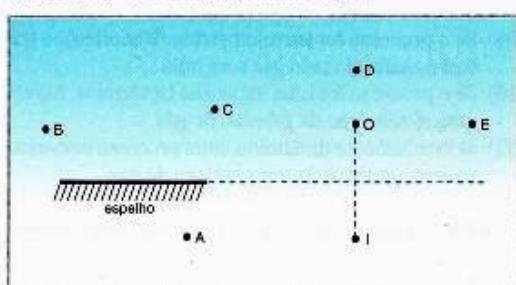
- a) 17 cm
- c) 29 cm
- e) 39 cm
- b) 24 cm
- d) 34 cm

379 (UFAL) Um espelho plano está no piso horizontal de uma sala com o lado espelhado voltado para cima. O teto da sala está a 2,40 m de altura e uma lâmpada está a 80 cm do teto. Com esses dados pode-se concluir que a distância entre a lâmpada e sua imagem formada pelo espelho plano é, em metros, igual a:

- a) 1,20
- c) 2,40
- e) 4,80
- b) 1,60
- d) 3,20

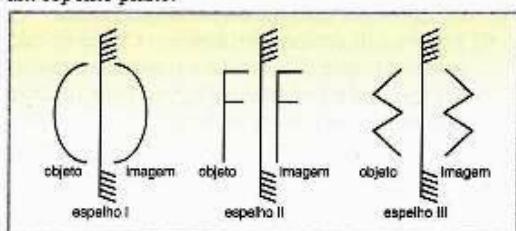
380 (Vunesp-SP) A figura representa um espelho plano, um objeto, O , sua imagem, I , e cinco observadores em posições distintas, A , B , C , D e E .

Entre as posições indicadas, a única da qual o observador poderá ver a imagem I é a posição:



- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) E

381 (UFV-MG) As figuras abaixo pretendem representar objetos e suas respectivas imagens, reflectidas em um espelho plano.



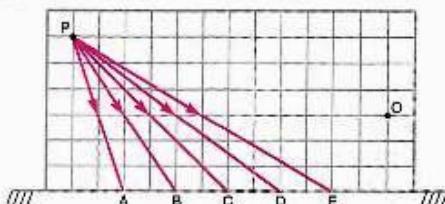
Em relação às figuras, assinale a opção correta.

- a) Apenas I representa situação real.
- b) Apenas I e II representam situações reais.
- c) Apenas II e III representam situações reais.
- d) I, II e III representam situações reais.
- e) Apenas I e III representam situações reais.

382 (UEPG-PR) Um motorista está com seu carro estacionado quando vê, pelo espelho retrovisor, um caminhão do corpo de bombeiros se aproximando. Sabendo-se que a velocidade do caminhão é 80 km/h, a velocidade com que a imagem dele se aproxima do espelho é:

- a) 160 km/h
- c) 40 km/h
- e) 100 km/h
- b) 80 km/h
- d) 120 km/h

383 (UEL-PR) Um observador O observa a imagem de um objeto P refletida num espelho plano horizontal. A figura mostra um feixe de raios luminosos que partem de P .

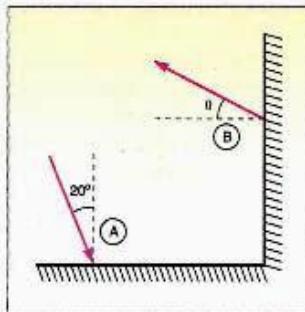


O raio que atinge o observador O é:

- a) PBO c) PCO e) PAO
 X b) PDO d) PBO

384 (PUC-RJ) A figura abaixo representa um raio luminoso incidindo sobre um espelho plano A e, em seguida, refletido pelo espelho plano B . O ângulo θ que a direção do raio refletido faz com a direção perpendicularly ao espelho B é:

- a) 0°
 b) 90°
 c) 20°
 d) 65°
 X e) 70°



385 (PUC-SP) Dois espelhos planos são colocados juntos, de modo que o ângulo entre suas superfícies refletoras seja de 45° . Um objeto é colocado entre as superfícies refletoras. O número de imagens do objeto é:

- a) 1 b) 2 c) 4 d) 5 X e) 7

386 (Mogi-SP) Dois espelhos planos têm uma de suas arestas coincidentes de tal modo que eles são perpendiculares ao plano horizontal. De um objeto colocado entre os dois espelhos formam-se 17 imagens. Temos, então, que o ângulo dos dois espelhos poderia ser igual a:

- a) 12° b) 40° X c) 20° d) 60° e) 90°

387 (Unirio-RJ) Durante a final da Copa do Mundo, um cinegrafista, desejando alguns efeitos especiais, gravou cena em um estúdio completamente escuro, onde existia uma bandeira da "Azurra" (azul e branca) que foi iluminada por um feixe de luz amarela monocromática. Quando a cena foi exibida ao público, a bandeira apareceu:

- a) verde e branca X d) preta e amarela
 b) verde e amarela e) azul e branca
 c) preta e branca

388 (UFMG) Um laboratório fotográfico usa luz monocromática vermelha para revelação e cópia de filmes. Um objeto que, sob luz branca, se apresenta na cor verde pura, dentro desse laboratório será visto na cor:

- a) branca c) verde e) violeta
 X b) preta d) vermelha

389 (FAFI-MG) Um objeto está situado sobre o centro de um espelho côncavo. Pode-se dizer que sua imagem é:

- a) real, maior e invertida
 X b) real, do mesmo tamanho do objeto e invertida
 c) real, menor que o objeto e invertida
 d) virtual, menor que o objeto e direita
 e) virtual, maior que o objeto e invertida

390 (Pucamp-SP) Um objeto real é colocado a $6,0\text{ cm}$ de um espelho côncavo, de raio de curvatura $9,0\text{ cm}$ e sobre o seu eixo principal. A imagem conjugada pelo espelho é:

- a) virtual, direita e menor que o objeto
 X b) real, invertida e maior que o objeto
 c) real, invertida e menor que o objeto
 d) real, direita e maior que o objeto
 e) real, direita e menor que o objeto

391 (UFES) A distância focal de um espelho convexo mede $5,0\text{ cm}$. Uma imagem virtual situada a 4 cm do vértice do espelho corresponde a um objeto:

- X a) real e situado a 20 cm do espelho
 b) virtual e situado a 15 cm do espelho
 c) virtual e situado a $6,66\text{ cm}$ do espelho
 d) real e situado a 4 cm do espelho
 e) virtual e situado a 4 cm do espelho

392 (ITA-SP) Um jovem estudante, para fazer a barba mais eficientemente, resolve comprar um espelho esférico que aumente duas vezes a imagem do seu rosto quando ele se coloca a 50 cm dele. Que tipo de espelho ele deve usar e qual o raio de curvatura?

- a)凸透镜, com $r = 50\text{ cm}$
 X b) 凹透镜, com $r = 200\text{ cm}$
 c) 凹透镜, com $r = 33,3\text{ cm}$
 d) 凸透镜, com $r = 67\text{ cm}$
 e) um espelho diferente dos mencionados

393 (UFPR) Deseja-se obter a imagem de uma lâmpada, ampliada cinco vezes, sobre uma parede situada a 12 cm de distância dessa lâmpada. Quais as características e a posição do espelho esférico que se pode utilizar?

- a)凸透镜, com 5 cm de raio, a 3 cm da lâmpada
 X b) 凹透镜, com 5 cm de raio, a 3 cm da lâmpada
 c) 凸透镜, com 24 cm de raio, a 2 cm da lâmpada
 d) 凹透镜, com 6 cm de raio, a 4 cm da lâmpada
 e) 凸透镜, com 6 cm de raio, a 4 cm da lâmpada

394 (FAFEOD-MG) Um aluno deseja obter uma imagem de um objeto, que seja virtual e maior que o objeto, usando um espelho esférico de distância focal igual a 30 cm . Para isso, ele poderá usar um espelho:

- a) 凹透镜 e colocar o objeto a 40 cm do espelho
 X b) 凹透镜 e colocar o objeto a 20 cm do espelho
 c) 凸透镜 e colocar o objeto em qualquer posição
 d) 凹透镜 ou 凸透镜 e colocar o objeto em qualquer posição
 e) 凹透镜 ou 凸透镜 e colocar o objeto a 40 cm do espelho

395 (UFES) A distância focal de um espelho convexo mede $5,0\text{ cm}$. Uma imagem virtual situada a 4 cm do vértice do espelho corresponde a um objeto:

- X a) real e situado a 20 cm do espelho
 b) virtual e situado a 15 cm do espelho
 c) virtual e situado a $6,66\text{ cm}$ do espelho
 d) real e situado a 4 cm do espelho
 e) virtual e situado a 4 cm do espelho

■ 396 (UFU-MG) A distância entre uma lâmpada e sua imagem projetada num anteparo por um espelho esférico é 30 cm. A imagem é 4 vezes maior que o objeto. Podemos afirmar que:

- a) o espelho é convexo
- b) a distância da lâmpada ao espelho é 40 cm
- c) a distância do espelho ao anteparo é de 10 cm
- d) a distância focal do espelho é 7 cm
- e) o raio de curvatura do espelho é 16 cm

■ 397 (USJT-SP) Um objeto real é colocado a 60 cm de um espelho esférico. Este produz uma imagem virtual a 30 cm do vértice. O raio de curvatura desse espelho mede:

- a) 20 cm
- c) 80 cm
- e) 120 cm
- b) 60 cm
- d) 40 cm

■ 398 (UFSM-RS) Com relação à natureza — real ou virtual — da imagem de um objeto, produzida por um espelho, pode(m) - se afirmar:

- I) No espelho côncavo, a imagem poderá ser real, dependendo da posição do objeto.
- II) No espelho convexo, a imagem será virtual, independentemente da posição do objeto.
- III) No espelho plano, a imagem poderá ser real, dependendo da posição do objeto.

Está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s):

- a) I apenas
- d) I e II apenas
- b) II apenas
- e) I, II e III
- c) III apenas

■ 399 (Unisinos-RS) Um motoqueiro, ao olhar pelo espelho retrovisor de sua moto, consegue um campo de visualização maior. O espelho retrovisor das motos é esférico, _____, fornecendo uma imagem _____ e _____ do que o tamanho do objeto.

As lacunas são corretamente preenchidas, respectivamente, por:

- a) côncavo; real; maior
- b) convexo; virtual; menor
- c) convexo; real; maior
- d) côncavo; virtual; menor
- e) plano; virtual; menor

■ 400 (UFPR) A respeito da reflexão por espelhos, é correto afirmar: **Resposta: 26**

- 01) Apenas nos espelhos planos os ângulos de incidência e de reflexão são iguais.
- 02) Num sistema composto por dois espelhos planos formando um ângulo de 90°, considerando que os raios incidente *I* e refletido *R* estejam no mesmo plano, *I* será paralelo a *R*.
- 04) Para um espelho plano, o raio refletido, a normal e o raio incidente estão situados em planos perpendiculares entre si.
- 08) Num espelho plano, se o objeto for real, a imagem será virtual.

- 16) Se um raio luminoso incidente (ou seu prolongamento) passar pelo centro de curvatura de um espelho esférico, ele se refletirá sobre si mesmo.
- 32) Para um espelho esférico, o tamanho da imagem é sempre maior que o tamanho do objeto.

■ 401 (Med.Taubaté-SP) O índice de refração absoluto de um meio é:

- a) diretamente proporcional à velocidade de propagação da luz em seu interior
- b) inversamente proporcional à velocidade de propagação da luz em seu interior
- c) diretamente proporcional ao ângulo de incidência da luz
- d) inversamente proporcional ao ângulo de incidência da luz
- e) n.d.a.

■ 402 (PUC-RS) Uma substância possui índice de refração absoluto igual a 1,25. Sendo a velocidade de propagação da luz no vácuo igual a $3,0 \cdot 10^8$ m/s, conclui-se que a velocidade de propagação da luz na referida substância é:

- a) $2,0 \cdot 10^8$ m/s
- b) $2,4 \cdot 10^8$ m/s
- c) $2,8 \cdot 10^8$ m/s
- d) $3,2 \cdot 10^8$ m/s
- e) $3,6 \cdot 10^8$ m/s

■ 403 (Unifor-CE) Considere as proposições:

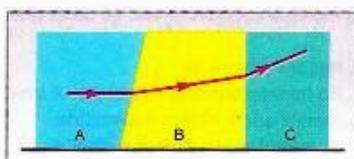
- I) No vácuo, todas as radiações eletromagnéticas se propagam com a mesma velocidade.
- II) O índice de refração absoluto de um meio é a relação entre as velocidades de propagação da luz no vácuo e no meio considerado.
- III) Um meio *X* é mais refringente que o *Y*, quando o índice de refração absoluto do meio *X* é maior que do meio *Y*.

Pode-se afirmar que:

- a) Apenas III é verdadeira.
- b) Apenas I e II são verdadeiras.
- c) Apenas I e III são verdadeiras.
- d) Apenas II e III são verdadeiras.
- e) I, II e III são verdadeiras.

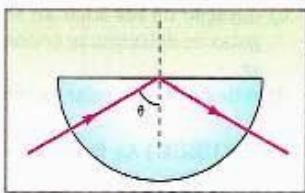
■ 404 (Cefet-PR) A figura mostra a trajetória de um raio luminoso que atravessa três meios transparentes de naturezas diferentes: *A*, *B* e *C*. Se o índice de refração do vidro é 1,5; o do acrílico, 1,4 e o da água é 1,3, os meios *A*, *B* e *C* são, respectivamente:

- a) vidro; acrílico; água
- b) água; acrílico; vidro
- c) vidro; água; acrílico
- d) acrílico; vidro; água
- e) água; vidro; acrílico

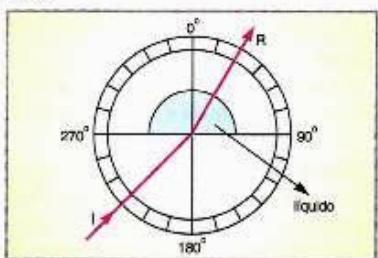


- 405 (UFSM-RS)** A figura mostra um raio de luz que, a partir do ar, incide perpendicularmente à superfície lateral curva de uma peça de vidro hemicilíndrica, sendo esse raio refletido internamente por sua superfície lateral plana. Observa-se que o raio passa a ser totalmente refletido quando $\theta = 45^\circ$. Considerando o índice de refração do ar igual a 1, pode-se concluir que o índice de refração n desse vidro é:

- X** a) $\sqrt{2}$
 b) $2\sqrt{2}$
 c) $\frac{\sqrt{2}}{2}$
 d) 2
 e) $\frac{3\sqrt{2}}{2}$



- 406 (FURRN)** Dispõe-se de uma cuba, semicircular, que contém um líquido transparente, imersa no ar ($n = 1$). Um raio de luz monocromática incidente (I) e o respectivo raio refratado (R) estão representados na figura a seguir.



Admita: $\sin 45^\circ = 0,70$; $\cos 45^\circ = 0,70$; $\sin 30^\circ = 0,50$
 e $\cos 30^\circ = 0,86$.

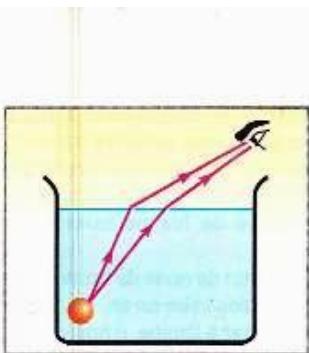
- O índice de refração absoluto do líquido vale:

- 407 (UECE)** Um peixe encontra-se a 100 cm da superfície da água, na mesma vertical que passa pelo olho do observador, como é mostrado na figura. O índice de refração da água é $\frac{4}{3}$.

Dado: $n_s = 1$. A imagem do peixe, conjugada pelo dioptrômetro água-ar e vista pelo

- a) real, situada na água, à profundidade de 75 cm
 b) virtual, situada no ar, 20 cm acima da superfície da água
 c) virtual, situada na água, à profundidade de 75 cm
 d) real, situada na água, à profundidade de $\frac{4}{3}$ m

- 408** (Cefet-BA) A figura mostra a trajetória de raios luminosos, que partem de um pequeno objeto colocado dentro da água, e atingem a retina de um observador.



A imagem vista pelo observador:

- a) é real e se forma abaixo do objeto
 - b) é virtual e se forma abaixo do objeto
 - c) é real e se forma acima do objeto
 - d) é virtual e se forma acima do objeto
 - e) se forma no infinito

- 409** (Uniube-MG) No fundo de uma piscina, encontram-se resquícios que devem ser removidos com um aspirador. O encarregado de limpeza observa o fundo da piscina a uma distância vertical de 1,2 m abaixo da superfície. Sendo $n_{\text{água}} = 1$ e $n_{\text{água}} = \frac{4}{3}$, a profundidade real dessa piscina é de:
 X a) 0,9 m c) 1,5 m e) 2,0 m
 b) 1,2 m d) 1,6 m

- 410 (FGV-SP)** Uma criança que olha por cima de um aquário é vista por um peixe. O peixe verá a cabeça da criança;

- X a) acima do local onde ela realmente se encontra
 - b) abaixo do local onde ela realmente se encontra
 - c) no local exato onde ela realmente se encontra
 - d) caso não haja interferência luminosa
 - e) maior que a verdadeira, devido à combinação da refração com a reflexão

- 412 (UEM-PR)** Um feixe de raios paralelos de uma luz monocromática penetra numa superfície livre de um material transparente, de índice de refração $\sqrt{2}$, conforme o esquema da figura, formando um ângulo de 45° com esta. Calcule a distância x que não será iluminada por esse feixe.

- a) $\frac{\sqrt{2}}{2}$ m X c) $\frac{5\sqrt{3}}{3}$ m e) 3 m
 b) 2.5 m d) 4 m

413 (UFMS) Um raio luminoso incide obliquamente numa lâmina, de faces paralelas com índice de refração 1,50, imersa no ar. Considere a velocidade da luz no ar igual a $3,0 \cdot 10^8$ m/s. É correto afirmar:

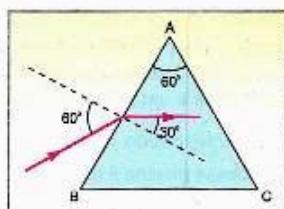
- 01) A velocidade da luz no interior da lâmina é $2,0 \cdot 10^8$ m/s.
- 02) O comprimento de onda da luz no interior da lâmina é igual ao seu valor no ar.
- 04) Após atravessar a lâmina, o raio emergente é paralelo ao raio incidente.
- 08) Ao penetrar na lâmina o raio é refratado, afastando-se da normal à superfície da lâmina que passa pelo ponto de incidência.
- 16) Se o raio incidisse perpendicularmente à superfície da lâmina, o raio emergente e o incidente estariam ao longo da mesma reta.

Resposta: 21

414 (Cescea-SP)

Um raio de luz monocromática penetra na face AB de um prisma, imerso no ar, conforme sugere a figura. O ângulo que o raio emergente faz com a normal à face AC e o ângulo entre os prolongamentos dos raios emergente e incidente (desvio) valem, respectivamente:

- a) 90° e 120° X c) 60° e 60° e) 30° e 90°
 b) 60° e 120° d) 30° e 60°



415 (UFMS) A luz amarela se propaga com velocidade de 300 000 km/s no vácuo, 225 000 km/s na água, 124 000 km/s no diamante, 200 000 km/s na gasolina. Com relação a esse fatos, é correto afirmar que:

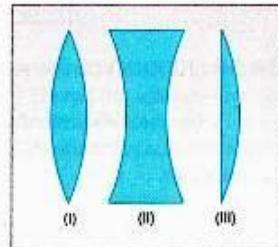
- 01) Sabendo-se as velocidades de propagação da luz amarela em dois meios quaisquer e o ângulo de incidência quando essa radiação sai de um meio e incide em outro, podemos calcular o ângulo de refração.
- 02) O índice de refração absoluto de um determinado meio denso e transparente é obtido dividindo-se a velocidade da luz nesse meio pela velocidade da luz no vácuo.
- 04) O índice de refração da luz na água em relação ao vácuo é obtido dividindo-se a velocidade da luz no vácuo pela velocidade da luz na água e tem valor de 1,33.
- 08) O índice de refração da luz, do diamante em relação à água, tem valor de 1,81.
- 16) O índice de refração da luz, da gasolina em relação à água, tem valor de 0,888.
- 32) No fenômeno da refração os raios incidentes e refratados se situam no mesmo lado da normal à superfície de separação dos dois meios.
- 64) O seno do ângulo de incidência multiplicado pelo índice de refração absoluto do meio menos denso pode ser igual ao seno do ângulo de refração multiplicado pelo índice de refração absoluto do meio mais denso.

Resposta: 77

416 (FAFI-MG) O arco-fris é um dos fenômenos ópticos mais belos da natureza. A ocorrência desse fenômeno é devido à:

- X a) dispersão da luz solar ao se refratar em pequenas gotas de água que se encontram em suspensão no ar
 b) absorção da luz solar pelas pequenas gotas de água existentes na atmosfera
 c) difração da luz solar ao se refletir em pequenas gotas de água que se encontram em suspensão no ar
 d) reflexão da luz solar na atmosfera

417 (UECE) As figuras representam os perfis de lentes de vidro. Pode-se afirmar que, imersas no ar:



- a) Todas são convergentes.
 b) Todas são divergentes.
 c) I e II são convergentes e III é divergente.
 d) II e III são convergentes e I é divergente.
 X e) I e III são convergentes e II é divergente.

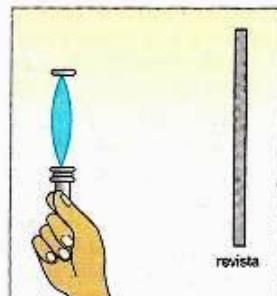
418 (Mack-SP) Num programa de televisão, um concorrente respondia sobre formigas. Quando ele está pesquisando, é necessário ver a formiga aumentada diretamente, por meio de uma lente. Este pesquisador:

- a) deve usar uma lente convergente colocando o seu foco entre a formiga e a lente
 b) deve usar uma lente divergente colocando o seu foco entre a formiga e a lente
 X c) deve usar uma lente convergente colocando a formiga entre o foco e a lente
 d) deve usar uma lente divergente colocando a formiga entre o foco e a lente
 e) em todos os casos anteriores verá a formiga sempre ampliada

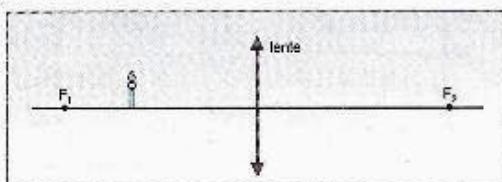
419 (UERJ) Uma pessoa utiliza uma lente convergente para a leitura da página de uma revista, como mostra a figura.

A natureza e a posição da imagem formada pela lente são, respectivamente:

- a) virtual; entre a lente e a revista
 b) real; entre a lente e a revista
 X c) virtual; à direita da revista
 d) real; à direita da revista



420 (UFAL) Uma vela é colocada sobre o eixo principal de uma lente convergente cujos focos principais são F_1 e F_2 , como está indicado no esquema da figura.



A imagem da vela conjugada pela lente é:

- a) real, direita e maior que a vela
- b) real, invertida e menor que a vela
- c) virtual, direita e menor que a vela
- d) virtual, direita e maior que a vela
- e) virtual, invertida e maior que a vela

421 (Odonto-Diamantina/MG) Um objeto é colocado sobre o eixo principal, a 30 cm de uma lente delgada esférica divergente de 30 cm de distância focal. Em relação à imagem obtida, é correto afirmar que:

- a) ela é virtual e menor do que o objeto
- b) ela é virtual e maior do que o objeto
- c) ela é real e do mesmo tamanho do objeto
- d) ela é real e menor do que o objeto
- e) não haverá formação de imagem nessa situação

422 (PUC-SP) Uma lente convergente fornece, de um objeto real, disposto perpendicularmente ao seu eixo e situado a 3 cm de distância, uma imagem virtual três vezes maior que o objeto. A distância focal da lente é:

- a) 4,5 cm c) 0,48 cm e) 3,0 cm
- b) 2,25 cm d) 5,0 cm

423 (UFBA) A distância entre um objeto de 10 cm de altura e sua imagem de 2 cm de altura, conjugada por uma lente convergente, é 30 cm. Qual a distância do objeto à lente?

- a) 15 cm c) 20 cm e) 25 cm
- b) 17,5 cm d) 22,5 cm

424 (Puccamp-SP) Um objeto real é disposto perpendicularmente ao eixo principal de uma lente convergente, de distância focal 30 cm. A imagem obtida é direita e duas vezes maior que o objeto. Nessas condições, a distância entre o objeto e a imagem, em centímetros, vale:

- a) 75 b) 45 c) 30 d) 15 e) 5

425 (Unicruz-RS) Determinar a posição e o tipo de imagem fornecida por uma lente divergente, cuja distância focal é $f = -30$ cm, de um objeto colocado a 20 cm da lente.

- a) a imagem se formará a 12 cm da lente e a abcissa será negativa, pois a imagem é virtual
- b) a imagem se formará a 12 cm da lente e a abcissa será negativa, pois a imagem é real

- c) a imagem se formará a 10 cm da lente e a imagem será virtual
- d) a imagem se formará a 10 cm da lente e a imagem será real
- e) a imagem se formará a 50 cm da lente e a imagem será virtual

426 (ITA-SP) Um objeto tem altura $h_o = 20$ cm e está situado a uma distância $d_o = 30$ cm de uma lente. Esse objeto produz uma imagem virtual de altura $h_i = 4,0$ cm. A distância da imagem à lente, a distância focal e o tipo da lente são, respectivamente:

- a) 6,0 cm; 7,5 cm; convergente
- b) 1,7 cm; 30 cm; divergente
- c) 6,0 cm; -7,5 cm; divergente
- d) 6,0 cm; 5,0 cm; divergente
- e) 1,7 cm; -5,0 cm; convergente

427 (UFSM-RS) Usando uma lupa de distância focal f , é possível queimar pedaços de papel seco quando, através dela, incidirem os raios solares e o papel estiver:

- a) entre a lupa e f
- b) entre f e $2f$
- c) aproximadamente em $2f$
- d) aproximadamente em f
- e) além de $2f$

428 (UFES) Uma lupa é construída com uma lente delgada biconvexa com distância focal de 10 cm. A que distância do centro óptico da lupa, sobre o eixo principal, devemos colocar um objeto, para que sua imagem apareça ampliada por um fator 5?

- a) 2 cm
- b) 6 cm
- c) 8 cm
- d) 12 cm
- e) 15 cm

429 (UFMS) Assinale a(s) proposição(es) verdadeira(s). *Resposta: 5*

- 01) Uma lente convergente tanto pode formar imagens reais como virtuais.
- 02) Uma lente convergente possui dois focos virtuais.
- 04) Imagens virtuais de objetos reais, formadas por lentes convergentes, são sempre direitas e maiores que o objeto.
- 06) Imagens virtuais de objetos reais, formadas por lentes convergentes, são sempre invertidas e menores que o objeto.
- 08) Uma lente convergente só pode formar imagens virtuais.

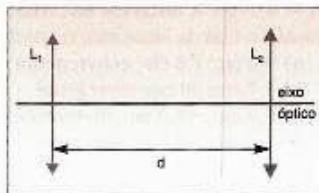
430 (PUC-SP) Um projetor de slides de 40 cm de distância focal está situado a 2 m de uma tela. Os slides projetados serão aumentados de:

- | | |
|-------------|--|
| a) 40 vezes | d) 5 vezes |
| b) 20 vezes | <input checked="" type="checkbox"/> e) 4 vezes |
| c) 10 vezes | |

431 (UFCE) A figura abaixo mostra um sistema formado por duas lentes delgadas convergentes: L_1 , com distância focal $f_1 = 3\text{ cm}$, e L_2 , com distância focal $f_2 = 5\text{ cm}$, postas uma frente à outra com seus eixos ópticos coincidindo e separadas por uma distância d . Um objeto linear de 6 cm de comprimento é colocado perpendicular ao eixo e a uma distância de 6 cm à esquerda da lente L_1 . A imagem final do objeto, formada pelo sistema, é não invertida, está à direita de L_2 e tem igualmente 6 cm de comprimento.

Portanto, a distância d , que separa as duas lentes, mede:

- a) 20 cm
- b) 16 cm
- c) 12 cm
- d) 8 cm
- e) 4 cm



Os testes de 432 a 470 referem-se à unidade IX deste volume.

432 (UEAL) Quando uma pedra cai num lago tranqüilo, formam-se ondas circulares. O fato de as ondas serem circulares é uma evidência de que:

- a) as ondas transportam energia
- b) as ondas transportam matéria
- c) a velocidade de propagação das ondas é a mesma em todas as direções
- d) a velocidade de propagação das ondas depende da densidade da pedra.
- e) n.d.a.

433 (Mack-SP) Um fio metálico de 2 m de comprimento e 10 g de massa é tracionado mediante uma força de 200 N. A velocidade de propagação de um pulso transversal nesse fio é de:

- a) 200 m/s
- c) 50 m/s
- e) n.d.a.
- b) 100 m/s
- d) $2\sqrt{10}$ m/s

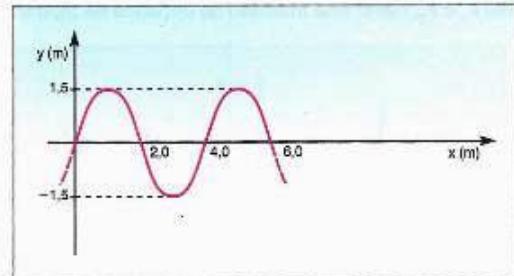
434 (PUC-SP) A velocidade de propagação de uma perturbação transversal numa corda de massa específica linear igual a 0,010 kg/m, tracionada por uma força de 84 N, é, em metros por segundo, de:

- a) 0,64
- b) 40
- c) 64
- d) 80
- e) 320

435 (UFPA) Uma onda tem frequência de 10 Hz e se propaga com velocidade de 400 m/s. Então, seu comprimento de onda vale, em metros:

- a) 0,04
- c) 4
- e) 400
- b) 0,4
- d) 40

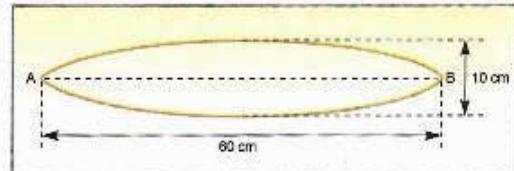
436 (UERJ) Uma onda de frequência 40,0 Hz se comporta como mostra o diagrama abaixo:



Nas condições apresentadas, pode-se concluir que a velocidade de propagação da onda é:

- a) $1,0 \cdot 10^{-1} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- d) $1,6 \cdot 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- b) $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- e) $2,4 \cdot 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- c) $80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

(Fesp-PE) Informação referente às questões 437 a 439. A figura representa uma corda de 60 cm, presa pelas suas extremidades, vibrando com uma frequência de 435 vibrações por segundo.



437 As ondas que percorrem a corda têm um comprimento de:

- a) 60 cm
- c) 45 cm
- e) 90 cm
- b) 30 cm
- d) 120 cm

438 A amplitude das ondas que percorrem a corda é de:

- a) 5 cm
- c) 20 cm
- e) 6 cm
- b) 10 cm
- d) 60 cm

439 A velocidade de propagação das ondas na corda vale:

- a) 522 m/s
- c) 261 m/s
- e) 5,22 m/s
- b) 26,1 m/s
- d) 0,138 m/s

440 (Unicruz-RS) Observando o mar, de um navio ancorado, um marinheiro avaliou em 12 m a distância entre as cristas das ondas, que se sucediam numa frequência de 9 Hz. Qual a velocidade de propagação das ondas?

- a) 1,3 m/s
- c) $10,8 \cdot 10^6 \text{ m/s}$
- e) 75 m/s
- b) 108 m/s
- d) 0,75 m/s

441 (UFRGS) Uma pedrinha é jogada em um lago, produzindo uma onda circular que se propaga na superfície da água. Uma pessoa próxima observa que a distância entre duas cristas sucessivas dessa onda é de

30 cm e que elas percorrem 3 m a cada 2 s. Qual a frequência associada a essa onda?

- a) 2,5 Hz c) 7,5 Hz e) 15 Hz
 X b) 5 Hz d) 10 Hz

442 (UCPR) Entre as extremidades fixas de uma corda com 6,0 m de comprimento, formam-se cinco nodos, quando nela se propaga um movimento vibratório de 180 Hz.

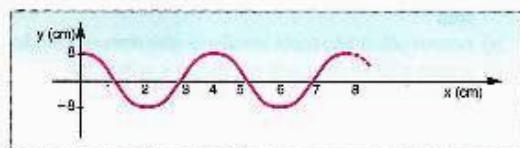
A velocidade de propagação deste movimento é:

- a) 216 m/s
 b) 360 m/s
 c) 450 m/s
 X d) 540 m/s
 e) Sendo som audível, propaga-se com a velocidade do som.

443 (UFPB) Numa corda longa, presa por uma de suas extremidades, propaga-se uma perturbação ondulatória com velocidade $v = 12 \text{ m/s}$. Sabe-se que a perturbação é produzida movimentando-se a outra extremidade da corda de modo que o movimento é repetido 40 vezes em cada segundo. Pode-se dizer que o comprimento de onda associado a essa perturbação vale:

- a) 48 cm d) 24 cm
 b) 40 cm e) 12 cm
 X c) 30 cm

444 (UFMS) O gráfico abaixo representa a configuração de uma onda transversal em uma corda, em um dado instante.

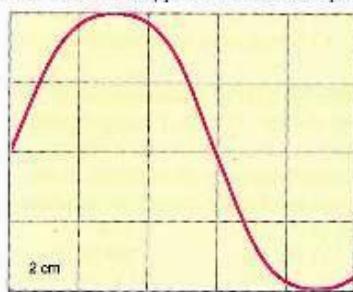


Sabendo-se que a velocidade de propagação dessa onda é 10 m/s, é correto afirmar que:

- 01) o comprimento de onda é 4 cm
 02) o período da onda é 0,4 s
 04) a amplitude da onda é 16 cm
 08) a frequência da onda é 250 Hz **Resposta: 09**

445 (UECE) A figura representa, parcialmente, uma onda senoidal progressiva. Sabendo-se que cada lado do quadriculado mede 2 cm, pode-se afirmar que a amplitude e o comprimento dessa onda valem, em centímetros, respectivamente:

- X a) 4 e 12
 b) 4 e 10
 c) 4 e 8
 d) 8 e 6
 e) 8 e 4



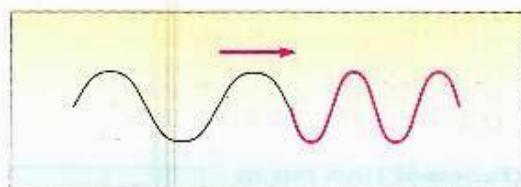
446 (FCC-SP) Ao chegar ao extremo de uma corda, um pulso transversal, que nela se propaga, sofre:

- a) reflexão com inversão de fase se o extremo for livre
 b) refração com inversão de fase se o extremo for livre
 c) refração sem inversão de fase se o extremo for fixo
 X d) reflexão sem inversão de fase se o extremo for livre
 e) reflexão sem inversão de fase se o extremo for fixo

447 (UFRGS) Dispõe-se de duas cordas flexíveis e homogêneas de diferentes densidades que estão entrelaçadas e esticadas. Quando uma onda periódica transversal se propaga de uma corda para a outra:

- X a) alteram-se o comprimento de onda e a velocidade de propagação, mas a frequência da onda permanece a mesma
 b) alteram-se o comprimento de onda e a frequência, mas a velocidade de propagação da onda permanece a mesma
 c) alteram-se a velocidade de propagação e a frequência da onda, mas seu comprimento de onda permanece o mesmo
 d) altera-se a frequência, mas o comprimento de onda e a velocidade de propagação da onda permanecem iguais
 e) altera-se o comprimento de onda, mas a frequência e a velocidade de propagação da onda permanecem as mesmas

448 (UFAL) Uma onda periódica se propaga numa corda fina com velocidade de 8,0 m/s e comprimento de onda igual a 40 cm. Essa onda se transmite para outra corda grossa onde a velocidade de propagação é 6,0 m/s.

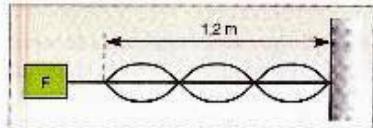


Na corda grossa, essa onda periódica tem frequência em hertz e comprimento de onda em centímetros, respectivamente, iguais a

- a) 20 e 60 d) 15 e 30
 X b) 20 e 30 e) 15 e 20
 c) 15 e 60

449 (PUC-MG) Um oscilador harmônico simples pode produzir, em uma corda, um fenômeno estacionário cuja forma geométrica está representada abaixo. Sabendo-se que a velocidade de propagação de pulsos na corda é 4,0 m/s, a frequência do oscilador, em hertz, vale:

- a) 3
 X b) 5
 c) 8
 d) 12
 e) 15



450 (Uniube-MG) Um fio de náilon de 80 cm de comprimento e com extremos fixos é tracionado por uma força. Ao ser excitado por uma fonte de 100 Hz, origina uma onda estacionária de três nós. A velocidade de propagação da onda no fio é, em metros por segundo, igual a:

- a) 20 b) 40 c) 80 d) 140 e) 180

451 (ESPM-SP) Uma onda, propagando-se numa corda com velocidade de 18 m/s e freqüência de 15 Hz, encontra seu ponto de união com outra corda, passando a se propagar nela com velocidade de 12 m/s. A razão entre os comprimentos de onda na primeira e na segunda cordas é, respectivamente:

- a) $\frac{1}{2}$ b) $\frac{2}{5}$ c) $\frac{3}{5}$ d) $\frac{3}{2}$ e) $\frac{2}{3}$

452 (FUVEST-SP) Uma onda sonora, propagando-se no ar com freqüência f , comprimento de onda λ e velocidade v , atinge a superfície de uma piscina e continua a se propagar na água. Neste processo, pode-se afirmar que:

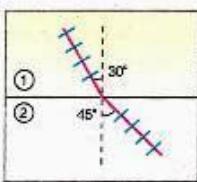
- a) apenas f varia
b) apenas v varia
c) apenas f e λ variam
d) apenas λ e v variam
e) apenas f e v variam

453 (Cesgranrio-RJ) Um feixe de luz, cujo comprimento de onda é $6,0 \cdot 10^{-7}$ m e cuja freqüência é $5,0 \cdot 10^{14}$ Hz, passa do vácuo para um bloco de vidro cujo índice de refração é 1,50. Quais são os valores, no vidro, da velocidade, da freqüência e do comprimento de onda da luz do feixe?

- a) $3,0 \cdot 10^8$ m/s; $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz; $4,0 \cdot 10^{-7}$ m
b) $2,0 \cdot 10^8$ m/s; $5,0 \cdot 10^{14}$ Hz; $4,0 \cdot 10^{-7}$ m
c) $2,0 \cdot 10^8$ m/s; $5,0 \cdot 10^{14}$ Hz; $6,0 \cdot 10^{-7}$ m
d) $3,0 \cdot 10^8$ m/s; $5,0 \cdot 10^{14}$ Hz; $4,0 \cdot 10^{-7}$ m
e) $2,0 \cdot 10^8$ m/s; $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz; $6,0 \cdot 10^{-7}$ m

(Fameca-SP) Com base na explicação a seguir, responda às questões 454 e 455.

Uma onda de comprimento de onda 2 cm e freqüência de 100 Hz passa por um meio ① para um meio ②, como mostra a figura.



São dados: $\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$; $\sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}$

454 A velocidade da onda no meio ② vale:

- a) 200 cm/s c) $50\sqrt{2}$ cm/s e) $100\sqrt{2}$ cm/s
b) $200\sqrt{2}$ cm/s d) 50 cm/s

455 Quando a onda passa do meio ① para o ②:

- a) o comprimento de onda aumenta
b) a sua freqüência aumenta
c) a velocidade de propagação diminui

- d) o seu comprimento de onda não varia
e) a velocidade de propagação não se altera

456 (FGV-SP) Na tabela a seguir, qual dos itens expressa, corretamente, características de uma onda sonora?

Natureza da oscilação	Meio de propagação	Velocidade no ar (aproximada)
a) transversal	qualquer, incluindo o vácuo	300 000 km/s
b) longitudinal	qualquer meio material	340 m/s
c) transversal	Líquidos	340 m/s
d) longitudinal	vácuo	300 000 km/s
e) mista	Líquidos	300 000 km/s

457 (UFSM-RS) O ouvido humano é capaz de perceber vibrações mecânicas com freqüências que variam entre 20 Hz e 20 000 Hz. Sabendo-se que a velocidade de propagação do som no ar é de 340 m/s, os comprimentos de onda correspondentes às freqüências acima, ou seja, aqueles que limitam as ondas sonoras percebidas pelos humanos, são, respectivamente:

- a) 17 m e 0,017 m d) $6,8 \cdot 10^6$ m e $6,8 \cdot 10^4$ m
b) 0,017 m e 17 m e) $5,9 \cdot 10^{-2}$ m e $5,9 \cdot 10^1$ m
c) $6,8 \cdot 10^3$ m e $6,8 \cdot 10^6$ m

458 (Vunesp-SP) Numa experiência clássica, coloca-se numa campânula de vidro, onde se faz o vácuo, uma lanterna acesa e um despertador que está deserto. A luz da lanterna é vista, mas o som do despertador não é ouvido. Isso acontece porque:

- a) o comprimento de onda da luz é menor que o do som
b) nossos olhos são mais sensíveis que nossos ouvidos
c) o som não se propaga no vácuo e a luz sim
d) a velocidade da luz é maior que a do som
e) o vidro da campânula serve de blindagem para o som, mas não para a luz

459 (Unicruz-RS) Num dia chuvoso, uma pessoa vê um relâmpago entre uma nuvem e a superfície da Terra. Passados 6 s ela ouve o som do trovão correspondente. Sabendo que a velocidade do som no ar é 340 m/s, qual a distância entre a pessoa e o ponto onde ocorreu o relâmpago?

- a) 2 040 m
b) 56,6 m
c) 1 020 m
d) 2 400 m
e) Não é possível calcular essa distância.

460 (Med. Barbacena-MG) Os morcegos emitem ultra-sons. O menor comprimento de onda produzido por um morcego no ar é da ordem de $33 \cdot 10^{-4}$ m. A freqüência mais elevada que os morcegos podem emitir num local onde a velocidade do som no ar é de 330 m/s será:

- a) 10^4 Hz c) 10^5 Hz e) 10^6 Hz
b) 10^5 Hz d) 10^7 Hz

461 (PUC-SP) Para determinar a profundidade de um poço de petróleo, um cientista emitiu com uma fonte, na abertura do poço, ondas sonoras de freqüência 220 Hz. Sabendo-se que o comprimento de onda, durante o percurso é de 1,5 m e que o cientista recebe como resposta um eco após 8 s, a profundidade do poço é:

- a) 2 640 m X d) 1 320 m
b) 1 440 m e) 330 m
c) 2 880 m

462 (UFMS) Com relação aos fenômenos ondulatórios é correto afirmar: **Resposta: 62**

- 01) Ondas sonoras podem se propagar no vácuo
02) Uma onda percorre a distância de um comprimento de onda no intervalo de tempo igual a um período
04) Ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo
08) Ondas sonoras são ondas longitudinais
16) O fato de ouvirmos um trovão momentos após vermos o relâmpago é uma evidência de que a velocidade da luz no ar é maior que a do som
32) A interferência é um fenômeno decorrente da superposição de ondas num mesmo ponto

463 (UFLA-MG) A pesca industrial moderna se utiliza de sonares para localização de cardumes. Considerando a velocidade do som na água aproximadamente 1 500 m/s, e que o sonar recebe o som de volta 1 s após a emissão, então a distância do barco ao cardume é de:

- a) 250 m d) 1 000 m
b) 500 m e) 1 500 m
X c) 750 m

464 (Osec-SP) Para que se receba o eco de um som no ar, onde a velocidade de propagação é de 340 m/s, é necessário que haja uma distância de 17 m entre a fonte sonora e o anteparo em que o som é refletido. Na água, onde a velocidade de propagação do som é de 1 600 m/s, esta distância precisa ser de:

- a) 34 m X c) 80 m e) n.d.a.
b) 60 m d) 160 m

465 (UFAL) Um observador que se aproxima de uma sirene ligada percebe:

- 01) aumento da intensidade sonora
02) diminuição da intensidade sonora
04) aumento na freqüência
08) diminuição na freqüência
16) variação no timbre **Resposta: 05**

466 (UEL-PR) Um trem de ondas planas propagando-se na água atinge um obstáculo e sofre um desvio, tendendo a contorná-lo. Esse fenômeno ondulatório denominase:

- a) interferência d) refração
b) polarização e) reflexão
X c) difração

467 (Mack-SP) A freqüência de um som é aumentada pelo efeito Doppler quando:

- X a) a fonte se aproxima do observador
b) a fonte se afasta do observador
c) o observador se afasta rapidamente da fonte
d) o observador se afasta lentamente da fonte
e) a distância entre o observador e a fonte aumenta

468 (Cefet-PR) Uma ambulância de sirene ligada emite um som de freqüência 320 Hz e se aproxima, a 72 km/h, de um observador em repouso. Sabendo-se que a velocidade do som no ar é de 340 m/s, a freqüência aparente do som percebido pelo observador será, em Hz, aproximadamente igual a:

- a) 300 X b) 340 c) 520 d) 392 e) 592

469 (UFBA) De acordo com a Mecânica Ondulatória, é correto afirmar: **Resposta: 24**

- 01) Uma onda sonora, qualquer que seja a sua freqüência, é perceptível a um ouvido humano normal.
02) O fenômeno conhecido como eco está associado à refração das ondas sonoras.
04) As ondas sonoras não sofrem difração.
08) Duas ondas sonoras superpostas podem produzir silêncio em determinados pontos do espaço.
16) Não ocorre o efeito Doppler em ondas sonoras, caso o observador e a fonte se desloquem com a mesma velocidade e no mesmo sentido.

470 (UFGO) A luz e o som estão fortemente relacionados com dois importantes sentidos dos homens: a visão e a audição. Os órgãos responsáveis pela percepção da luz e do som, os olhos e os ouvidos, recebem energia transportada pelas ondas luminosas e pelas ondas sonoras, respectivamente. Existem diferenças fundamentais entre estes dois tipos de ondas. Considerando as características ondulatórias da luz e do som, pode-se afirmar que: **Resposta: 61**

- 01) As ondas sonoras são ondas mecânicas e as luminosas são ondas eletromagnéticas.
02) O vácuo é o melhor meio para a propagação da luz e do som.
04) O fato de se poder continuar escutando o ruído de um carro que virou uma esquina mesmo sem continuar a vê-lo, é devido ao som poder difratar.
08) Ao passarem do ar para a água a onda sonora aumenta sua velocidade de propagação e a onda luminosa diminui.
16) Num relâmpago os efeitos sonoros e luminosos são simultâneos, porém são percebidos, por uma pessoa normal, em instantes diferentes, devido à diferença entre a velocidade de propagação do som e da luz.
32) As transmissões radiofônicas (ondas de rádio que vão da antena da estação até a antena de seu rádio) são feitas por ondas eletromagnéticas e as ondas que vão do rádio até o ouvinte são ondas sonoras.

Os testes de 471 a 572 referem-se à unidade X deste volume.

471 (Esam-RN) As palavras que completam corretamente as lacunas do texto abaixo são, respectivamente:

Se a um corpo eletricamente neutro acrescentamos partículas negativas, desaparece o equilíbrio de cargas. O efeito total das partículas negativas supera o das positivas e podemos dizer que o corpo está carregado negativamente. Podemos também carregar positivamente um objeto _____ partículas _____ e deixando, portanto, um excesso de cargas _____.

- a) acrescentando; negativas; positivas
- b) retirando; negativas; positivas
- c) retirando; positivas; negativas
- d) acrescentando; positivas; negativas
- e) retirando; positivas; positivas

472 (PUC-SP) Não é possível eletrizar uma barra metálica segurando-a com a mão porque:

- a) a barra metálica é isolante e o corpo humano, bom condutor
- b) a barra metálica é condutora e o corpo humano, isolante
- c) tanto a barra metálica como o corpo humano são bons condutores
- d) a barra metálica é condutora e o corpo humano, semicondutor
- e) tanto a barra metálica como o corpo humano são isolantes

473 (Puccamp-SP) Dispõe-se de uma barra de vidro, um pano de lã e duas pequenas esferas condutoras, A e B, apoiadas em suportes isolados, todos eletricamente neutros. Atrita-se a barra de vidro com o pano de lã; a seguir coloca-se a barra de vidro em contato com a esfera A e o pano com a esfera B. Após essas operações:

- a) o pano de lã e a barra de vidro estarão neutros
- b) o pano de lã atrairá a esfera A
- c) as esferas A e B continuarão neutras
- d) a barra de vidro repelirá a esfera B
- e) as esferas A e B se repelirão

474 (UEL-PR) Considere três pequenas esferas de isopor M, N e P. A esfera M está eletrizada positivamente e ela atraí tanto a esfera N como a P. As esferas N e P também se atraem. Nessas condições, as possíveis cargas de N e P são

	N	P
a)	+	+
b)	-	-
c)	+	-
d)	-	+
<input checked="" type="checkbox"/> e)	-	zero

475 (UEL-PR) Uma esfera isolante está eletrizada com carga de $-3,2 \mu\text{C}$. Sabendo que a carga elementar vale $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, é correto afirmar que a esfera apresenta:

- a) excesso de $2,0 \cdot 10^{18}$ elétrons
- b) falta de $2,0 \cdot 10^{19}$ elétrons
- c) excesso de $5,0 \cdot 10^{12}$ prótons
- d) falta de $5,0 \cdot 10^{13}$ prótons
- e) excesso de $5,0 \cdot 10^0$ elétrons

476 (Unifor-CE) Um bastão é atritado com um pano. A seguir, repele uma esfera eletrizada negativamente.

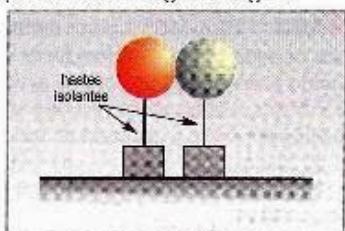
Pode-se afirmar corretamente que o bastão foi eletrizado:

- a) positivamente, por contato com o pano
- b) positivamente, por indução da esfera
- c) negativamente, por indução da esfera
- d) negativamente, por atrito com o pano
- e) neutralizado, ao aproximar-se da esfera

477 (UERJ) Uma esfera metálica, sustentada por uma haste isolante, encontra-se em equilíbrio eletrostático com uma pequena carga elétrica Q . Uma segunda esfera idêntica e inicialmente descarregada aproxima-se dela, até tocá-la, como indica a figura a seguir.

Após o contato, a carga elétrica adquirida pela segunda esfera é:

- a) $\frac{Q}{2}$
- b) Q
- c) $2Q$
- d) nula



478 (Unisinos-RS) Em muitos equipamentos elétricos é recomendado o uso de um fio terra para clamar eventuais cargas elétricas indesejáveis.

Uma esfera metálica (A), eletrizada positivamente, é encostada numa outra esfera também metálica (B), neutra, que está num pedestal isolante. Após a separação das esferas, a esfera (B) estará eletrizada com:

- a) excesso de nêutrons
- b) falta de nêutrons
- c) excesso de prótons
- d) falta de prótons

479 (UFPE) Quatro corpos, A, B, C e D, formam um sistema eletricamente isolado.

Inicialmente tem-se que $Q_A = 6 \mu\text{C}$, $Q_B = -2 \mu\text{C}$, $Q_C = 4 \mu\text{C}$ e $Q_D = -4 \mu\text{C}$.

O corpo A cede $2 \mu\text{C}$ ao corpo B e o corpo C cede $1 \mu\text{C}$ ao corpo D. **Resposta: 15**

- 01) O corpo B ficou eletricamente neutro.
- 02) A carga total após a transferência é de $4 \mu\text{C}$.
- 04) A soma algébrica das quantidades de carga elétrica é constante.
- 08) O corpo A, antes e depois, tem carga elétrica positiva.
- 16) Após a transferência de carga, os corpos C e D ficaram eletricamente positivos.

480 (PUC-SP) Duas esferas, *A* e *B*, metálicas e idênticas, estão carregadas com cargas respectivamente iguais a $16\text{ }\mu\text{C}$ e $4\text{ }\mu\text{C}$. Uma terceira esfera, *C*, metálica e idêntica às anteriores, está inicialmente descarregada. Coloca-se *C* em contato com *A*. Em seguida, esse contato é desfeito e a esfera *C* é colocada em contato com *B*.

Supondo-se que não haja troca de cargas elétricas com o meio exterior, a carga final de *C* é de:

- a) $8\text{ }\mu\text{C}$ c) $4\text{ }\mu\text{C}$ e) nula
 X b) $6\text{ }\mu\text{C}$ d) $3\text{ }\mu\text{C}$

481 (Unifor-CE) Duas pequenas esferas idênticas estão eletrizadas com cargas de $6,0\text{ }\mu\text{C}$ e $-10\text{ }\mu\text{C}$, respectivamente. Colocando-se as esferas em contato, o número de elétrons que passam de uma esfera para a outra vale:

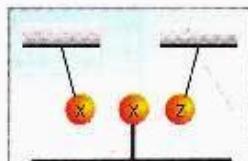
Dado: carga elementar $e = 1,60 \cdot 10^{-19}\text{ C}$

- X a) $5,0 \cdot 10^{14}$ d) $4,0 \cdot 10^9$
 b) $4,0 \cdot 10^{14}$ e) $2,0 \cdot 10^9$
 c) $2,5 \cdot 10^{14}$

482 (UFGO) Os princípios de conservação na Física (conservação da energia, da quantidade de movimento, da carga elétrica etc.) desempenham papéis fundamentais nas explicações de diversos fenômenos. Segundo estes princípios, pode-se dizer que:

- 01) Num sistema mecânico, livre da ação de forças dissipativas, a energia mecânica se conserva.
- 02) Numa colisão totalmente inelástica a quantidade de movimento não se conserva.
- 04) A primeira lei da termodinâmica é uma aplicação do princípio da conservação da energia.
- 08) Numa eletrização por contato não existe conservação da carga.
- 16) Um carro numa montanha-russa conserva sua energia mecânica, apesar da existência do atrito.
- 32) Numa colisão perfeitamente elástica ocorre, no sistema, conservação tanto da energia cinética quanto da quantidade de movimento. **Resposta: 37**

483 (FCC-BA) Na figura *X*, *Y* e *Z* são esferas metálicas. *Y* está fixada em um suporte isolante, e *X* e *Z* estão penduradas por fios que também são isolantes. As esferas estão em equilíbrio eleostático. Nessas condições, é necessário que:



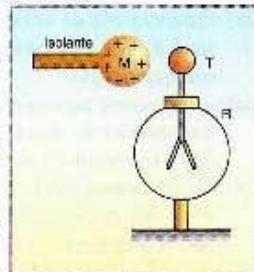
- a) todas as esferas estejam positivamente carregadas
 b) todas as esferas tenham cargas elétricas totais diferentes de zero
 c) pelo menos duas das esferas tenham cargas elétricas totais diferentes de zero
 X d) pelo menos uma das esferas tenha carga elétrica total diferente de zero
 e) pelo menos duas esferas tenham cargas elétricas de sinais contrários

484 (Umicruz-RS) A esfera eletricamente neutra de um pêndulo eletrostático é aproximada da esfera de um eletroscópio de folhas carregado eletricamente, sendo atraída e sofrendo uma indução. Em seguida, ocorre um contato entre elas. O que acontecerá, após este contato, com a abertura entre as folhas do eletroscópio e com as esferas, respectivamente?

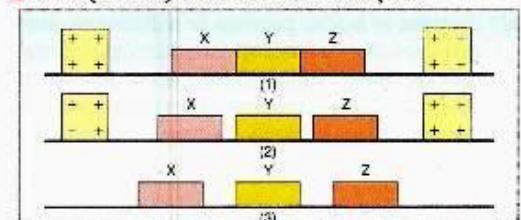
- a) aumentará; serão atraídas
 b) aumentará; serão repelidas
 X c) diminuirá; serão repelidas
 d) diminuirá; serão atraídas
 e) não se alterará; serão repelidas

485 (Vunesp-SP) Uma esférica metálica carregada, *M*, é aproximada de um eletroscópio de folhas de alumínio, conforme o esquema da figura. A carcaça metálica *R* do eletroscópio está em contato elétrico permanente com o solo. Enquanto a esfera *M* estava muito afastada do eletroscópio estabeleceu-se um contato elétrico transitório entre *T* e *R*. Qual é a afirmação correta em relação à experiência em apreço?

- a) As folhas só abrirão quando *M* tocar em *T*.
 b) As folhas só abrirão quando *M* tocar em *R*.
 c) As folhas só abrirão se o contato entre *T* e *R* for mantido permanentemente.
 d) As folhas só abrirão se a carcaça *R* receber uma carga de mesmo valor, mas de sinal oposto ao de *M*.
 X e) As folhas abrirão à medida que *M* for se aproximando de *T*.



486 (UECE) Observe as três situações:



Na situação 1, três blocos metálicos (*X*, *Y* e *Z*), alinhados, ficam em contato entre si e apoiados sobre uma mesa isolante. Dois objetos com fortes cargas positivas são colocados um de cada lado e muito próximos dos blocos. Em 2, os blocos estão separados com uma barra isolante e descarregada, mantendo os dois objetos carregados em suas respectivas posições. Finalmente, em 3, os objetos carregados são retirados. As cargas esperadas na situação 3 são:

- a) *X* positiva; *Y*, negativa e *Z*, positiva
 X b) *X* negativa; *Y*, positiva e *Z*, negativa
 c) *X* negativa; *Y*, neutra e *Z*, negativa
 d) *X*, *Y* e *Z*, positivas

■487 (FAFI-MG) Os corpos eletrizados por atrito, contato e indução ficam carregados, respectivamente, com cargas de sinais:

- a) iguais, iguais e iguais
- b) contrários, iguais e contrários
- c) iguais, iguais e contrários
- d) contrários, iguais e iguais

■488 (UFG-GO) É comum, entre estudantes do segundo grau, a idéia de que a Física é uma disciplina difícil, muito teórica e de pouca utilidade para a nossa vida. Alguns até dizem *p'ra que Física no vestibular se nunca mais vou precisar dela?* Esta concepção é equivocada, pois conceitos, leis e princípios da Física estão presentes na compreensão de muitas situações do cotidiano. Por exemplo:

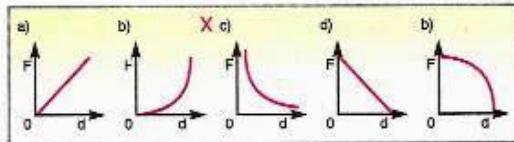
- 01) Os alimentos cozinham mais rapidamente numa panela de pressão do que numa panela comum, porque com o aumento da pressão a água entra em ebulição a uma temperatura maior que 100 °C.
- 02) O movimento de um automóvel, para frente, é possível devido à força de atrito nas rodas de tração serem para trás.
- 04) Ao esquecer aquela cervejinha dentro do congelador, você a encontra estourada. Isto aconteceu porque a temperatura muito baixa faz o vidro trincar.
- 08) Ao aproximar seu braço da tela de uma TV ligada, você sentirá os pêlos de seu braço sendo atraídos. Isto ocorre devido à eletrização deles por indução.
- 16) Viajando num dia de sol intenso é comum ter-se a impressão de haver água no asfalto da estrada à sua frente. Isto acontece porque, com a diminuição da densidade do ar e da consequente diminuição do índice de refração, ocorre a reflexão total da luz nas camadas de ar próximas ao solo.
- 32) Costuma-se utilizar bolinhas de naftalina em armários para afastar insetos. Passado algum tempo, nota-se que as bolinhas desaparecem. Isto acontece não porque a barata comeu a naftalina, mas porque ocorreu a sublimação da mesma à temperatura ambiente. **Resposta: 57**

■489 (Vunesp-SP) Duas esferas condutoras idênticas carregadas com cargas $+Q$ e $-3Q$, inicialmente separadas por uma distância d , atraem-se com uma força elétrica de intensidade (módulo) F . Se as esferas são postas em contato e, em seguida, levadas de volta para suas posições originais, a nova força entre elas será:

- a) maior que F e de atração
- b) menor que F e de atração
- c) igual a F e de repulsão
- d) menor que F e de repulsão
- e) maior que F e de repulsão

■490 (Cesgranrio-RJ) Dois pequenos corpos eletricamente carregados são lentamente afastados um do

outro. A intensidade da força da interação (F) varia com a distância (d) entre eles, segundo o gráfico:



■491 (UFJF-MG) Duas esferas igualmente carregadas, no vácuo, se repelem mutuamente quando separadas a uma certa distância. Triplicando-se a distância entre as esferas, a força de repulsão entre elas torna-se:

- a) três vezes menor
- b) seis vezes menor
- c) nove vezes menor
- d) doze vezes menor
- e) n.d.a.

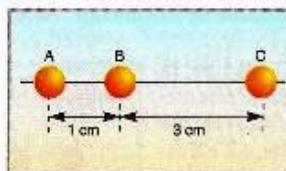
■492 (UFES) Duas cargas elétricas puntiformes estão separadas por 12 cm. Esta distância é alterada até que a força entre as cargas fique quatro vezes maior. A nova separação entre as cargas é de:

- a) 3 cm
- b) 4 cm
- c) 6 cm
- d) 24 cm
- e) 48 cm

■493 (Cefet-BA) Duas partículas idênticas igualmente eletrizadas, estão afastadas a uma distância d interagindo eletricamente com uma força de intensidade F . Se a carga de cada partícula é duplicada, a distância entre elas, para que não haja alteração na intensidade da força entre as duas, deve ser:

- a) $\frac{d}{4}$
- b) $\frac{d}{2}$
- c) d
- d) $2d$
- e) $4d$

■494 (Fuvest-SP) Três objetos com cargas elétricas idênticas estão alinhados como mostra a figura. O objeto C exerce sobre B uma força igual a $3,0 \cdot 10^{-6}$ N. A força elétrica resultante dos efeitos de A e C sobre B é:



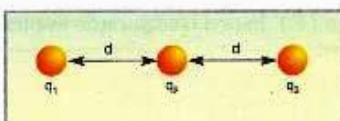
- a) $2,0 \cdot 10^{-6}$ N
- b) $6,0 \cdot 10^{-6}$ N
- c) $12 \cdot 10^{-6}$ N
- d) $24 \cdot 10^{-6}$ N
- e) $30 \cdot 10^{-6}$ N

■495 (PUC-SP) Sobre uma reta são fixadas, a 30 cm uma da outra, as cargas elétricas $+Q$ e $-4Q$ pontuais. Uma terceira carga, também pontual, é colocada sobre a reta num ponto P , onde permanece imóvel, mesmo estando totalmente livre. As distâncias de P a $+Q$ e de P a $-4Q$ são, em centímetros, respectivamente iguais a:

- a) 6 e 24
- b) 10 e 40
- c) 24 e 6
- d) 30 e 60
- e) 60 e 30

■496 (UFSC)

Três cargas puntiformes são dispostas em linha reta, como mostra a figura, sendo $q_1 = +4q_0$, $q_2 = -q_0$ e $q_3 = +q_0$, onde q_0 é a carga de um próton. Sobre as forças elétricas atuantes podemos afirmar, corretamente:

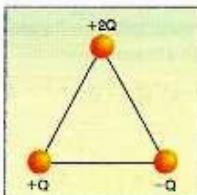


- 01) O módulo da força que q_1 exerce sobre q_3 é igual ao módulo da força que q_1 exerce sobre q_2 .
- 02) A soma das forças sobre q_2 é zero.
- 04) A soma das forças sobre q_3 é zero.
- 08) O módulo da força que q_2 exerce sobre q_1 é quatro vezes maior que o módulo da força que q_2 exerce sobre q_3 .
- 16) A força que q_1 exerce sobre q_2 é de atração e a força que q_1 exerce sobre q_3 é de repulsão.
- 32) O módulo da força que q_1 exerce sobre q_3 é quatro vezes o módulo da força exercida por q_3 sobre q_1 .
- 64) A força exercida por q_1 sobre q_2 tem a mesma direção e o mesmo sentido da força exercida por q_3 sobre q_1 . **Resposta: 92**

■497 (PUC-RJ) Sejam duas pequenas esferas metálicas, idênticas, distantes 2,0 cm, com cargas $6q$ e $-2q$. Colocando-as em contato e, em seguida, afastando-as novamente de 2,0 cm, a razão entre as intensidades das forças de interação nas situações inicial e final é de:

- | | |
|--------|-------|
| X a) 3 | d) 8 |
| b) 4 | e) 12 |
| c) 6 | |

■498 (UFSC) Três cargas estão dispostas nos vértices de um triângulo equilátero, conforme se encontra representado na figura ao lado. A direção e o sentido da resultante das forças coulombianas que atuam na carga $+2Q$ é(são):



- 01) vertical e orientada para baixo
- 02) vertical e orientada para cima
- 04) horizontal e orientada para a esquerda
- 08) horizontal e orientada para a direita
- 16) orientada ao longo da reta que une $+2Q$ e $-Q$
- 32) orientada ao longo da reta que une $+2Q$ e $+Q$
- 64) nula, porque os módulos de $+Q$ e $-Q$ são iguais

Resposta: 8

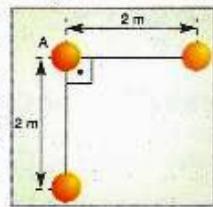
■499 (FCC-BA) Duas esferas metálicas iguais, electricamente carregadas com cargas de módulo q e $2q$, estão a uma distância R uma da outra e se atraem, eletrostaticamente, com uma força de módulo F . São postas em contato uma com a outra e, a seguir, recolocadas nas posições iniciais. O módulo da nova força eletrostática vale:

- | | | |
|------------------|------------------|---------------------|
| a) $\frac{F}{8}$ | c) $\frac{F}{2}$ | X e) $9\frac{F}{8}$ |
| b) $\frac{F}{4}$ | d) F | |

■500 (UCPR) Uma carga elétrica repele um pêndulo elétrico a 5 cm de distância, enquanto uma outra carga de mesmo sinal, para provocar a mesma repulsão, deve estar a 10 cm de distância. A segunda carga é:

- a) o dobro da primeira
- b) o triplo da primeira
- c) a metade da primeira
- d) o quintuplo da primeira
- e) a quatro vezes a primeira

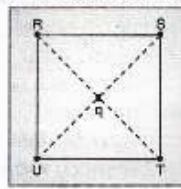
■501 (Fuvest-SP) Um objeto A com carga elétrica $-q$ e dimensões desprezíveis, fica sujeito a uma força de $20 \cdot 10^{-6}$ N, quando colocado em presença de um objeto idêntico, à distância de 1 m. Se o objeto for colocado na presença de dois objetos idênticos, como indicada na figura, ficará sujeito a uma força de, aproximadamente:



- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| a) $40 \cdot 10^{-6}$ N | d) $5,0 \cdot 10^{-6}$ N |
| b) $10 \cdot 10^{-6}$ N | e) $14,1 \cdot 10^{-6}$ N |
| X c) $7,1 \cdot 10^{-6}$ N | |

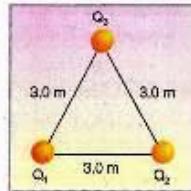
■502 (FEI-SP) Cargas elétricas puntiformes devem ser colocadas nos vértices R , S , T e U do quadrado da figura. Uma carga elétrica puntiforme q está no centro do quadrado. Esta carga ficará em equilíbrio quando nos vértices forem colocadas as cargas:

- | | |
|-----------------------|--|
| R S T U | |
| a) $+Q + Q - Q - Q$ | |
| b) $-Q - Q + Q + Q$ | |
| X c) $+Q - Q + Q - Q$ | |
| d) $+Q - Q - Q + Q$ | |
| e) $-Q + Q + Q - Q$ | |



■503 (Osec-SP) Nos vértices de um triângulo equilátero, de 3,0 m de lado, estão colocadas as cargas $Q_1 = Q_2 = 4,0 \cdot 10^{-7}$ C, $Q_3 = 1,0 \cdot 10^{-7}$ C. A intensidade da força que atua em Q_3 , em newtons, é:

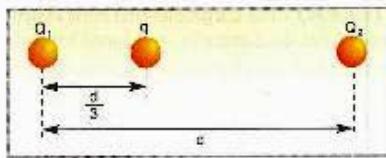
- | | |
|--------------------------|-----------|
| X a) $6,9 \cdot 10^{-5}$ | d) zero |
| b) $4,0 \cdot 10^{-5}$ | e) n.d.a. |
| c) $8,0 \cdot 10^{-5}$ | |



■504 (UFMG) Um elétron (carga = $-e$) gira em torno do núcleo do átomo de hélio (carga = $+2e$). O núcleo exerce uma força \vec{F}_N sobre o elétron e esse exerce, sobre o núcleo, uma força \vec{F}_E . Sobre os módulos dessas forças, pode-se afirmar que:

- | | |
|------------------------|---------------------------------|
| a) $F_N = 2F_E$ | d) $F_N = \frac{F_E}{\sqrt{2}}$ |
| b) $F_N = \sqrt{2}F_E$ | e) $F_N = \frac{F_E}{2}$ |
| X c) $F_N = F_E$ | |

■505 (Unifor-CE) O esquema a seguir representa as posições das cargas elétricas fixas Q_1 e Q_2 e, também, da carga q , livre e em equilíbrio estático.



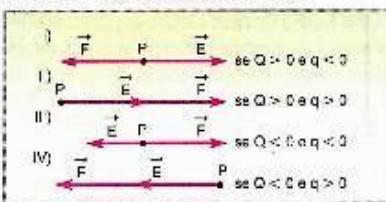
Pelas indicações do esquema, é válida a relação:

- | | |
|--|--------------------------|
| a) $Q_2 = 9 \cdot Q_1$ | d) $Q_2 = \frac{Q_1}{3}$ |
| <input checked="" type="checkbox"/> b) $Q_2 = 4 \cdot Q_1$ | e) $Q_2 = \frac{Q_1}{4}$ |
| c) $Q_2 = 3 \cdot Q_1$ | |

506 (UFU-MG) A figura representa uma carga Q cun ponto P do seu campo elétrico onde é colocada uma carga de prova q .



Analise as afirmativas a seguir, observando se elas representam corretamente o sentido do vetor campo elétrico em P e da força que atua sobre q .



São corretas:

- a) todas as afirmações
- b) apenas I, II e III
- c) apenas II, III e IV
- d) apenas III e IV
- e) apenas II e III

507 (Mack-SP) Uma carga elétrica puntiforme com $4,0 \mu\text{C}$, que é colocada em um ponto P do vácuo, fica sujeita a uma força elétrica de intensidade $1,2 \text{ N}$. O campo elétrico nesse ponto P tem intensidade de:

- a) $3,0 \cdot 10^5 \text{ N/C}$
- b) $2,4 \cdot 10^5 \text{ N/C}$
- c) $1,2 \cdot 10^5 \text{ N/C}$
- d) $4,0 \cdot 10^{-6} \text{ N/C}$
- e) $4,8 \cdot 10^{-6} \text{ N/C}$

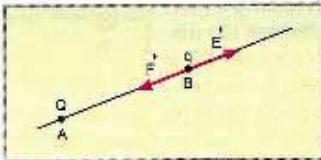
508 (FFCLBII-MG) Em um ponto do espaço existe um campo elétrico de intensidade igual a $5 \cdot 10^6 \text{ N/C}$ apontado para a direita. Colocando nesse ponto uma carga puntiforme $q = -5 \cdot 10^{-4} \text{ C}$, esta ficará sujeita a uma força de intensidade igual a:

- a) $2,5 \cdot 10^4 \text{ N}$ para a esquerda
- b) $2,5 \cdot 10^4 \text{ N}$ para a direita
- c) $1,0 \cdot 10^4 \text{ N}$ para a esquerda
- d) $1,0 \cdot 10^4 \text{ N}$ para a direita
- e) $1,2 \cdot 10^4 \text{ N}$ para a direita

509 (UMC) A figura dada mostra duas cargas elétricas pontuais, Q e q , fixas nos pontos A e B , respectivamente, e os vetores força elétrica (\vec{F}) e campo elétri-

co (\vec{E}). Para a configuração esquematizada, devemos ter:

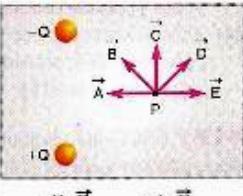
- a) $Q > 0$ e $q < 0$
- b) $Q > 0$ e $q > 0$
- c) $Q < 0$ e $q < 0$
- d) $Q < 0$ e $q > 0$
- e) $Q \cdot q > 0$



510 (UFSC) Existe um ponto entre duas cargas de mesmo módulo em que o campo elétrico é nulo. Podemos afirmar que:

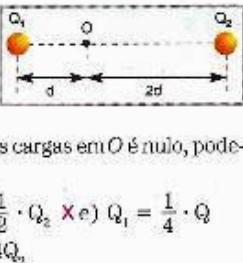
- a) As cargas têm sinais diferentes.
- b) As cargas têm sinais iguais.
- c) O campo de cada uma das cargas é nulo.
- d) Se as cargas tiverem sinais iguais, elas têm que ser necessariamente negativas.
- e) Nada se pode afirmar.

511 (Vunesp-SP) Na figura, o ponto P está equidistante das cargas fixas $+Q$ e $-Q$. Qual dos vetores indica a direção e o sentido do campo elétrico em P , devido a essas cargas?



- a) \vec{A}
- b) \vec{B}
- c) \vec{C}
- d) \vec{D}
- e) \vec{E}

512 (FGV-SP) Na figura, Q_1 e Q_2 representam duas cargas puntiformes de mesmo sinal. Sabendo-se que o vetor campo elétrico resultante produzido por essas cargas em O é nulo, pode-se afirmar que:



- a) $Q_1 = Q_2$
- b) $Q_1 = 2Q_2$
- c) $Q_1 = \frac{1}{2} \cdot Q_2$
- d) $Q_1 = 4Q_2$
- e) $Q_1 = \frac{1}{4} \cdot Q_2$

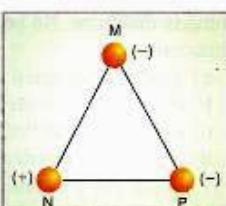
513 (Unirio-RJ) Quando duas partículas eletrizadas com cargas simétricas são fixadas em dois pontos de uma mesma região do espaço, verifica-se, nesta região, um campo elétrico resultante que pode ser representado por linhas de força. Sobre essas linhas de força é correto afirmar que se originam na carga:

- a) positiva e podem cruzar-se entre si
- b) positiva e não se podem cruzar entre si
- c) positiva e são paralelas entre si
- d) negativa e podem cruzar-se entre si
- e) negativa e não se podem cruzar entre si

514 (UFAL) Considere um retângulo de lados $3,0 \text{ cm}$ e $4,0 \text{ cm}$. Uma carga elétrica q colocada num dos vértices do retângulo gera no vértice mais distante um campo elétrico de módulo E . Nos outros dois vértices, o módulo do campo elétrico é:

- a) $E/9$ e $E/16$
- b) $4E/25$ e $3E/16$
- c) $4E/3$ e $5E/3$
- d) $5E/4$ e $5E/3$
- e) $25E/9$ e $25E/16$

- 515 (UFF-RJ)** Três cargas elétricas pontuais, de módulo Q e sinais conforme indicados na figura, formam um triângulo equilátero MNP. Assinale a alternativa que melhor representa as direções e os sentidos dos vetores: força elétrica que atua na carga situada no ponto M e campo elétrico existente nesse mesmo ponto.

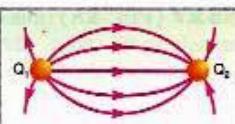


Força elétrica	Campo elétrico
a) \leftarrow	\leftarrow
b) \rightarrow	\rightarrow
c) \uparrow	\leftarrow
d) \leftarrow	\rightarrow
e) \downarrow	\uparrow

- 516 (UFPel-RS)** Um pequeno corpo carregado positivamente e de peso desprezível é lançado em um campo elétrico uniforme com velocidade inicial de sentido oposto ao do vetor campo elétrico. O movimento do corpo será:

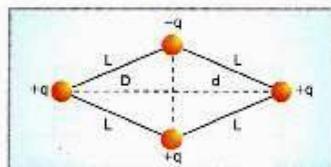
- x a) inicialmente retílineo uniformemente retardado e depois retílineo uniformemente acelerado
- b) inicialmente retílineo uniformemente acelerado e depois retílineo uniformemente retardado
- c) inicialmente retílineo e uniforme e depois retílineo uniforme retardado
- d) sempre retílineo uniforme
- e) sempre retílineo uniformemente acelerado

- 517 (Acafe-SC)** A figura representa, na convenção usual, a configuração de linhas de força associadas a duas cargas puntiformes Q_1 e Q_2 . Podemos afirmar que:



- a) Q_1 e Q_2 são cargas negativas
- x b) Q_1 é positiva e Q_2 é negativa
- c) Q_1 e Q_2 são cargas positivas
- d) Q_1 é negativa e Q_2 é positiva
- e) Q_1 e Q_2 são neutras

- 518 (Unicruz-RS)** Quatro cargas elétricas puntiformes de mesma carga q estão dispostas nos vértices de um losango, conforme indica a figura:



Sabendo-se que a diagonal maior, D , vale o dobro da diagonal menor, d , qual a intensidade do vetor campo

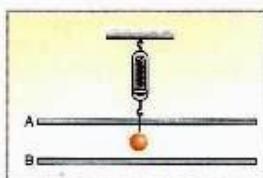
elétrico resultante no centro do losango? ($K =$ constante dielétrica do meio.)

- a) $10\sqrt{2} \frac{Kq}{L^2}$
- c) $\frac{5}{4} \frac{Kq}{L^2}$
- x b) $\frac{5}{2} \frac{Kq}{L^2}$
- d) $\frac{32}{5} \frac{Kq}{L^2}$
- e) $10 \frac{Kq}{L^2}$

- 519 (Cesgranrio-RJ)** A aceleração de uma partícula de massa m e carga elétrica Q , quando, a partir do repouso, percorre uma distância d , numa região onde existe um campo elétrico uniforme de módulo E , constante, é:

- a) $\frac{Q \cdot E \cdot d}{m}$
- c) $E \sqrt{\frac{Q}{m}}$
- b) $\frac{m \cdot E \cdot d}{Q}$
- x d) $\frac{Q \cdot E}{m}$
- e) $E \cdot d$

- 520 (UFSC)** Uma bolinha, carregada negativamente, é pendurada em um dinamômetro e colocada entre duas placas paralelas, carregadas com cargas de mesmo módulo, de acordo com a figura ao lado. O orifício por onde passa o fio, que sustenta a bolinha, não altera o campo elétrico entre as placas, cujo módulo é $4 \cdot 10^6 \text{ N/C}$. O peso da bolinha é 2 N , mas o dinamômetro registra 3 N , quando a bolinha alcança o equilíbrio. **Resposta: 10**



- 01) A placa A tem carga positiva e a B, negativa.
- 02) A placa A tem carga negativa e a B, positiva.
- 04) Ambas as placas têm carga positiva.
- 08) O módulo da carga da bolinha é de $0,25 \cdot 10^{-6} \text{ C}$.
- 16) O módulo da carga da bolinha é de $4,0 \cdot 10^{-8} \text{ C}$.
- 32) A bolinha permaneceria em equilíbrio, na mesma posição do caso anterior, se sua carga fosse positiva e de mesmo módulo.

- 521 (UFSC)** Um dipolo elétrico é constituído por duas cargas elétricas de igual valor, q , porém de sinais contrários, rigidamente ligadas entre si. Colocando o dipolo num campo elétrico uniforme, como indicado na figura, é correto afirmar que o dipolo:

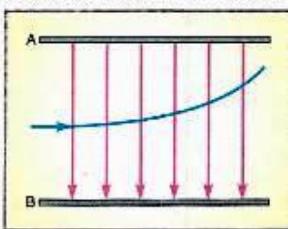


- 01) permanecerá em repouso
- 02) sofrerá um movimento de translação no sentido do campo elétrico
- 04) sofrerá um movimento de translação no sentido contrário ao do campo elétrico
- 08) sofrerá um movimento de rotação no sentido anti-horário
- 16) sofrerá um movimento de rotação no sentido horário

- 32) acompanhará, através de um movimento de translação, o sentido das linhas de força, somente quando o campo elétrico for não uniforme e variar no tempo
 64) acompanhará, através de um movimento de translação, o sentido das linhas de força, somente no caso em que o campo elétrico é uniforme e varia constantemente no tempo **Resposta: 16**

522 (UERJ) Uma partícula carregada penetra em um campo elétrico uniforme existente entre duas placas planas e paralelas *A* e *B*. A figura abaixo mostra a trajetória curvilínea descrita pela partícula. A alternativa que aponta a causa correta dessa trajetória é:

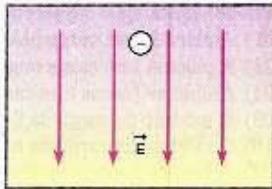
- a) A partícula tem carga negativa e a placa *A* tem carga positiva.
- b) A partícula tem carga positiva e a placa *A* tem carga negativa.
- c) A partícula tem carga negativa e a placa *B* tem carga positiva.
- d) A partícula tem carga positiva e a placa *B* tem carga negativa.



523 (FAFI-MG)

Um corpo, com carga de $2 \cdot 10^{-6}$ C, está colocado num campo elétrico uniforme, conforme a figura ao lado. O corpo está flutuando nesse campo elétrico, que vale $E = 500$ N/C. Considerando $g = 10$ m/s², pode-se então afirmar que a massa do corpo vale:

- a) 100
- b) 10
- c) 10 g
- d) 0,1 g



524 (PUC-RS) Assinale a afirmativa falsa:

- a) Uma carga negativa abandonada em repouso num campo eletrostático fica sujeita a uma força que realiza sobre ela um trabalho negativo.
- b) Uma carga positiva abandonada em repouso num campo eletrostático fica sujeita a uma força que realiza sobre ela um trabalho positivo.
- c) Cargas negativas abandonadas em repouso num campo eletrostático dirigem-se para pontos de potencial mais elevado.
- d) Cargas positivas abandonadas em repouso num campo eletrostático dirigem-se para pontos de menor potencial.
- e) O trabalho realizado pelas forças eletrostáticas ao longo de uma curva fechada é nulo.

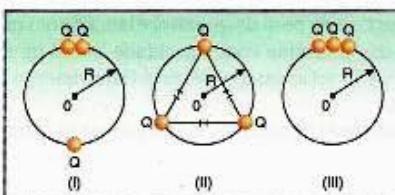
525 (UFU-MG) Duas cargas elétricas de mesmo módulo e de sinais opostos são colocadas a uma deter-

minada distância. No ponto médio da reta que une as duas cargas:

- a) o campo elétrico é nulo e o potencial elétrico não
- b) o campo e o potencial elétricos são nulos
- c) o potencial elétrico é nulo e o campo elétrico não
- d) o potencial elétrico é numericamente duas vezes maior que a intensidade do campo elétrico
- e) o campo e o potencial elétricos não são nulos

526 (Cesgranrio-RJ) Nas figuras, três cargas positivas e pontuais *Q* são localizadas sobre a circunferência de um círculo de raio *R* de três maneiras diferentes. As afirmações seguintes se referem ao potencial eletrostático em *O*, centro da circunferência (o zero dos potenciais está no infinito).

- I) O potencial em *O* nas figuras I e III é dirigido para baixo.
- II) O potencial em *O* tem o mesmo valor (não-nulo) nos três casos.
- III) O potencial em *O* na figura II é nulo.



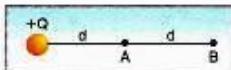
Está(ão) certa(s) a(s) afirmação(es):

- a) I e II somente
- b) II somente
- c) III somente
- d) I somente
- e) I e II somente

527 (PUC-RS) Uma carga de $2,0 \cdot 10^{-7}$ C encontra-se isolada, no vácuo, distante 6,0 cm de um ponto *P*. Qual a proposição correta? (Dado: $k_0 = 9 \cdot 10^9$ N · m²/C²)

- a) O vetor campo elétrico no ponto *P* está voltado para a carga.
- b) O campo elétrico no ponto *P* é nulo porque não há nenhuma carga elétrica em *P*.
- c) O potencial elétrico no ponto *P* é positivo e vale $3,0 \cdot 10^4$ V.
- d) O potencial elétrico no ponto *P* é negativo e vale $-5,0 \cdot 10^4$ V.

528 (Unicap-PE) Na figura, sabe-se que o potencial no ponto *A*, devido à presença da carga *Q*, tem valor de $36 \cdot 10^3$ V e que a intensidade do campo elétrico, no ponto *B*, vale $9 \cdot 10^3$ N/C. Sendo $k_0 = 9 \cdot 10^9$ N · m²/C², a carga *Q* vale:



- a) $1,0 \cdot 10^{-6}$ C
- b) $4,0 \cdot 10^{-6}$ C
- c) $2,0 \cdot 10^{-6}$ C
- d) $0,5 \cdot 10^{-6}$ C
- e) $3,0 \cdot 10^{-6}$ C

529 (FEI-SP) Sendo V_A , V_B e V_C os potenciais eletrostáticos de três pontos de uma linha de campo, com $0 < V_A - V_C < V_B - V_C$, podemos afirmar que no sentido da linha de campo a ordem dos três pontos é:

- a) $A, B \text{ e } C$
- b) $B, A \text{ e } C$
- c) $C, A \text{ e } B$
- d) $B, C \text{ e } A$
- e) $A, C \text{ e } B$

530 (FESP-SP) Considere as afirmações a seguir:

- I) Percorrendo-se uma linha de força no seu sentido, o potencial elétrico, ao longo de seus pontos, aumenta.
 - II) As linhas de força são paralelas às superfícies eqüipotenciais.
 - III) Num campo elétrico uniforme, as superfícies eqüipotenciais são esféricas e concêntricas.
- São corretas:

- a) I
- b) II
- c) I e II
- d) todas
- x e) nenhuma

531 (Puccamp-SP) Uma nuvem está a um potencial de $8 \cdot 10^6$ V relativamente à Terra. Uma carga de $40 \mu\text{C}$ é transferida por um raio de nuvem à Terra. A energia dissipada foi de:

- a) $5 \cdot 10^{-6}$ J
- b) $2 \cdot 10^6$ J
- x c) $3,2 \cdot 10^8$ J
- d) $4,2 \cdot 10^7$ J
- e) n.d.a.

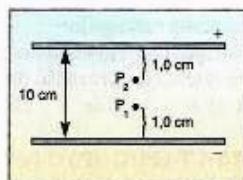
532 (UFSC) Sabendo que $U = V_A - V_B = -40$ V é a ddp entre dois pontos, A e B , e que A está mais próximo da carga criadora do campo, podemos afirmar que:

- a) a carga criadora é positiva
- b) o sentido do campo é de A para B
- c) o potencial de B é menor do que o de A
- d) o potencial de B é nulo
- x e) a carga criadora é negativa

533 (UCS-BA) Num tubo de TV, os elétrons são acelerados em direção à tela, recebendo cada elétron uma energia de $4,0 \cdot 10^{-15}$ J. Sendo a carga do elétron igual a $1,6 \cdot 10^{-19}$ C, a diferença de potencial responsável pela aceleração dos elétrons vale, em volts:

- a) $6,4 \cdot 10^{-34}$
- b) $4,0 \cdot 10^{-5}$
- c) $2,4 \cdot 10^2$
- x d) $2,5 \cdot 10^4$
- e) $4,0 \cdot 10^6$

534 (UEL-PR) A diferença de potencial entre as duas placas condutoras paralelas indicadas no esquema é 500 V. (Dados: carga de elétron = $1,6 \cdot 10^{-19}$ C)



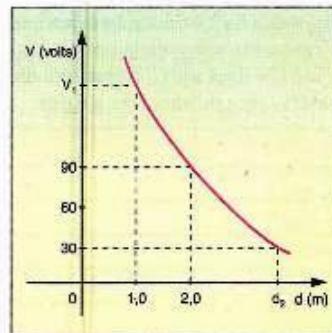
Quando um elétron é transportado de P_1 a P_2 , o trabalho realizado pelo campo elétrico é, em joules, igual a:

- a) $1,3 \cdot 10^{-20}$
- b) $6,4 \cdot 10^{-20}$
- x c) $6,4 \cdot 10^{-17}$
- d) $8,0 \cdot 10^{-16}$
- e) $8,0 \cdot 10^{-15}$

535 (Mack-SP) A diferença de potencial entre dois pontos, A e B , é $V_A - V_B = 1 \cdot 10^6$ V. Pode-se afirmar que o trabalho da força do campo elétrico, para levar uma carga puntiforme $Q = 2 \mu\text{C}$ de A para B , é:

- a) igual a -2 J
- x b) igual a 2 J
- c) igual a 1 J
- d) depende da trajetória da carga Q ao deslocar-se de A para B

536 (UEPG-PR) O gráfico da figura representa o potencial gerado por uma carga elétrica puntiforme no vácuo, em função da distância aos pontos do campo. Sabendo-se que $k_0 = 9,0 \cdot 10^9 \text{ V} \cdot \text{m/C}$, pode-se afirmar que a distância d_2 vale:

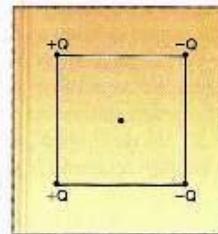


- a) 3,0 m
- b) 4,0 m
- c) 5,0 m
- x d) 6,0 m
- e) 7,0 m

537 (UECE) Seja V_1 o potencial elétrico em um ponto A situado a uma distância d de uma carga elétrica puntiforme Q que se encontra no vácuo. Se duplicamos a distância, o novo potencial V_2 se relacionará com V_1 da seguinte maneira:

- a) $V_2 = V_1$
- x b) $V_2 = \frac{1}{2} V_1$
- c) $V_2 = 2V_1$
- d) $V_2 = 4V_1$
- e) $V_2 = \frac{1}{4} V_1$

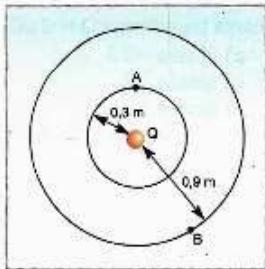
538 (Volta Redonda-RJ) No esquema, o potencial V e o campo elétrico E no centro do quadrado serão:



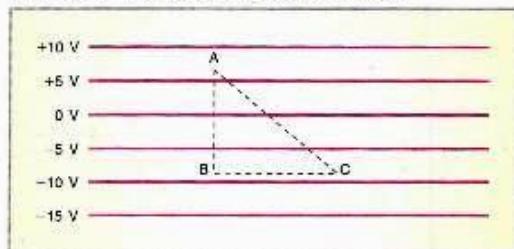
- x a) $V = 0$ e $E \neq 0$
- b) $V = 0$ e $E = 0$
- c) $V \neq 0$ e $E = 0$
- d) $V \neq 0$ e $E \neq 0$
- e) n.d.a.

- 539 (Mack-SP)** A carga pontual q de $2 \mu\text{C}$ é levada no vácuo ($k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$) do ponto A para o ponto B do campo elétrico gerado pela carga puntiforme Q de $8 \mu\text{C}$. O trabalho realizado pela força elétrica que age sobre a carga q foi de:

- a) 120 mJ
- b) 160 mJ
- c) 240 mJ
- d) 320 mJ
- e) 400 mJ



- 540 (UFRS)** A figura mostra linhas equipotenciais de um campo elétrico uniforme. Uma carga elétrica puntiforme positiva de $2,0 \text{ coulombs}$ é movimentada com velocidade constante sobre cada um dos trajetos: de A até B , de B até C e de A até C . Nessas condições, o trabalho necessário para movimentar a carga.

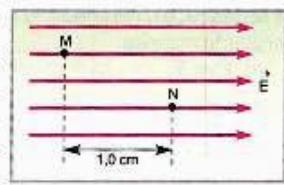


- a) de A até B é maior que de A até C
- b) de A até B é igual ao de B até C
- c) de A até C é igual ao de B até C
- d) de A até B é nulo
- e) de B até C é nulo

- 541 (Puccamp-SP)**

Considere dois pontos, M e N , de um campo elétrico uniforme de intensidade $5,0 \cdot 10^3 \text{ N/C}$, conforme mostra o esquema. Sabendo que o potencial elétrico no ponto M vale 40 V , é correto afirmar que:

- a) a potencial elétrico no ponto N vale -10 V
- b) o trabalho do campo elétrico ao deslocar uma carga $Q = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, de M até N , vale $-2,0 \cdot 10^{-4} \text{ J}$
- c) o potencial elétrico no ponto N vale 40 V
- d) o trabalho do campo elétrico ao deslocar uma carga $Q = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, de M até N , vale $2,0 \cdot 10^{-4} \text{ J}$
- e) o potencial elétrico do ponto N vale 90 V



- 542 (UFPE)** Um próton é acelerado a partir do repouso por uma diferença de potencial de 10^7 V . Sua massa e carga elétrica são, respectivamente, $1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ e $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. A energia cinética final adquirida pelo próton é, em joules:

- a) $1,6 \cdot 10^{-19}$
- c) $1,6 \cdot 10^{-15}$
- e) $1,6 \cdot 10^{-12}$
- b) $1,6 \cdot 10^{-27}$
- d) $1,6 \cdot 10^{-8}$

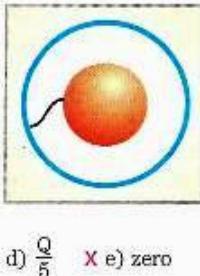
- 543 (UFMG)** Pessoas que viajam de carro, durante uma tempestade, estão protegidas da ação dos raios porque:

- a) a água da chuva conduz o excesso de cargas da lataria do carro à terra
- b) as cargas elétricas se distribuem na superfície externa do carro, anulando o campo elétrico em seu interior
- c) o ambiente em que se encontram é fechado
- d) o campo elétrico criado entre o carro e o solo é tão grande que a carga escoa para a terra
- e) o carro está isolado da terra pelos pneus

- 544 (Unifor-CE)** Dadas as afirmativas:

- I) Na superfície de um condutor, eletrizado e em equilíbrio eletrostático, o campo elétrico é normal à superfície.
 - II) Na superfície de um condutor, eletrizado e em equilíbrio eletrostático, o potencial é constante.
 - III) Na superfície de um condutor, eletrizado e em equilíbrio eletrostático, a densidade superficial de cargas é maior em pontos de menor raio de curvatura.
- Podemos afirmar que:
- a) Somente a I está correta.
 - b) Somente a II está correta.
 - c) Somente a III está correta.
 - d) Todas estão corretas.
 - e) Nenhuma delas está correta.

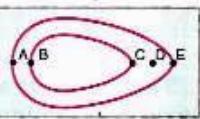
- 545 (UFRGS)** A figura mostra uma esfera de raio R no interior de uma casca esférica de raio $2R$, ambas metálicas e interligadas por um fio condutor. Quando o sistema for carregado com carga elétrica total Q , esta se distribuirá de modo que a carga da esfera interna seja:



- a) $4 \cdot \frac{Q}{3}$
- b) $\frac{Q}{2}$
- c) $\frac{Q}{3}$
- d) $\frac{Q}{5}$
- e) zero

- 546 (FAAP-SP)** A figura mostra, em corte longitudinal, um objeto metálico oco, eletricamente carregado.

Em qual das regiões assinaladas há maior concentração de cargas?



- a) E
- b) D
- c) C
- d) B
- e) A

- 547 (PUC-SP)** O funcionamento de um pára-raios é baseado:

- a) na indução eletrostática e no poder das pontas
- b) na blindagem eletrostática e no poder das pontas
- c) na indução e na blindagem eletrostática
- d) no efeito Joule e no poder das pontas
- e) no efeito Joule e na indução eletrostática

548 (PUC-SP) Uma esfera metálica oca (A) e outra maciça (B) têm diâmetros iguais. A capacidade elétrica de A:

- a) depende da natureza do metal de que é feita
- b) depende da sua espessura
- c) é igual à de B
- d) é maior que a de B
- e) é menor que a de B

549 (UEL-PR) Uma esfera condutora de raio 10 cm, eletrizada com carga $Q = 1,0 \cdot 10^{-7}$ C, está em equilíbrio eletrostático. O potencial elétrico, em volts, e o módulo do vetor campo elétrico, em N/C, em um ponto a 5,0 cm do centro do condutor valem, respectivamente:

(Dado: constante eletrostática = $9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$)

- a) zero e zero
- b) $9 \cdot 10^8$ e zero
- c) $9 \cdot 10^8$ e $3,6 \cdot 10^8$
- d) $1,8 \cdot 10^9$ e zero
- e) $1,8 \cdot 10^9$ e $3,6 \cdot 10^8$

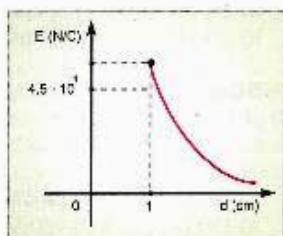
550 (UFRJ) Uma pequena esfera metálica e isolada tem $2 \cdot 10^{15}$ de seus elétrons retirados. Outra esfera idêntica possui $10 \cdot 10^{15}$ elétrons em excesso. Elas são submetidas aos seguintes processos: **Resposta: 25**

- I) Inicialmente são mantidas isoladas e seus centros separados pela distância L .
 - II) Em seguida são colocadas em contato por alguns segundos.
 - III) Finalmente são afastadas e seus centros mantidos à distância L .
- Considerando o módulo da carga do elétron igual a $1,6 \cdot 10^{-19}$ C, é correto afirmar:
- 01) Ao final do processo III, a diferença de potencial elétrico entre as esferas é nula.
 - 02) No processo I, no ponto médio do segmento de reta compreendido entre os centros das duas esferas, o campo elétrico é nulo.
 - 04) Ao final do processo II, cada esfera tem uma carga negativa de módulo $3,0 \cdot 10^{-8}$ C.
 - 08) No processo III, é nula a força elétrica resultante sobre uma carga de prova colocada a meia distância entre as duas esferas.
 - 16) A quantidade total de carga do sistema formado pelas duas esferas permanece constante em todos os processos.
 - 32) Ao final do processo III, há uma força elétrica atrativa entre as duas esferas.

(FUENM-PR) O enunciado refere-se aos testes 551 e 552. Os gráficos representam a variação da intensidade do campo e do potencial (em uma dimensão) devida a um condutor esférico uniformemente eletrizado.

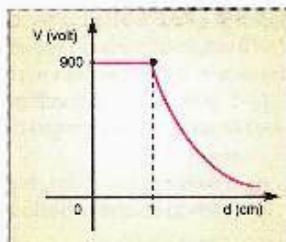
551 A quantidade de carga elétrica distribuída na superfície da esfera vale:

- a) 10^{-7} C
- b) -10^{-7} C
- c) 10^{-6} C
- d) -10^{-6} C
- e) n.d.a.



552 O ponto externo à esfera, cujo campo tem a mesma intensidade do campo na superfície, dista do centro, aproximadamente:

- a) 2,8 cm
- b) 1,4 cm
- c) 0,4 cm
- d) 2,1 cm
- e) n.d.a.



553 (UFSM-RS) São feitas as seguintes afirmações a respeito de um condutor eletrizado e em equilíbrio eletrostático:

- I) A carga elétrica em excesso localiza-se na superfície externa.
 - II) No seu interior, o campo elétrico é nulo.
 - III) No seu interior, o potencial elétrico é nulo.
- Está(ão) correta(s):
- a) apenas I
 - b) apenas II
 - c) apenas III
 - d) apenas I e II
 - e) apenas I e III

554 (Unifor-CE) Uma esfera, condutora e eletrizada, de raio 20 cm gera, num ponto a 40 cm do centro, um potencial de 600 V. Para essa esfera, o campo elétrico num ponto externo bem próximo da superfície é:

- a) $2,0 \cdot 10^4$ V/m
- b) $6,0 \cdot 10^3$ V/m
- c) $5,0 \cdot 10^4$ V/m
- d) $4,0 \cdot 10^3$ V/m
- e) $2,0 \cdot 10^3$ V/m

555 (Unimep-SP) Uma esfera condutora de 0,03 m de raio apresenta uma carga elétrica de $2 \cdot 10^{-11}$ C. O potencial elétrico dessa esfera em um ponto situado a 0,02 m do seu centro vale:

- a) zero
- b) 600 V
- c) 0,06 V
- d) 6 V
- e) 1 200 V

556 (PUC-RS) Uma esfera condutora, que inicialmente se encontra carregada positivamente, é colocada em contato com outra esfera inicialmente neutra. Pode-se afirmar que, depois de estabelecido o equilíbrio elétrico entre ambas:

- a) as duas esferas terão as mesmas cargas, desde que sejam constituídas de um mesmo material
- b) o campo esférico em torno das esferas será uniforme
- c) a esfera de maior raio terá maior potencial que a outra
- d) ambas adquirirão o mesmo potencial
- e) a intensidade do campo será maior na esfera de maior raio

557 (IMS-SP) Dois condutores, bem afastados, de capacidades $C_1 = 0,01 \mu\text{F}$ e $C_2 = 0,04 \mu\text{F}$, estão eletrizados com cargas elétricas $Q_1 = 400 \mu\text{C}$ e $Q_2 = 800 \mu\text{C}$, respectivamente. Ligando-os através de um fio metálico, o novo potencial desses condutores será:

- a) $3 \cdot 10^4$ V
- b) $2 \cdot 10^6$ V
- c) $5 \cdot 10^4$ V
- d) $2 \cdot 10^4$ V
- e) $2 \cdot 10^4$ V

- 558 (FAFI-MG)** Uma esfera condutora de raio $r = 5$ cm, localizada no vácuo, está eletrizada com uma carga $q = 2 \cdot 10^{-6}$ C. Isso permite afirmar que:
- O potencial dessa esfera é nulo.
 - O potencial no centro dessa esfera é o mesmo da superfície.
 - A 50 cm da superfície da esfera o potencial é $9 \cdot 10^6$ V.
 - A 30 cm do centro dessa esfera o potencial é $9 \cdot 10^6$ V.

- 559 (UFPA)** Sobre um capacitor de placas paralelas, é correto afirmar que:
- aumentando a distância entre as placas, aumenta a capacidade.
 - aumentando a área das placas, diminui a capacidade.
 - a capacidade não depende do dielétrico entre as placas.
 - a carga total nas placas do capacitor é nula.
 - a capacidade é, por definição, a relação entre a carga total das placas e a diferença de potencial entre elas.

- 560 (UFC-CE)** Um capacitor de placas paralelas de área A separadas por uma distância d encontra-se no vácuo. **Resposta: 10**
- A capacidade é limitada pela tensão entre seus terminais.
 - Duplicando-se a área das placas e dobrando-se a distância entre elas, a capacidade permanece constante.
 - Reduzindo-se a tensão até a metade e dobrando-se a capacidade, a energia armazenada no capacitor duplica.
 - Inserindo-se um dielétrico entre as placas do capacitor, sua capacidade aumenta.

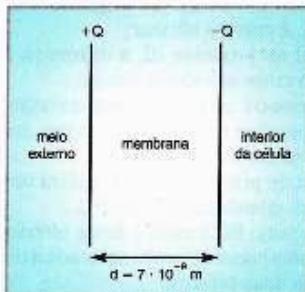
- 561 (UEM-PR)** Um capacitor plano (placas paralelas), tendo o ar como dielétrico e capacidade $10^{-9} \mu\text{F}$, é ligado a um gerador de tensão 100 V. A carga elétrica é: (Dado: $1 \mu = 10^{-6}$) **Resposta: 16**
- $0,20 \mu\text{C}$ em cada uma das placas
 - $0,10 \mu\text{C}$ em cada uma das placas
 - $0,10 \mu\text{C}$ em uma placa e 10^{-7} C na outra
 - -10^{-7} C em uma placa e -10^{-7} C na outra
 - $0,10 \mu\text{C}$ em uma placa e $-0,10 \mu\text{C}$ na outra
 - neste caso as cargas serão sempre nulas

- 562 (Mack-SP)** A carga de um capacitor plano e isolado é $20 \mu\text{C}$. Duplicando a distância entre as armaduras desse capacitor, a energia armazenada por ele:
- reduz-se a um quarto
 - quadruplica
 - reduz-se à metade
 - duplica
 - não se altera

- 563 (UFRJ)** Com base nos conceitos e aplicações da Eletrostática, é correto afirmar que: **Resposta: 61**

- Se dois corpos, A e B , inicialmente neutros, são eletrizados por atrito entre si, então a carga de A (Q_A) e a carga de B (Q_B) satisfazem a relação $Q_A + Q_B = 0$.
- Quando duas partículas eletricamente carregadas são afastadas ao dobro de sua distância original, a força elétrica entre ambas também fica duplicada.
- Se uma carga elétrica livre Q for colocada no ponto médio do segmento de reta que liga duas outras cargas fixas, $+q$ e $-q$, então haverá uma força elétrica resultante não nula sobre Q .
- Num campo elétrico uniforme, os pontos situados num mesmo plano, perpendicular às linhas de força, têm o mesmo potencial elétrico.
- Uma partícula puntiforme com carga de módulo q e massa m , quando colocada num campo elétrico de módulo E , experimentará uma aceleração de módulo igual a $\frac{QE}{m}$.
- Os capacitores podem ser usados para armazenar energia potencial elétrica.

- 564 (UniSantos-SP)** A membrana celular pode ser comparada a um capacitor plano, de acordo com a figura. A diferença de potencial entre as paredes da delgada camada isolante é $7 \cdot 10^{-2}$ V. Nestas condições, a intensidade do vetor campo elétrico, em N/C, no interior da membrana, é mais próximo de:



- $4,9 \cdot 10^{-10}$
- $4,9 \cdot 10^7$
- 10^{-11}
- 10^7

- 565 (Mack-SP)** Uma esfera condutora elétrica tem um diâmetro de 1,8 cm e se encontra no vácuo ($k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$). Dois capacitores idênticos, quando associados em série, apresentam uma capacidade equivalente à da referida esfera. A capacidade de cada um desses capacitores é:

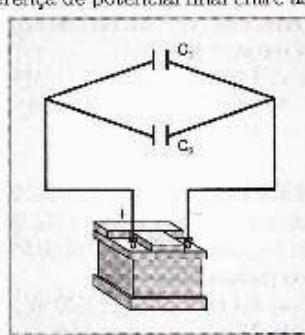
- $0,5 \text{ pF}$
- $1,0 \text{ pF}$
- $1,5 \text{ pF}$
- $2,0 \text{ pF}$
- $4,0 \text{ pF}$

- 566 (Mack-SP)** Dois capacitores de capacidades $3 \mu\text{F}$ e $7 \mu\text{F}$ são associados em paralelo e a associação é submetida a uma ddp de 12 V. A carga elétrica adquirida pela associação é:

- 252 C
- 120 C
- $25,2 \text{ C}$
- $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ C}$
- $2,52 \cdot 10^{-6} \text{ C}$

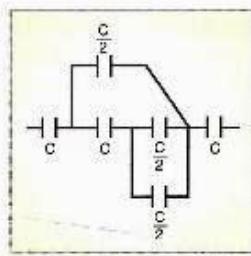
567 (UFES) Dois capacitores de capacidades $C_1 = 2 \mu\text{F}$ e $C_2 = 1 \mu\text{F}$ estão ligados a uma bateria como mostra a figura. A diferença de potencial final entre as placas do capacitor C_1 é 6 V . As diferenças de potenciais entre as placas do capacitor C_2 e a carga por ele adquirida são, respectivamente:

- a) 3 V e $12 \mu\text{C}$
- b) 6 V e $6 \mu\text{C}$
- c) 6 V e $24 \mu\text{C}$
- d) 12 V e $12 \mu\text{C}$
- e) 12 V e $24 \mu\text{C}$

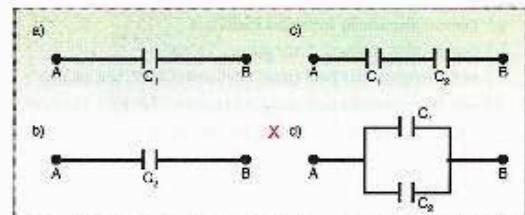


568 (UFPA) A capacidade do condensador equivalente à associação mostrada na figura é:

- a) $2 \cdot \frac{C}{3}$
- b) $\frac{C}{3}$
- c) $3C$
- d) $2C$
- e) $3 \cdot \frac{C}{2}$



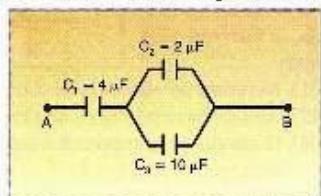
569 (Med. Pouso Alegre-MG) Entre dois pontos, A e B , é mantida uma ddp constante. Dispondo-se de dois capacitores, de capacidades C_1 e C_2 , sendo $C_1 > C_2$, indique em qual das ligações terímos maior energia elétrica armazenada.



- e) a energia elétrica armazenada é a mesma em qualquer uma dessas ligações

570 (Macke-SP) A carga do capacitor $C_2 = 2 \mu\text{F}$ do circuito a seguir, é $30 \mu\text{C}$. A ddp entre os pontos A e B vale:

- a) 15 V
- b) 30 V
- c) 45 V
- d) 60 V
- e) 75 V

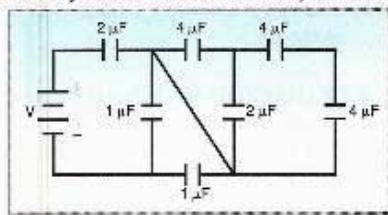


571 (UNIPAC) As afirmativas abaixo referem-se à associação série de três capacitores, $C_1 = 12 \cdot 10^{-6} \text{ F}$, $C_2 = C_3 = 8,0 \cdot 10^{-6} \text{ F}$, subtraída à diferença de potencial de $8,0 \text{ V}$. É errado afirmar que:

- a) A energia armazenada na associação é igual a $9,6 \cdot 10^{-6} \text{ J}$.
- b) A carga armazenada em cada capacitor é igual a $2,4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$.
- c) A carga total armazenada na associação é igual a $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ C}$.
- d) Os três capacitores podem ser substituídos por um único capacitor de capacidade igual a $28 \cdot 10^{-6} \text{ F}$.

572 (UFLA-MG) Dado o circuito abaixo, determine o valor da capacidade equivalente:

- a) $2 \mu\text{F}$
- b) $4 \mu\text{F}$
- c) $1 \mu\text{F}$
- d) $1,5 \mu\text{F}$
- e) $3 \mu\text{F}$



Os testes de 573 a 632 referem-se à unidade XI deste volume.

573 (PUC-RS) A razão entre a carga que flui por uma seção reta de um condutor e o tempo gasto para essa carga fluir define uma grandeza elétrica chamada:

- a) intensidade da corrente
- b) resistência
- c) condutância
- d) diferença de potencial
- e) força eletromotriz

574 (PUC-SP) Com relação à condução da corrente elétrica pelos gases, é correta a afirmação:

- a) alguns gases são naturalmente isolantes e outros condutores, conforme sua natureza química
- b) o mecanismo da condução elétrica nos gases é semelhante ao dos metais
- c) não se conhece nenhum fenômeno que possa ser atribuído à passagem da corrente através dos gases
- d) os gases são normalmente isolantes; mas, em certas circunstâncias, podem tornar-se condutores
- e) os gases são normalmente ótiosos condutores

575 (UFSM-RS) Por uma seção transversal de um condutor, passam 10^6 elétrons por segundo. Sabendo-se que a carga do elétron é $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, a intensidade da corrente no condutor será:

- a) $1,6 \cdot 10^{-26} \text{ A}$
- b) $1,6 \cdot 10^{-9} \text{ A}$
- c) $1,6 \cdot 10^{-18} \text{ A}$
- d) $6,2 \cdot 10^{25} \text{ A}$
- e) $6,2 \cdot 10^{26} \text{ A}$

576 (PUC-RJ) Considere os seguintes materiais elétricos:

- I) lâmpada incandescente, com filamento de tungstênio
- II) fio de cobre encapado com borracha
- III) bocal (receptáculo) de cerâmica para lâmpadas incandescentes
- IV) solda elétrica de estanho

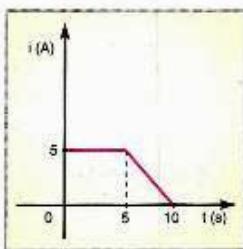
Qual das afirmativas abaixo é correta?

- a) O tungstênio e o cobre são condutores e o estanho é isolante.
- b) A cerâmica e o estanho são isolantes e o tungstênio é condutor.
- c) A cerâmica e o estanho são condutores e a borracha é isolante.
- d) O cobre e o tungstênio são condutores e a cerâmica é isolante.
- e) O cobre é condutor e o tungstênio e a borracha são isolantes.

577 (FAFEOD-MG) Uma corrente elétrica atravessa um condutor cuja intensidade varia no tempo e está descrita no gráfico ao lado.

Qual é a quantidade de carga que atravessa esse condutor no intervalo de 5 s a 10 s?

- a) 37,5 C
- b) 25,0 C
- c) 50,0 C
- d) 12,5 C
- e) 7,5 C

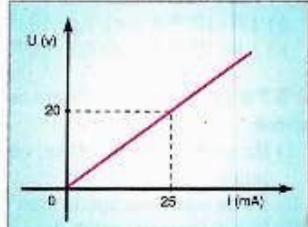


578 (Cesgranrio-RJ) Alguns elementos passivos de um circuito elétrico são denominados resistores ôhmicos por obedecerem à lei de Ohm. Tal lei afirma que:

- a) Mantida constante a temperatura do resistor, sua resistência elétrica é constante, independente da tensão aplicada.
- b) A resistência elétrica do resistor é igual à razão entre a tensão que lhe é aplicada e a corrente que o atravessa.
- c) A potência dissipada pelo resistor é igual ao produto da tensão que lhe é aplicada pela corrente que o atravessa.
- d) O gráfico tensão × corrente para o resistor é uma linha reta que passa pela origem, independente de sua temperatura ser ou não mantida constante.
- e) A resistência elétrica do resistor aumenta com o aumento de sua temperatura e diminui com a diminuição de sua temperatura.

579 (Fatec-SP) Por um resistor faz-se passar uma corrente elétrica i e mede-se a diferença de potencial V . Sua representação gráfica está esquematizada na figura. A resistência elétrica, em ohms, do resistor é:

- a) 0,8
- b) 1,25
- c) 800
- d) 1 250
- e) 80



580 (Eng. S. Carlos-SP) A resistência elétrica de um fio de 300 m de comprimento e 0,3 cm de diâmetro é de $12\ \Omega$. A resistência elétrica de um fio de mesmo material, mas com diâmetro de 0,6 cm e comprimento igual a 150 m, é de:

- a) $1,5\ \Omega$
- b) $6\ \Omega$
- c) $12\ \Omega$
- d) $24\ \Omega$
- e) diferente das anteriores

581 (FAFI-MG) A resistência elétrica de um resistor em forma de fio vale $60\ \Omega$. Qual o comprimento desse fio, sabendo que, ao cortar 3 m do mesmo, a resistência passa a valer $15\ \Omega$?

- a) 0,4 m
- b) 12 m
- c) 1,33 m
- d) 15 m
- e) 4 m

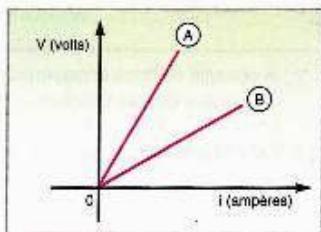
582 (Pucamp-SP) Qual a intensidade da corrente elétrica que atravessa o filamento de uma lâmpada de incandescência de 120 V e 60 W? Qual a resistência do filamento?

- a) $0,50\ A$ e $2,4 \cdot 10^3\ \Omega$
- b) $1,00\ A$ e $4,8 \cdot 10^3\ \Omega$
- c) $1,50\ A$ e $0,80 \cdot 10^3\ \Omega$
- d) $1,00\ A$ e $1,2 \cdot 10^3\ \Omega$
- e) n.d.a.

583 (FEI-SP) Um eletricista modifica a instalação elétrica de uma casa e substitui um chuveiro elétrico ligado em 110 V por outro, de mesma potência, mas ligado em 220 V. Observa-se que o chuveiro passará, então, a:

- a) consumir mais energia elétrica
- b) consumir menos energia elétrica
- c) ser percorrido por uma corrente elétrica maior
- d) ser percorrido por uma corrente elétrica menor
- e) dissipar maior quantidade de calor.

584 (UFSC) O gráfico ao lado refere-se a dois condutores, A e B , de metais idênticos e mesmo comprimento. Na situação mostrada, é correto afirmar:



- 01) Nenhum dos condutores obedece à lei de Ohm.
- 02) Ambos os condutores obedecem à lei de Ohm.
- 04) O condutor que possui a maior área da sua seção retangular é o A .
- 08) O condutor que possui a maior área da sua seção retangular é o B .
- 16) O condutor que tem a maior resistividade é o A .
- 32) O condutor que tem a maior resistividade é o B .
- 64) A resistividade de ambos os condutores é a mesma, mas a resistência do condutor B é maior que a do condutor A . **Resposta: 70**

585 (UFSM-RS) Um fio cilíndrico tem uma resistividade que é:

- diretamente proporcional ao comprimento e à seção transversal do fio
- diretamente proporcional ao comprimento e inversamente proporcional à seção transversal do fio
- c) diretamente proporcional à seção transversal e inversamente proporcional ao comprimento do fio
- inversamente proporcional à seção transversal e ao comprimento do fio
- independente do comprimento e da seção transversal do fio

586 (Unisinos-RS) Nas campanhas para alertar a população sobre a importância de economizar energia, sugere-se não ligar eletrônicos no horário de pico, entre 18 h e 21 h. (Zero Hora, 03/11/97).

A energia elétrica consumida por um ferro de engomar, de 900 W, ao permanecer ligado durante 10 min, é de:

- a) 0,15 kW·h c) 540 000 kW·h e) 540 000 cal
 b) 1,5 W·s d) 540 000 J

587 (UEM-PR) Em dias de inverno, nem sempre o ato de acordar é interessante. Pior ainda quando o chuveiro elétrico não funciona corretamente. Sabendo que a potência dissipada no resistor é função exclusiva de sua resistência, pode-se afirmar que: **Resposta: 24**

- Na posição inverno a potência dissipada no resistor será tanto maior quanto maior for a sua resistência.
- A potência dissipada é a mesma na posição inverno e verão, pois o efeito Joule não transforma energia elétrica em calor.
- Na posição verão a corrente no circuito independe da resistência do resistor.
- Na posição verão a potência dissipada no resistor será tanto menor quanto maior for a sua resistência.
- Na posição inverno, a potência dissipada no resistor será tanto maior quanto menor for a sua resistência.
- A temperatura da água tanto na posição verão quanto na posição inverno independe da potência dissipada.

588 (UFMS) Sobre os conceitos e aplicações da electricidade, é correto afirmar: **Resposta: 29**

- Se um fio de cobre de 6,0 m de comprimento tiver uma resistência de $4,0 \Omega$, então a resistência de 15 m do mesmo fio será de 10Ω .
- Quando os terminais de uma pilha são ligados por um fio condutor, os elétrons no fio deslocam-se do polo positivo para o polo negativo.
- Num conjunto de lâmpadas ligadas em série, todas são percorridas pela mesma corrente elétrica.
- Se um ferro elétrico é percorrido por uma corrente de 5,00 A durante 2,00 h e a voltagem efetiva da rede é de 120 V, o ferro consome 1,20 kWh (quilowatt-hora) de energia nesse período.
- Uma corrente elétrica está relacionada ao movimento de cargas elétricas.

589 (UFPE)

Uma lâmpada L é ligada a um resistor variável R e a uma fonte de força eletromotriz E constante, conforme o esquema da figura ao lado. Com respeito à intensidade luminosa da lâmpada, podemos afirmar que:

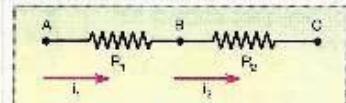
- A intensidade luminosa cresce linearmente com o valor de R .
- b) Quanto menor o valor de R maior a intensidade luminosa.
- C A intensidade luminosa independe do valor de R .
- D A intensidade luminosa será máxima quando R estiver na metade de seu valor máximo.
- E A intensidade luminosa cresce proporcionalmente ao quadrado do valor de R .

590 (FAFI-MG) Em uma associação de resistores diferentes, em série:

- a corrente e a diferença de potencial são os mesmos em todos os resistores
- b) a diferença de potencial é igual em todos eles, e a maior resistência dissipava a menor potência
- c) a diferença de potencial é igual em todos eles, e a maior resistência dissipava a maior potência
- d) as correntes e as potências dissipadas são inversamente proporcionais aos valores das resistências
- e) a resistência equivalente é a soma das resistências da associação

591 (UECE) Associam-se em série dois resistores, sendo $R_1 = 4,0 \Omega$ e $R_2 = 6,0 \Omega$. A tensão medida entre os terminais do primeiro é $U_1 = 60$ V. A corrente i_1 e a tensão U_2 no segundo resistor, respectivamente, valerá:

- a) 10 A e 60 V
 b) 15 A e 90 V
 c) 15 A e 45 V
 d) 10 A e 40 V

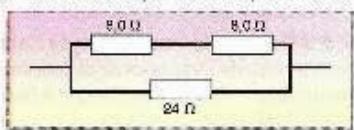


592 (UFAL) Uma corrente elétrica de 2,0 ampères flui num resistor de 5,0 ohms que está associado em série com outro de 15,0 ohms. Nesta associação, a diferença de potencial nos terminais do resistor de 15,0 ohms é, em volts, igual a:

- a) $4,0 \cdot 10^{-1}$
 b) 2,5
 c) 7,5
 d) $1,0 \cdot 10$
 e) $3,0 \cdot 10$

593 (Unifor-CE) Na associação de resistores esquematizada abaixo, a resistência equivalente é, em ohms:

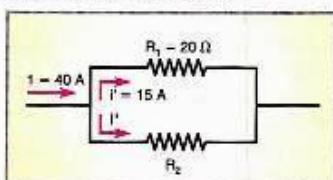
- a) 20
 b) 16
 c) 12
 d) 9,6
 e) 6,0



594 (UERJ) Observe o circuito abaixo:

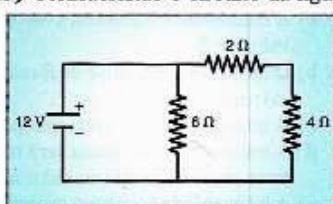
A potência dissipada em R_2 é:

- a) $1,9 \cdot 10^{-2} \text{ W}$
- b) $5,2 \cdot 10^{-1} \text{ W}$
- c) $3,0 \cdot 10^2 \text{ W}$
- d) $3,6 \cdot 10^3 \text{ W}$
- x e) $7,5 \cdot 10^8 \text{ W}$



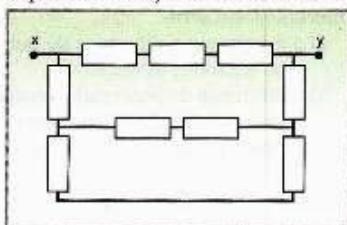
595 (UFSM-RS) Considerando o circuito da figura, a potência dissipada no resistor de 2 ohms é de:

- a) 10 watts
- x b) 8 watts
- c) 6 watts
- d) 4 watts
- e) 2 watts



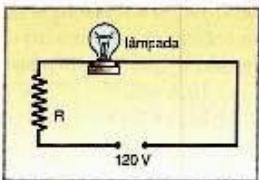
596 (UEL-PR) O valor de cada resistor, no circuito representado no esquema abaixo, é 10 ohms. A resistência equivalente entre os terminais X e Y , em ohms, é igual a:

- a) 10
- x b) 15
- c) 30
- d) 40
- e) 90



597 (Fuvest-SP) A especificação de fábrica garante que uma lâmpada ao ser submetida a uma tensão de 120 V tem potência de 100 W. O circuito da figura pode ser utilizado para controlar a potência da lâmpada, variando-se a resistência R . Para que a lâmpada funcione com uma potência de 25 W, a resistência R deve ser igual a:

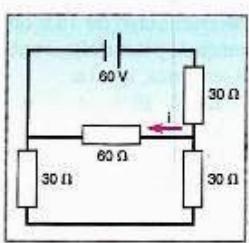
- a) 25Ω
- b) 36Ω
- x c) 72Ω
- d) 144Ω
- e) 288Ω



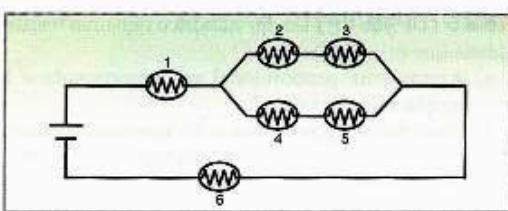
598 (UFAL) Considere o circuito representado no esquema ao lado.

A corrente elétrica i , indicada no esquema, vale, em ampères:

- x a) 0,50
- b) 0,67
- c) 0,80
- d) 1,0
- e) 2,0



599 (UFES) Uma árvore de Natal é iluminada com um circuito de lâmpadas semelhantes, conforme indicado na figura. Considerando que a lâmpada 2 se queima, quais as lâmpadas que permanecerão acesas?

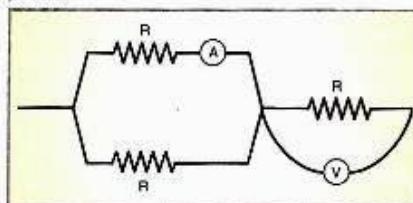


- a) todas as outras
- b) as lâmpadas 1, 4 e 5
- c) as lâmpadas 1 e 6
- x d) as lâmpadas 1, 4, 5 e 6
- e) Nenhuma lâmpada permanecerá acesa.

600 (FURRN) Em uma experiência de eletricidade, um aluno montou um circuito em série com cinco lâmpadas e uma pilha comum. Ao conectar o circuito à pilha verificou que as lâmpadas não acenderam. Fez, então, as seguintes hipóteses para explicar a situação observada:

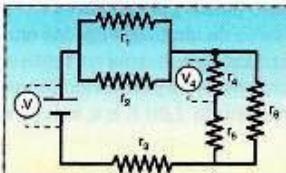
- I) Todas as lâmpadas estão "queimadas".
 - II) O circuito está interrompido.
 - III) A corrente elétrica que se estabeleceu no circuito não é suficiente para acender as lâmpadas.
- Dentre essas hipóteses, qual pode explicar o resultado da experiência?
- a) somente a I
 - b) somente a II
 - x c) a I, a II e a III
 - d) somente a I e a II
 - e) a I, a II e a III

601 (FGV-SP) No trecho de circuito da figura há três resistências R , iguais, um amperímetro (A) e um voltmetro (V) ideais. Se as leituras nesses instrumentos são, respectivamente, 1 A e 10 V, o valor de R , em ohms, é de:



- a) 20
- b) 11
- c) 10
- x d) 5
- e) 1

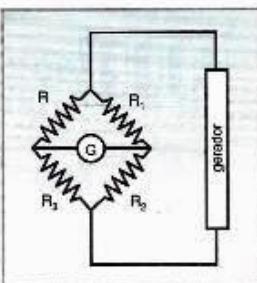
602 (ESAL-MG) Para o circuito de corrente contínua abaixo: $V = 34,0 \text{ V}$; $r_1 = 4,0 \Omega$; $r_2 = 4,0 \Omega$; $r_3 = 3,2 \Omega$; $r_4 = 2,0 \Omega$; $r_5 = 6,0 \Omega$ e $r_6 = 2,0 \Omega$. A queda de tensão indicada pelo voltmetro V_1 é de:



- a) 1,0 V
- x b) 2,0 V
- c) 5,0 V
- d) 8,0 V
- e) 10,0 V

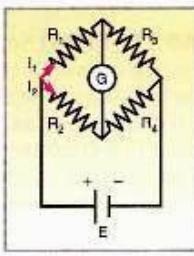
603 (Efei-MG) Indique o valor da resistência R para que a ponte da figura seja equilibrada, se $R_1 = 6 \Omega$, $R_2 = 15 \Omega$ e $R_3 = 30 \Omega$.

- a) 4Ω
- b) 10Ω
- c) 12Ω
- d) 14Ω
- e) 16Ω



604 (PUC-SP) A figura mostra o esquema de uma ponte de Wheatstone. Sabemos que $E = 3 \text{ V}$, $R_1 = R_3 = 5 \Omega$ e que o galvanômetro é de zero central. A ponte entra em equilíbrio quando temos a resistência $R_2 = 2 \Omega$. As correntes i_1 e i_2 (em ampères) valem, respectivamente:

- a) zero e zero
- d) $0,30$ e $0,75$
- b) 2 e 2
- e) $0,43$ e $0,43$
- c) $0,43$ e $0,17$



605 (FURRN) A força eletromotriz de uma bateria é:

- a força elétrica que acelera os elétrons
- a força dos motores elétricos ligados à bateria
- igual ao produto da resistência interna pela corrente elétrica
- igual à tensão elétrica entre os bornes da bateria enquanto eles estão em aberto
- igual à tensão elétrica entre os pólos da bateria quando a eles está ligado um resistor de resistência elétrica igual à resistência interna da bateria

606 (UFRN) Um gerador de corrente contínua em circuito aberto tem uma fem de 120 V . Quando ligado a uma carga que puxa 20 A de corrente, a ddp em seus terminais é de 115 V . Qual é a resistência interna do gerador?

- a) $0,25 \Omega$
- b) $0,50 \Omega$
- c) $1,00 \Omega$
- d) $1,50 \Omega$
- e) 200Ω

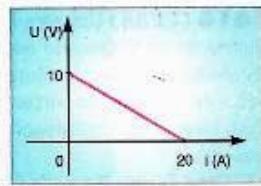
607 (Mack-SP) Um gerador elétrico é percorrido por uma corrente de 2 A de intensidade e dissipava internamente 20 W . Se a ddp entre os terminais do gerador é de 120 V , sua fem é de:

- a) 160 V
- b) 150 V
- c) 140 V
- d) 130 V
- e) 110 V

608 (Unifor-CE) Uma pilha de força eletromotriz $6,0 \text{ V}$ e resistência interna $0,20 \Omega$ fornece uma corrente de $2,0 \text{ A}$ ao circuito externo. Nestas condições, é correto afirmar que:

- a) a ddp nos terminais da pilha vale $6,0 \text{ V}$
- b) a potência elétrica fornecida pela pilha ao circuito externo é de 12 W
- c) o rendimento elétrico da pilha é de 80%
- d) a pilha fornece ao circuito externo energia elétrica na razão de $11,2 \text{ J}$ por segundo
- e) o circuito externo é constituído por um resistor de resistência elétrica $4,8 \Omega$

(Mack-SP) No diagrama da figura temos representada a curva característica de um gerador. Com base neste enunciado, responda aos testes numerados de 609 a 611.



609 A resistência interna do gerador é, em ohms:

- a) 4
- b) 2
- c) 1
- d) $0,5$
- e) n.d.a.

610 A potência que este gerador transmite, quando nele circula uma corrente igual a 2 A , é:

- a) 20 W
- b) 10 W
- c) 18 W
- d) 12 W
- e) n.d.a.

611 Na situação do teste anterior, o rendimento do gerador é:

- a) 50%
- b) 90%
- c) 100%
- d) 60%
- e) n.d.a.

612 (Fatec-SP) Uma pilha elétrica tem fem $E = 6,0 \text{ V}$ e resistência interna $r = 0,20 \Omega$. Então:

- a) a corrente de curto-circuito é $i_{cc} = 1,2 \text{ A}$
- b) em circuito aberto, a tensão entre os terminais é nula
- c) se a corrente for $i = 10 \text{ A}$, a tensão entre os terminais é $U = 2,0 \text{ V}$
- d) se a tensão entre os terminais for $U = 5,0 \text{ V}$, a corrente é $i = 25 \text{ A}$
- e) n.d.a.

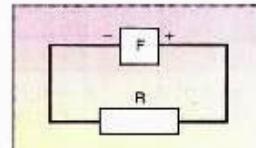
613 (UFES) Uma pilha de fem igual a $1,5 \text{ V}$ e resistência desprezível fornece à lâmpada de uma pequena lanterna uma corrente constante igual a $0,2 \text{ A}$. Se a lâmpada permanece acessa durante 1 h , a energia química da pilha que se transforma em energia elétrica é:

- a) $0,3 \text{ J}$
- c) $7,5 \text{ J}$
- e) $1\,080 \text{ J}$
- b) $1,5 \text{ J}$
- d) 54 J

614 (UFMG) Uma bateria, de força eletromotriz igual a 12 V , tendo resistência interna de $0,5 \Omega$, está ligada a um resistor de $5,5 \Omega$. A tensão nos terminais da bateria e a corrente no circuito são:

- a) 11 V e 1 A
- c) 11 V e 3 A
- e) 12 V e 2 A
- b) 11 V e 2 A
- d) 12 V e 1 A

615 (Puccamp-SP) Uma fonte de tensão ideal F , cuja força eletromotriz é 12 V , fornece uma corrente elétrica de $0,50 \text{ ampères}$ para um resistor R , conforme indica o esquema ao lado.



Se essa fonte de tensão F for substituída por outra, também de 12 V , a corrente elétrica em R será de $0,40 \text{ ampères}$. A resistência interna da nova fonte de tensão é, em ohms, igual a:

- a) $0,10$
- c) $1,2$
- e) $6,0$
- b) $0,60$
- d) $3,0$

616 (UFRS) Um gerador possui uma força eletromotriz de 10 V. Quando os terminais do gerador estão conectados por um condutor com resistência desprezível, a intensidade da corrente elétrica no resistor é 2 A. Com base nessas informações, analise as seguintes afirmativas.

- I) Quando uma lâmpada for ligada aos terminais do gerador, a intensidade da corrente elétrica será 2 A.
 - II) A resistência interna do gerador é 5 Ω .
 - III) Se os terminais do gerador forem ligados por uma resistência elétrica de 2 Ω , a diferença de potencial elétrico entre eles será menor do que 10 V.
- Quais afirmativas estão corretas?

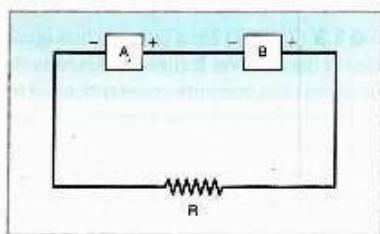
- a) apenas I c) apenas I e II e) I, II e III
 b) apenas II d) apenas II e III

617 (Fatec-SP) Um rádio utiliza 4 pilhas de 1,5 V e resistência interna de 0,5 Ω cada uma. Considerando que as pilhas estão associadas em série, a f.e.m e a resistência equivalente são, respectivamente:

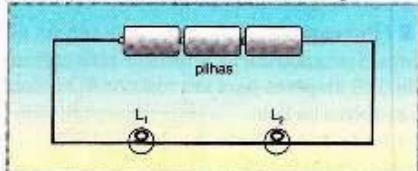
- a) 1,5 V e 2,00 Ω d) 1,5 V e 0,50 Ω
 b) 6,0 V e 0,75 Ω e) 6,0 V e 2,00 Ω
 c) 6,0 V e 0,25 Ω

618 (UFSM-RS) No circuito mostrado na figura, as caixas A e B são geradores que possuem resistências internas iguais. Se a força eletromotriz de cada um dos geradores é de 12 V e a corrente que passa pela resistência R, de 10 Ω , é 2 A, então a resistência interna de cada um dos geradores é, em ohms, de:

- a) 0,1
 b) 0,5
 c) 1,0
 d) 2,0
 e) 10,0

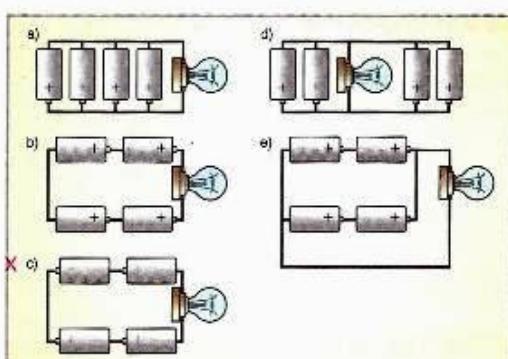


619 (UFRGS) O circuito esquematiza três pilhas de 1,5 V cada uma, ligadas em série às lâmpadas L₁ e L₂. A resistência elétrica de cada uma das lâmpadas é de 15 Ω . Desprezando-se a resistência interna das pilhas, qual a corrente elétrica que passa na lâmpada L₁?



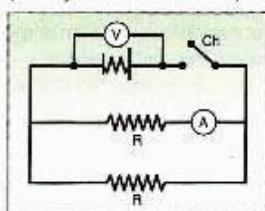
- a) 0,05 A c) 0,15 A e) 0,45 A
 b) 0,10 A d) 0,30 A

620 (Fuvest-SP) Com 4 pilhas ideais de 1,5 V, uma lâmpada de 6 V e fios de ligação, podem-se montar os circuitos esquematizados a seguir. Em qual deles a lâmpada brilhará mais intensamente?



621 (UFES) No circuito esquematizado na figura, quando a chave Ch está aberta, a leitura do voltímetro é de 12 V. Ligando-se a chave, o amperímetro indica 1,0 A e o voltímetro passa a indicar 10 V. O voltímetro e o amperímetro são ideais. A resistência interna da bateria é:

- a) 1,0 Ω d) 10,0 Ω
 b) 2,0 Ω e) 20,0 Ω
 c) 5,0 Ω

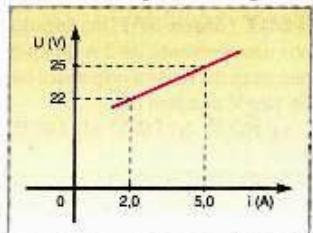


622 (FCMSC-SP) A resistência elétrica interna da bateria de 6 V de um automóvel é igual a 0,01 Ω . O motor de arranque tem resistência elétrica igual a 0,01 Ω . Quando se dá a partida, a corrente elétrica atinge o valor de 50 A. Das afirmativas seguintes, a mais correta é:

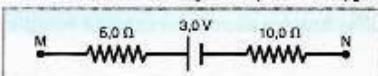
a) A força contra-eletromotriz do motor de arranque é de 5 V.
 b) A resistência elétrica total do circuito é igual a 0,12 Ω .
 c) A potência dissipada nas resistências foi de 1 J/s.
 d) A potência total posta em jogo foi igual a 25 J/s.
 e) O motor de arranque consumiu 6 V.

623 (Mack-SP) A ddp nos terminais de um receptor varia com a corrente, conforme o gráfico da figura. A f.e.m e a resistência interna desse receptor são, respectivamente:

- a) 25 V e 5,0 Ω
 b) 22 V e 2,0 Ω
 c) 20 V e 1,0 Ω
 d) 12,5 V e 2,5 Ω
 e) 11 V e 1,0 Ω

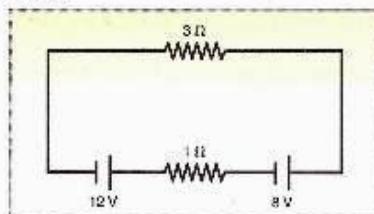


624 (Med. ABC-SP) Na figura, o potencial elétrico do ponto M é 36 V. De M para N circula uma corrente elétrica de intensidade 2,0 A. O potencial elétrico do ponto N é mais corretamente expresso, em volts, pelo valor:



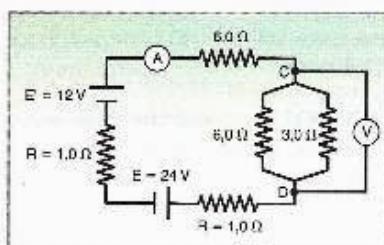
- a) 30 b) 27 c) 18 d) 12 e) 3,0

625 (Fatec-SP) No circuito elétrico a seguir, a intensidade da corrente elétrica e seu sentido são, respectivamente:



- a) 5 A, horário
 X b) 1 A, horário
 c) 5 A, anti-horário
 d) 1 A, anti-horário
 e) 2 A, horário

(PUC-RS) Responda aos testes 626 e 627 com base no seguinte circuito elétrico:

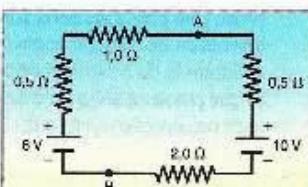


626 A leitura do amperímetro A , considerado ideal, inserido no circuito, em ampères, é de:
 X a) 1,2 b) 1,8 c) 2,0 d) 2,2 e) 5,0

627 A leitura do voltmímetro V , considerado ideal, colocado entre os pontos C e D , em volts, é de:
 a) 1,5 X b) 2,4 c) 3,3 d) 5,2 e) 8,8

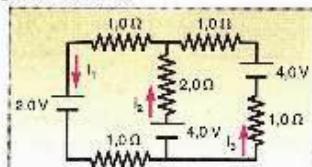
628 (UFV-MG)

No circuito da figura, a potência dissipada por efeito Joule entre os pontos A e B do circuito ϵ , em watts, igual a:



- a) 2,5 b) 2,0 X c) 1,5 d) 0,5 e) 1,0

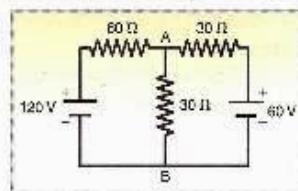
629 (Fesp-PE) As intensidades das correntes i_1 , i_2 e i_3 são, respectivamente:



- a) 0,33 A; 0,33 A e 0,67 A
 b) 0,67 A; 0,33 A e 0,67 A
 c) 0,33 A; 0,67 A e 0,67 A
 d) 0,33 A; 0,67 A e 0,33 A
 X e) 0,67 A; 0,33 A e 0,33 A

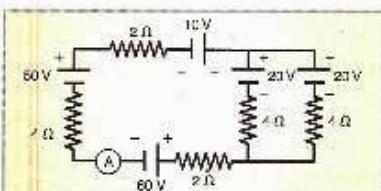
630 (PUC-SP) No circuito elétrico esquematizado na figura, o valor da intensidade da corrente no ramo AB é:

- a) 6,4 A
 b) 4,0 A
 c) 3,2 A
 d) 2,0 A
 X e) 1,6 A



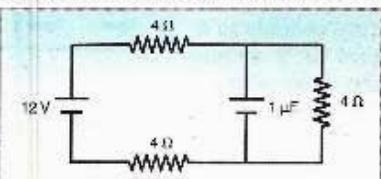
631 (Vunesp-SP) O amperímetro A indicado no circuito da figura é ideal, isto é, tem resistência praticamente nula. Os fios de ligação têm resistência desprezível. A intensidade da corrente elétrica indicada no amperímetro A é de:

- a) $i = 1 \text{ A}$
 X b) $i = 2 \text{ A}$
 c) $i = 3 \text{ A}$
 d) $i = 4 \text{ A}$
 e) $i = 5 \text{ A}$



632 (UFLA-MG) No circuito representado na figura abaixo, a resistência elétrica interna do gerador é desprezível. Assinale a alternativa que apresenta a carga do capacitor:

- a) $8 \mu\text{F}$
 b) $10 \mu\text{F}$
 c) $2 \mu\text{F}$
 d) $1 \mu\text{F}$
 X e) $4 \mu\text{F}$

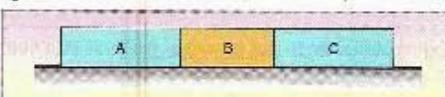


Os testes de 633 a 668 referem-se à unidade XII deste volume.

633 (PUC-SP) Quando uma barra de ferro é magnetizada, são:

- a) acrescentados elétrons à barra
 b) retirados elétrons da barra
 c) acrescentados fmás elementares à barra
 d) retirados fmás elementares da barra
 X e) ordenados os fmás elementares da barra

634 (Cesgranrio-RJ) Uma barra imantada, apoiada numa superfície perfeitamente lisa e horizontal, é dividida habilidosamente em três pedaços (A , B e C). Se a parte B é cuidadosamente retirada, então A e C :



- X a) se aproximam d) se afastam
 b) oscilam e) permanecem em repouso
 c) se desmagnetizam

635 (UFAL) Considere as afirmações I, II e III abaixo, referentes a dois ímãs em barra, com pólos nas extremidades.

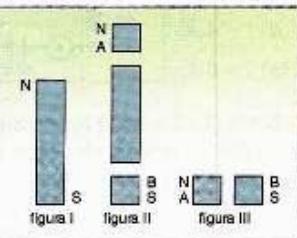
- A força de repulsão entre os dois pólos norte é tanto maior quanto mais próximos estiverem um do outro.
- A força de atração entre os dois pólos sul é tanto maior quanto mais próximos estiverem um do outro.
- Se os dois ímãs forem partidos ao meio tem-se 4 pólos norte e 4 pólos sul.

Pode-se afirmar que:

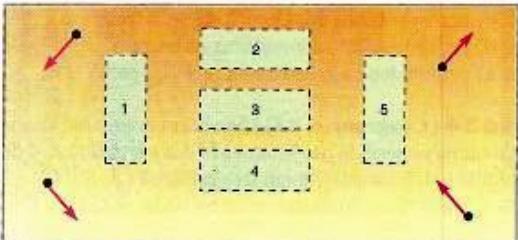
- Somente I é correta.
- Somente II é correta.
- Somente III é correta.
- d) Somente I e III são corretas.
- I, II e III são corretas.

636 (Fuvest-SP) A figura I representa um ímã permanente em forma de barra, onde N e S indicam, respectivamente, pólos norte e sul. Suponha que a barra seja dividida em três pedaços, como mostra a figura II. Colocando lado a lado os dois pedaços extremos, como indicado na figura III, é correto afirmar que eles:

- se atraíram, pois A é polo norte e B é polo sul
- se atraíram, pois A é polo sul e B é polo norte
- não serão atraídos nem repelidos
- se repeliram, pois A é polo norte e B é polo sul
- e) se repeliram, pois A é polo sul e B é polo norte



637 (Cesgranrio-RJ) Quatro bússolas estão coladas no topo de uma mesa de madeira nas posições ilustradas na figura. Elas se orientam conforme é mostrado, sob a ação do forte campo magnético de uma barra imantada colocada em uma das cinco posições numeradas. O campo magnético terrestre é desprezível.



A partir da orientação das bússolas, pode-se concluir que o ímã está na posição:

- 1
- 2
- 3
- 4
- e) 5

638 (PUC-PR) Pendura-se um alfinete pela ponta em uma tesoura. Em seguida, pendura-se um outro alfi-

nete em contato somente com o anterior. Pode-se dizer que:

- O segundo alfinete é atraído pela tesoura.
- Só o primeiro alfinete foi induzido a funcionar como ímã.
- O segundo alfinete é suspenso devido ao seu pouco peso.
- d) Os dois alfinetes funcionam como ímãs.
- Nada dito acima explica o fato.

639 (Unisinos-RS) Sabe-se que a Terra apresenta propriedades magnéticas comportando-se como um imenso ímã. Próximo ao polo _____ geográfico da Terra existe um polo _____ magnético, que atrai o polo _____ da agulha magnética de uma bússola.

As lacunas são corretamente preenchidas, respectivamente:

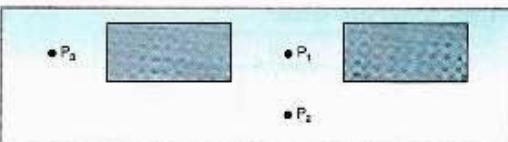
- | | |
|--|------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> a) norte; sul; norte | d) sul; positivo; negativo |
| b) norte; norte; sul | e) norte; positivo; negativo |
| c) sul; sul; norte | |

640 (UFRN) Um escoleiro recebeu, do seu instrutor, a informação de que a presença de uma linha de alta-tensão elétrica pode ocasionar erro na direção que é fornecida, para o norte da Terra, por uma bússola.

Supondo-se que a linha de alta-tensão seja de corrente elétrica contínua, pode-se afirmar que o erro na direção fornecida pela bússola será maior quando:

- a distância da bússola à linha for pequena, a corrente que passa na linha for intensa e a linha estiver orientada na direção norte-sul
- a distância da bússola à linha for grande, a corrente que passa na linha for intensa e a linha estiver orientada na direção leste-oeste
- a distância da bússola à linha for pequena, a corrente que passa na linha for fraca e a linha estiver orientada na direção leste-oeste
- a distância da bússola à linha for grande, a corrente que passa na linha for fraca e a linha estiver orientada na direção norte-sul.

641 (UFAL) O esquema abaixo representa as posições relativas de dois ímãs idênticos com pólos nas extremidades, e os pontos P_1 , P_2 e P_3 nas proximidades dos ímãs.



Considerando somente os pontos P_1 , P_2 e P_3 , o campo magnético gerado por esses ímãs pode ser nulo:

- somente no ponto P_1
- somente no ponto P_2
- somente no ponto P_3
- somente nos pontos P_1 e P_2
- em P_1 , P_2 e P_3

642 (UFSM) Um condutor reto muito longo é percorrido por uma corrente i . A intensidade do campo magnético, em um ponto situado a uma distância r da parte central do mesmo é:

- Independente da distância do ponto ao condutor.
- Diretamente proporcional à intensidade de corrente i .
- Diretamente proporcional à distância do ponto ao condutor.

Das proposições, está(ão) correta(s):

- | | |
|---|------------------------|
| a) somente a I | d) somente a I e a II |
| <input checked="" type="checkbox"/> b) somente a II | e) somente a I e a III |
| c) somente a III | |

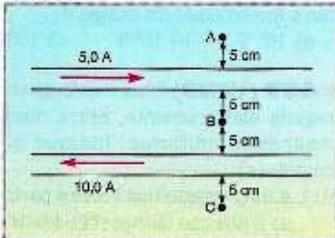
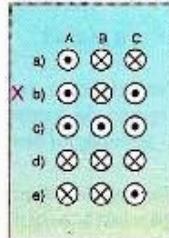
643 (Fesp-PE) Um fio condutor retilíneo e muito longo é percorrido por uma corrente de intensidade 2,0 A. O campo magnético a 50,0 cm do fio terá intensidade:

- | | | |
|--------------------------|--|--------------------------|
| a) $2,0 \cdot 10^{-7}$ T | <input checked="" type="checkbox"/> c) $8,0 \cdot 10^{-7}$ T | e) $3,2 \cdot 10^{-6}$ T |
| b) $4,0 \cdot 10^{-7}$ T | d) $1,6 \cdot 10^{-6}$ T | |

644 (FEI-SP) Um fio condutor retilíneo muito longo, imerso em um meio cuja permeabilidade magnética é $\mu_0 = 6\pi \cdot 10^{-7}$ Tm/A, é percorrido por uma corrente I . A uma distância $r = 1$ m do fio sabe-se que o módulo do campo magnético é 10^{-8} T. Qual é a corrente elétrica I que percorre o fio?

- | | | |
|--|---------|--------|
| <input checked="" type="checkbox"/> a) 3,333 A | c) 10 A | e) 6 A |
| b) 6π A | d) 1 A | |

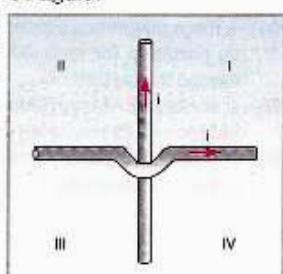
645 (Fatec-SP) Dois condutores retos, paralelos e longos, separados pela distância de 10 cm, são percorridos por correntes opostas, de intensidades 5,0 A e 10,0 A. Como são dirigidos os campos de indução que eles produzem nos pontos A, B e C?



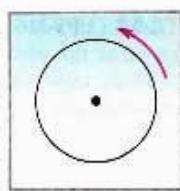
646 (UFMG) Observe a figura.

Nessa figura, dois fios retos e longos, perpendiculares entre si, cruzam-se sem contato elétrico e, em cada um deles, há uma corrente I , de mesma intensidade. Na figura, há regiões em que podem existir pontos nos quais o campo magnético resultante, criado pelas correntes, é nulo. Essas regiões são:

- | | | |
|--|-------------|------------|
| a) I e II | c) I e IV | e) II e IV |
| <input checked="" type="checkbox"/> b) I e III | d) II e III | |



647 (Osec-SP) Uma espira circular de raio π cm é percorrida por uma corrente de intensidade 2,0 A, no sentido anti-horário, como mostra a figura. O vetor indução magnética no centro da espira é perpendicular ao plano da figura e de intensidade: (Dados: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T·m/A.)



- | |
|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> a) $4 \cdot 10^{-6}$ T, orientado para fora |
| b) $4 \cdot 10^{-6}$ T, orientado para dentro |
| c) $2 \cdot 10^{-4}$ T, orientado para fora |
| d) $2 \cdot 10^{-4}$ T, orientado para dentro |
| e) $4 \cdot 10^{-4}$ T, orientado para fora |

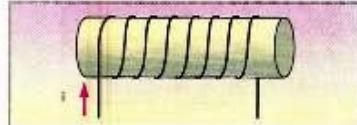
648 (UFSC) Seja uma espira circular de raio r , na qual passa uma corrente de intensidade i . Considere o campo magnético gerado por essa espira. Marque a(s) proposição(ões) verdadeira(s): **Resposta: 1**

- O campo no centro da espira é perpendicular ao plano definido pela espira.
- O campo no centro da espira está contido no plano definido pela espira.
- O campo gerado fora da espira, no plano definido por ela, tem mesma direção e sentido do campo gerado no interior da espira, também no plano definido por ela.
- Se dobrarmos a corrente i , o campo gerado cai à metade.
- Se dobrarmos o raio da espira, o campo gerado em seu centro cai a $\frac{1}{4}$ do valor anterior.
- Se invertermos o sentido da corrente, a direção e o sentido do campo gerado não se alteram.

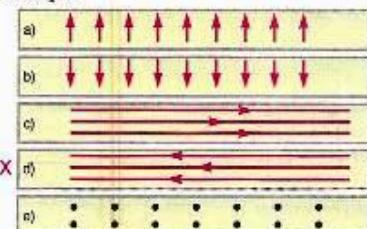
649 (UFBA) Duas espiras circulares, concêntricas e coplanares, de raios R_1 e R_2 , sendo $R_1 = \frac{2R_2}{5}$, são percorridas respectivamente pelas correntes i_1 e i_2 ; o campo magnético resultante no centro da espira é nulo. A razão entre as correntes i_1 e i_2 é igual a:

- | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|
| <input checked="" type="checkbox"/> a) 0,4 | b) 1,0 | c) 2,0 | d) 2,5 | e) 4,0 |
|--|--------|--------|--------|--------|

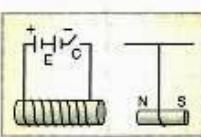
650 (UFSM-RS) Observe a seguinte figura:



O campo magnético no interior da bobina é melhor representado por:



651 (UFV-MG) A figura representa um eletroimã e um pêndulo, cuja massa, presa à extremidade, é um pequeno imã.



Ao fechar a chave C , é correto afirmar que:

- a) o imã do pêndulo será repelido pelo eletroimã
- b) o imã do pêndulo será atraído pelo eletroimã
- c) o imã do pêndulo irá girar em torno do fio que o suporta
- d) o polo sul do eletroimã estará à sua direita
- e) o campo magnético no núcleo do eletroimã é nulo

652 (Osec-SP) Uma bobina chata é formada de 50 espiras circulares de raio 0,1 m. Sabendo-se que as espiras são percorridas por uma corrente de 3 A, a intensidade do vetor campo magnético no seu centro será de ($\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{nA}$):

- a) $3\pi \cdot 10^{-4} \text{ T}$
- c) $15\pi \cdot 10^{-8} \text{ T}$
- e) n.d.a.
- b) $60\pi \cdot 10^{-7} \text{ T}$
- d) $19\pi \cdot 10^{-6} \text{ T}$

653 (Osec-SP) Um solenóide comprehende 5 mil espiras por metro. Adote $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{nA}$. O campo magnético originado na região central pela passagem de uma corrente de 0,2 A é de:

- a) $4\pi \cdot 10^{-4} \text{ tesla}$
- d) $2\pi \cdot 10^{-3} \text{ tesla}$
- b) $8\pi \cdot 10^{-4} \text{ tesla}$
- e) n.d.a.
- c) $4\pi \cdot 10^{-3} \text{ tesla}$

654 (UFS) A figura representa um condutor retilíneo, percorrido por uma corrente elétrica i , imerso num campo magnético uniforme \vec{B} orientado perpendicularmente ao plano da figura, para fora.



Esse condutor estará sujeito à ação de uma força magnética \vec{F} cuja direção e sentido estão melhor representados pelo vetor:

- a)
- c)
- d)
- e)

655 (UFPA) Na figura a seguir nota-se um trecho do circuito PQ de comprimento $\ell = 0,20 \text{ m}$, percorrido por uma corrente elétrica de intensidade $i = 20 \text{ A}$, e sujeito a um campo de indução uniforme de intensidade $B = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ T}$; o trecho do condutor forma com o campo magnético uniforme \vec{B} o ângulo de 30° . A



força que o campo exerce sobre o trecho do condutor aplica-se ao ponto médio do segmento PQ e:

- a) é normal ao plano da figura, dirigida para o observador e tem intensidade 10^{-3} N
- b) é paralela ao plano da figura, dirigida para P com intensidade $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ N}$
- c) é paralela ao plano da figura, dirigida para Q e tem intensidade $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ N}$
- d) é normal ao plano da figura, dirigida para dentro da página com intensidade $2,0 \cdot 10^{-2} \text{ N}$
- e) é paralela ao plano da figura, dirigida na direção de B e tem intensidade 10^{-2} N

656 (UFV-MG) Um fio de comprimento $\ell = 30 \text{ cm}$ faz um ângulo de 90° com um campo magnético de intensidade $B = 0,5 \text{ T}$. Se o fio é percorrido por uma corrente elétrica de 400 mA , o módulo da força que atua no fio é, em newtons:

- a) $6,0 \cdot 10^3$
- c) $6,0 \cdot 10^{-1}$
- e) $6,0 \cdot 10^{-4}$
- b) 60
- d) $6,0 \cdot 10^{-2}$

657 (UFRGS) Analisando o comportamento de partículas que se movimentam perpendicularmente à direção de um campo magnético, verifica-se que a partícula que não é acelerada pela força devida a esse campo é:

- a) o neutrão
- d) a partícula alfa
- b) o próton
- e) a partícula beta
- c) o elétron

658 (UFMA) Uma carga elétrica de 10^{-10} C é lançada perpendicularmente às linhas de força de um campo magnético, com uma velocidade de 10^3 m/s . Sabendo-se que uma força de 10^{-8} N passa a agir sobre a carga, então a intensidade do campo é:

- a) 10^3 T
- b) 10^4 T
- c) 10 T
- d) 10^{-1} T

659 (UFMS) Uma partícula com velocidade v , carregada eletricamente, entra numa região de campo magnético uniforme. Indique a(s) afirmação(es) correta(s): **Resposta: 18**

- 01) A força magnética sobre a partícula é máxima quando a direção da sua velocidade é paralela à do campo magnético.
- 02) A trajetória da partícula ao entrar perpendicularmente na direção do campo magnético é circular.
- 04) A força magnética é nula se a direção da velocidade da partícula for inclinada em relação à direção do campo magnético.
- 08) A aceleração da partícula devido à força magnética independe da massa da partícula.
- 16) A força magnética altera apenas a direção da velocidade da partícula.

660 (UFPR) Sobre os conceitos e aplicações da Eletricidade e do Magnetismo, é incorreto afirmar que:

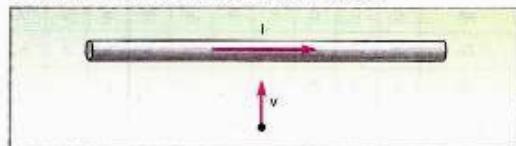
- a) Quebrando um imã ao meio, obtemos dois novos imãs.
- b) Imãs permanentes e correntes elétricas geram campo magnético.

- c) É possível provocar a deflexão de uma agulha magnetizada aproximando-a de um fio conduzindo uma corrente elétrica.
- d) Se uma partícula carregada se move num campo magnético uniforme perpendicularmente à direção do campo, então a força magnética sobre ela é nula.
- e) As linhas de força do campo magnético nas vizinhanças de um fio retilíneo longo conduzindo corrente elétrica são circunferências com centros no fio.

661 (UFES) Uma partícula cuja razão massa/carga é igual a $1,0 \cdot 10^{-13} \text{ kg/C}$ penetra em um acelerador, de partículas, com velocidade igual a $25,0 \cdot 10^6 \text{ m/s}$, passando a descrever uma órbita circular de raio igual a $1,00 \cdot 10^3 \text{ m}$, sob influência de um campo magnético perpendicular ao plano da órbita. O módulo do campo magnético é igual a:

- a) $1,00 \cdot 10^{-20} \text{ T}$ d) $2,50 \cdot 10^{12} \text{ T}$
 b) $2,50 \cdot 10^{-9} \text{ T}$ c) $6,25 \cdot 10^{16} \text{ T}$
 e) $6,25 \cdot 10^{-3} \text{ T}$

662 (UFCE) Um próton se aproxima de um fio que transporta uma corrente elétrica i . Nunca dado instante de tempo, a direção do fio e o vetor velocidade do próton apontam em direções perpendiculares, e ambos estão contidos no plano da página (ver figura).



Nesse instante, a força magnética que atua sobre o próton tem:

- a) a mesma direção e o mesmo sentido da corrente
 b) a direção da corrente e sentido contrário ao dela
 c) a direção da velocidade e sentido contrário ao dela
 d) a mesma direção e o mesmo sentido da velocidade
 e) direção perpendicular à corrente e à velocidade, saindo da página

663 (Fesp-SP) Uma partícula de carga $q = 4 \cdot 10^{-18} \text{ C}$ e massa $m = 2 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$ penetra, ortogonalmente, numa região de um campo magnético uniforme de intensidade $B = 10^{-3} \text{ T}$, com velocidade $v = 10^5 \text{ m/s}$. O raio da órbita descrita pela partícula é de:

- a) 10 cm d) 70 cm
 b) 30 cm e) nenhuma das alternativas
 c) 50 cm

664 (Unicruz-RS) Uma partícula de carga 2 nC descreve uma trajetória circular de 12 cm de diâmetro, quando lançada, perpendicularmente a um campo magnético uniforme de intensidade $4,0 \cdot 10^{-4} \text{ T}$, com uma velocidade de $0,01 c$. Qual a massa desta partícula? (c = velocidade da luz no vácuo = $3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$)

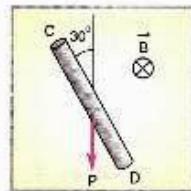
- a) $1,6 \cdot 10^{-20} \text{ kg}$ d) $4,8 \cdot 10^{-22} \text{ kg}$
 b) $3,2 \cdot 10^{-21} \text{ kg}$ e) $9,6 \cdot 10^{-21} \text{ kg}$
 c) $3,6 \cdot 10^{-22} \text{ kg}$

665 (UERJ) Uma partícula carregada penetra em um campo de indução magnética uniforme, com velocidade perpendicular à direção do campo e de módulo constante. Nestas condições, o período do movimento da partícula é T . Dobrando-se a intensidade da indução magnética, o novo período do movimento vale:

- a) $\frac{T}{4}$ b) $\frac{T}{2}$ c) T d) $2T$ e) $4T$

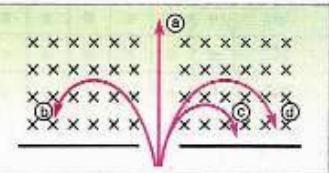
666 (Mack-SP) A figura abaixo indica uma barra metálica CD, de 2 N de peso e 2 m de comprimento, que forma um ângulo de 30° com a vertical, mergulhada num campo de indução magnética uniforme, horizontal e perpendicular à barra, com o sentido para dentro do plano da figura, de intensidade $B = 0,5 \text{ T}$. Para que a barra não caia, é necessário que ela seja percorrida por uma corrente de:

- a) 2 A, de C para D
 b) 4 A, de C para D
 c) 2 A, de D para C
 d) 4 A, de D para C
 e) nenhuma das alternativas



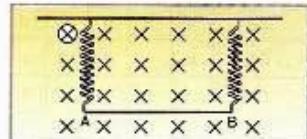
667 (UFMS) Quatro partículas, que podem estar eletricamente carregadas ou não, penetram numa região onde existe um campo magnético uniforme apontando para dentro do plano da página. Suas trajetórias, no plano da página, estão representadas na figura ao lado.

- Pode-se afirmar corretamente:
- 01) A carga da partícula a é negativa.
 - 02) A carga da partícula b é positiva.
 - 04) Se as partículas c e d forem iguais, d terá maior velocidade que c .
 - 08) As partículas c e d devem ter necessariamente cargas de mesmo sinal.
 - 16) Se as partículas a e b têm a mesma velocidade escalar e a mesma massa, o módulo da carga de a é maior que o módulo da carga de b . **Resposta: 14**



668 (Mack-SP) A figura ilustra duas molas flexíveis, condutoras, que sustentam uma haste AB também condutora, de massa 2 g e comprimento 1 m, imersa num campo magnético uniforme perpendicular a ela, de intensidade 1 T, num local onde a aceleração da gravidade é 10 m/s^2 . Para que se anulem as trações nos condutores helicoidais (molas), o sentido da corrente na haste e a sua intensidade são, respectivamente:

- a) de A para B e 0,02 A d) de B para A e 0,02 A
 b) de B para A e 0,01 A e) de B para A e 0,05 A
 c) de A para B e 0,01 A



RESPOSTAS DOS TESTES DE VESTIBULAR

Para encontrar a resposta de cada teste, observe o seguinte exemplo:

Qual é a resposta do teste 246?

Procure a linha correspondente ao número 24 e a coluna correspondente ao número 6.
O encontro da linha com a coluna fornece a resposta, que no caso é b.

Linhas \ Colunas	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	c	d	e	d	d	c	c	b	d	
1	d	b	d	c	a	d	c	c	e	
2	b	b	d	c	d	d	b	d	b	
3	b	d	e	d	b	b	b	c	c	
4	c	54	c	d	a	c	s	c	b	
5	d	e	a	a	a	e	d	b	d	
6	a	21	d	a	a	s	a	b	b	
7	b	b	c	e	d	b	a	c	a	
8	d	c	c	b	b	d	e	d	a	
9	s	b	c	c	d	a	18	e	e	
10	e	e	a	d	e	a	c	b	c	
11	d	b	c	d	a	c	c	a	d	
12	b	a	26	d	c	c	a	e	68	
13	a	e	b	c	a	b	d	b	d	
14	c	14	10	b	a	d	b	b	b	
15	e	b	d	b	c	d	a	a	c	
16	d	b	b	b	c	b	c	b	c	
17	d	b	a	11	e	a	a	a	d	
18	c	b	e	d	c	d	c	d	e	
19	d	f	e	a	b	a	c	e	c	
20	c	d	a	b	e	b	a	c	d	
21	b	b	a	b	b	c	b	d	d	
22	e	c	b	b	a	e	b	c	21	
23	d	a	d	d	a	b	c	b	a	
24	a	b	a	a	13	d	b	d	d	
25	a	c	d	a	c	a	b	a	d	
26	e	d	e	a	c	b	a	c	b	
27	e	d	d	d	d	a	b	c	a	
28	b	a	e	12	c	c	b	c	e	
29	d	e	a	a	b	d	e	c	c	
30	d	d	d	b	c	s	s	a	d	
31	a	c	e	b	a	c	12	c	d	
32	c	e	e	e	b	e	b	e	24	
33	e	e	c	b	d	d	a	b	46	
										18

Linhas \ Colunas	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
34	a	a	b	b	a	e	c	c	a	c
35	d	e	a	c	a	12	21	b	c	a
36	b	d	43	27	a	b	c	a	d	c
37	c	d	b	a	b	b	a	d	c	d
38	b	e	b	b	e	e	c	d	b	b
39	b	a	b	b	b	a	e	e	d	b
40	26	b	b	e	a	a	c	c	d	a
41	a	a	c	21	c	77	a	e	c	c
42	d	a	a	e	d	a	d	d	c	5
43	e	b	c	a	d	d	d	d	a	a
44	b	b	d	c	9	a	d	a	b	b
45	c	d	d	b	b	a	b	a	c	a
46	b	d	62	c	c	5	c	a	b	24
47	61	b	c	b	e	a	d	a	e	15
48	b	a	37	d	c	e	b	b	57	d
49	c	c	c	d	d	d	d	92	a	8
50	c	c	c	a	c	b	a	a	a	a
51	b	c	e	b	e	d	a	b	b	d
52	10	16	a	d	a	c	b	c	b	b
53	e	c	e	d	c	b	d	b	a	d
54	e	a	e	b	d	e	a	a	c	b
55	25	c	b	d	b	d	d	e	b	d
56	10	16	c	61	d	e	d	b	b	d
57	d	d	c	a	d	c	d	d	a	c
58	s	e	a	d	70	c	d	24	29	b
59	e	b	s	d	e	b	b	d	a	d
60	c	d	b	c	c	d	a	d	d	d
61	c	b	e	e	b	e	d	e	c	c
62	c	a	a	c	e	b	a	b	c	e
63	s	b	e	e	a	d	e	s	d	s
64	a	a	b	c	a	b	b	a	l	a
65	d	a	a	a	a	a	d	a	d	18
66	d	b	b	c	a	b	b	14	a	

BIBLIOGRAFIA

- CAIANIELLO, Eduardo R. e MARINARO, Maria. *Física - Per i licei*. vols. 1, 2 e 3, Milão, Garzanti Editore, 1987.
- CANDEL, Agustín; SOLER, Juan Bautista; SATOCA, José e TENT, Juan José. *Física y Química*. vols. 1 e 2, Madri, Anaya, 1987.
- _____. *Física y Química*. Bacharelato 1 e 2. Madri, Anaya, 1992.
- DAVOLI, Mario. *Física - per i licei scientifici*. vols. 1, 2 e 3, 2. ed. Pádua, CEDAM, 1982.
- GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA. *Física*. vols. 1, 2 e 3, São Paulo, Edusp, 1995.
- GOURSAUD, Alain; BAURRIER, Marie-Christine; GOMEZ, Gilles; JOURDAIN, Jean e PRAT, Jean. *Sciences Physiques*, 3^a. Paris, Bordas, 1994.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert e WALKER, Jearl. *Fundamentos de Física*. vols. 1, 2, 3 e 4, 4. ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, 1995.
- KITTEL, Charles; KNIGHT, Walter D. e RUDERMAN, Malvin A. *Curso de Física de Berkeley*. Trad. José Goldemberg e Wiktor Wajntal. vols. 1 e 2, São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda., 1973.
- MAIZTEGUI - SABATO. *Física*. Trad. Ruy P. S. Sieczkowski. vols. 1 e 2, Rio de Janeiro, Globo, 1973.
- MIANO, Luigi e CORTI, Antonella. *Física e Laboratorio*. vols. 1 e 2, Milão, Fabbri Editori, 1987.
- PIÓRICHKINE, A. V. e RÓDINA N. A. *Física*. Trad. K. Asryantz. vols. 1, 2 e 3, Moscou, Editora Mir Moscovo, 1986.
- SEARS, Francis; ZEMANSKY, Mark W. e YOUNG, Hugh D. *Física*. Trad. Jean Pierre Von der Weid. vols. 1 e 2, 2. ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 1985.
- SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO DE SÃO PAULO. *Subsídios para Implementação da Proposta Curricular de Física para o 2º Grau*. vols. 1 a 8, São Paulo, 1979 a 1982.
- TAGLIARO, Antonio. *Física*. vols. 1, 2 e 3, São Paulo, FTD, 1966.

SIGNIFICADO DAS SIGLAS

Acafe-SC — Associação Catarinense de Fundações Educacionais ao Ensino Superior	Med. Santos — Faculdade de Ciências Médicas de Santos - SP
AEU-DF — Associação de Ensino Unificado do Distrito Federal	Med. Vassouras — Faculdade de Medicina de Vassouras - RJ
Belas Artes-SP — Faculdade de Belas Artes de São Paulo	Metodista-SBC — Instituto Metodista de Ensino Superior, São Bernardo do Campo - SP
Cefet-PR — Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná	Odonto-Diamantina — Faculdade Federal de Odontologia de Diamantina - MG
Cefet-RJ — Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow Fonseca	Osec-SP — Organização Santamarense de Educação e Cultura
Cescea-SP — Centro de Seleção de Candidatos das Escolas de Economia e Administração	PUC — Pontifícia Universidade Católica
Cescem-SP — Centro de Seleção de Candidatos às Escolas Médicas e Biológicas	Puccamp-SP — Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Cesesp-PE — Centro de Estudos Superiores do Estado de Pernambuco	Santa Casa-SP — Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo
Cesgrannio — Centro de Seleção de Candidatos ao Ensino Superior do Grande Rio - RJ	UA-AM — Universidade do Amazonas
EEM-SP — Escola de Engenharia de Mauá	UCS-RS — Universidade de Caxias do Sul
FEFI-MG — Escola Federal de Engenharia de Itajubá	UECE — Universidade Estadual do Ceará
EFOA-MG — Escola de Farmácia e Odontologia de Alagoas	UEL-PR — Universidade Estadual de Londrina
ENCE-RJ — Escola Nacional de Ciências e Estatística	UEPG-PR — Universidade Estadual de Ponta Grossa
ESAL-MG — Escola Superior de Agricultura de Lavras	UFAL — Universidade Federal de Alagoas
Esam-RN — Escola Superior de Agricultura de Mossoró	UFBA — Universidade Federal da Bahia
ESPM-SP — Escola Superior de Propaganda e Marketing	UFC-CE — Universidade Federal do Ceará
FAAP-SP — Fundação Armando Álvares Penteado	UFES — Universidade Federal do Espírito Santo
FAM-SP — Faculdades Anhembi-Morumbi	UFGO — Universidade Federal de Goiás
Fasp-SP — Faculdades Associadas de São Paulo	UFJF-MG — Universidade Federal de Juiz de Fora
Fatec-SP — Faculdade de Tecnologia	UFMS — Universidade Federal do Mato Grosso do Sul
FCC-SP — Fundação Carlos Chagas	UFOP-MG — Universidade Federal de Ouro Preto
FEEQ-CE — Fundação Educacional Edson de Queiroz	UFPA — Universidade Federal do Pará
FEI-SP — Faculdade de Engenharia Industrial	UFPE — Universidade Federal de Pernambuco
FES-SP — Faculdade de Engenharia de Sorocaba	UFPel-RS — Universidade Federal de Pelotas
Fesp-PE — Fundação de Ensino Superior de Pernambuco	UFRGS — Universidade Federal do Rio Grande do Sul
FGV-SP — Fundação Getúlio Vargas	UFRJ — Universidade Federal do Rio de Janeiro
FMU-FAAM-SP — Faculdades Metropolitanas Unidas / Faculdades de Artes Alcântara Machado	UFRN — Universidade Federal do Rio Grande do Norte
FMS-SE — Faculdade de Medicina de Sergipe	UFSC — Universidade Federal de Santa Catarina
FUCMT — Faculdades Unidas Católicas de Mato Grosso	UFSM-RS — Universidade Federal de Santa Maria
Fumec-MG — Fundação Mineira de Educação e Cultura	UFU-MG — Universidade Federal de Uberlândia
FURRN — Fundação Universidade Regional do Rio Grande do Norte	UFV-MG — Universidade Federal de Viçosa
Fuvest-SP — Fundação para o Vestibular da Universidade de São Paulo	UMC-SP — Universidade de Mogi das Cruzes
Ibero-Americana-SP — Faculdade Ibero-Americana de Letras e Ciências Humanas	UnB-DF — Universidade de Brasília
IME-RJ — Instituto Militar de Engenharia	Unesp-SP — Universidade Estadual Paulista
ITA-SP — Instituto Tecnológico de Aeronáutica	Unicap-PE — Universidade Católica de Pernambuco
ITE-Bauru — Instituto Toledo de Ensino, Bauru - SP	Unicruz-RS — Universidade de Cruz Alta
Mack-SP — Universidade Mackenzie	Unifor-CE — Universidade de Fortaleza
Med. ABC — Faculdade de Medicina do ABC, Santo André - SP	Unimep-SP — Universidade Metodista de Piracicaba
Med. Bragança — Faculdade de Medicina de Bragança - SP	Unip-SP — Universidade Paulista Objetivo
Med. Catanduva — Faculdade de Medicina de Catanduva - SP	Unirio-RJ — Universidade do Rio de Janeiro
Med. Itajubá-MG — Faculdade de Medicina de Itajubá	Unisantos — Universidade Católica de Santos - SP
Med. Jundiaí — Faculdade de Medicina de Jundiaí - SP	Unisinos-RS — Universidade Vale do Rio dos Sinos
Med. Pouso Alegre — Faculdade de Ciências Médicas Dr. José Antônio G. Coutinho, Pouso Alegre - MG	Unitau-SP — Universidade de Taubaté
	Uniube-MG — Universidade de Uberaba
	USC-SP — Universidade do Sagrado Coração, Bauru
	USJTSP — Universidade São Judas Tadeu
	Vunesp-SP — Fundação para o Vestibular da Universidade Estadual Paulista

RESPOSTAS

UNIDADE I

QUESTÕES

- Q1.** a) 7 000 m
b) 300 s
c) 28 800 s
d) 5,80 m
e) 15 m
Q2. a) 2 000 000 m²
b) 80 000 m²
c) 0,9 m²

- Q3.** a) 0,001 m³
b) 0,5 m³
c) 0,06 m³

Q4. 5h 15min

- Q5.** a) 260 g
b) 0,01 cm

Q6. 8,9 jardas

- Q7.** a) metro; segundo; quilômetro por hora;
centímetro quadrado e litro
b) comprimento; tempo; velocidade;
área e volume

Q8. velocidade, força, calor, temperatura,
potência e volume

Q9. 20 cm

Q10. 370,4 km

- Q11.** a) $3,4 \cdot 10^{-5}$
b) $7 \cdot 10^5$
c) $1,2 \cdot 10^4$
d) $5 \cdot 10^9$
e) $2 \cdot 10^8$

- Q12.** a) $1,07 \cdot 10^{21} \text{ m}^2$
b) $1,4 \cdot 10^{27} \text{ m}^2$
c) $2,2 \cdot 10^{18} \text{ m}^2$

- Q13.** a) 0,00000001 a
b) 0,001 g
c) 0,1 m
d) 0,000001 m

- Q14.** a) $1 \cdot 10^6 \text{ W}$
b) $1,2 \cdot 10^6 \text{ W}$
c) $5 \cdot 10^{12} \text{ s}$

Q15. 1 000 l

- Q16.** a) $5 \cdot 10^{17} \text{ s}$
b) $5 \cdot 10^8 \text{ kg}$

- c) $7 \cdot 10^{-10} \text{ kg}$
d) $2 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$

UNIDADE II

QUESTÕES

Q1. I e III

Q2. sim

- Q3.** a) 480 m
b) $120 \text{ m} \pm 40\sqrt{5} \text{ m}$

- Q4.** a) $-8 \text{ m} \pm -20 \text{ m}$
b) $78 \text{ m} \pm -12 \text{ m}$

- Q5.** a) 50 m e 50 m
b) 100 m e 140 m

Q6. 192 km e zero

- Q7.** a) $80\sqrt{2} \text{ m} \pm 40\pi \text{ m}$
b) $160 \text{ m} \pm 80\pi \text{ m}$
c) zero e $160\pi \text{ m}$

Q8. 1 188 km/h

Q9. 9,7 m/s

Q10. 12 voltas

Q11. O espaço percorrido e o tempo gasto.

Q12. 40 km/h

Q13. 60 km/h

Q14. 25 m/s

Q15. 50 km/h

Q16. 12 milhas/hora c) $= 5,36 \text{ m/s}$

b) $19,308 \text{ km/h}$

Q17. a) 18,52 km/h b) $\approx 5,14 \text{ m/s}$

Q18. 45 km/h

Q19. 42 km/h

Q20. 20 min e 60 km/h

Q21. negativa: da esquerda para a direita
positiva: da direita para a esquerda

Q22. 10 km

b) 20 km/h; -20 km/h

c) progressivo: entre 1 h e 5 h
retrogrado: entre 6 h e 12 h

d) 120 km e 120 km; -120 km

e) 120 km; 0 e 240 km

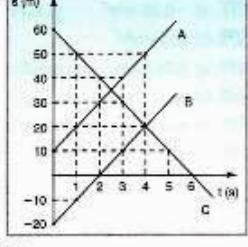
Q23. a) velocidade escalar instantânea

b) 2 km/min c) 1,5 km/min

Q24. retílineo: linhareta

uniforme: com velocidade constante

Q25. a) $s_A = 10 + 10t$; $s_B = -20 + 10t$;

Q26. 

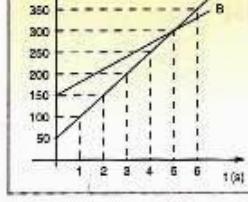
c) 70 m

d) 80 m

Q27. a) $\approx 21 \text{ m/s}$ b) não

Q28. a) 300 m

b) 7,5 s

c) 

Q29. a) 10 m

b) 2 m/s

c) 14 m

d) 5 s

Q30. 180 km

Q31. a) 6,5 h

b) 450 km

Q32. a) $s_A = -4t$

b) $s_B = 1200 + 6t$

b) 60 s

Q33. 16 h e a 162 km

Q34. 20 km

Q35. a) $\frac{40}{3} \text{ s}$
b) 120 s

Q36. 90 m

Q37. a) 14,4 s
b) 288 m e 216 m

Q38. 9 s

Q39. 20 s

Q40. 0,5 s

Q41. 6 800 m

Q42. 425 m

Q43. 68 m

Q44. a) Sim, pois o gráfico é uma reta.
b) $s_A = 40 + 5t$ e $s_B = 50 - 8,34t$

Q45. a) 1000 km/h
b) 8 500 km

Q46. a) -10 m
b) permanece em repouso

c) $t = 4 \text{ s} \pm 1 = 9 \text{ s}$

d) $5 \text{ m/s} \pm -3,3 \text{ m/s}$

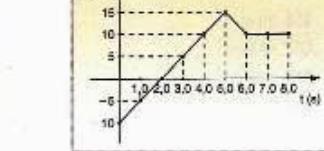
Q47. a) 8 s b) 1 200 m

Q48. 0,5 s e 3,5 m

Q49. a) -10 m
b) 10 m

c) 2,0 s

d) 20 m



f) 5 m/s ; -5 m/s ; 0

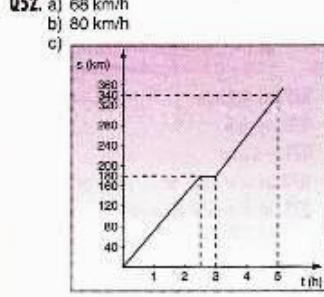
Q51. a) entre 2 s e 4 s e entre 7 s e 8 s

b) 4 s e 7 s

c) 1 s e 6 s

d) 120 m e 40 m; 160 m e 0

e) 40 m/s e -20 m/s



- Q53.** a) 900 m
b)
-
- Q54.** a)
-
- b)
-
- c)
-
- Q55.** a)
-
- b) sim
c)
-
- d) 6,5 s
e) 33 m
f) -30 m
- Q56.** 50 m
- Q57.** 55 km/h
- Q58.** 4 m/s²
- Q59.** 5 m/s
- Q60.** 5 m/s²
- Q61.** 5 m/s²
- Q62.** 4 m/s²
- Q63.** a) -4 m/s²
b) acelerado
- Q64.** A velocidade do corpo apresenta variação constante com o tempo. A velocidade do corpo apresenta uma variação que não é constante com o tempo.
- Q65.** a) MUVE
b) 3 m/s²
c) $v = 5 + 3t$
- Q66.** a) sim
b) A
- Q67.** a) 50 m/s e 4 m/s²
b) 12,5 s
c) 70 m/s
- Q68.** a) 40 m/s
b) -10 m/s²
c) -10 m/s
d) 4 s
e) $t = 2\text{ s} \rightarrow$ movimento retardado
 $t = 6\text{ s} \rightarrow$ movimento acelerado
- Q69.** a) 0,6 m/s
b) 0,2 m/s²
- Q70.** 84 m/s
- Q71.** -5 m/s²
- Q72.** a) $v = 10 + 2t$
b) $v = 20 - 10t$
- Q73.** a) 0,5 m/s² e 1 m/s²
b) 250 m
c) movimento uniforme
d) Δs

- Q74.** a) 10 m/s²
b) 95 m
c) 9,5 m/s
- Q75.** a) 1,0 m/s² e -1,0 m/s²
b) 4,1 m/s
- Q76.** III e IV
- Q77.** -18 m
- Q78.** a) $s = 15 + 10 - t^2$ e $v = 10 - 2t$ (SI)
b) 31 m e -6 m/s
- Q79.** a) 100 m e 20 m/s
b) 10 m/s
- Q80.** a) $s_0 = -40\text{ m}$; $v_0 = -2\text{ m/s}$
b) $a = 4\text{ m/s}^2$
c) $v = -2 + 4t$
d) 5 s
- Q81.** a) 6 m
b) 10 m
c) 10 s
- Q82.** 4 m/s
- Q83.** $50\sqrt{2}\text{ m}$
- Q84.** a) 40 m/s
b) 200 m
c) 450 m
d) 20 m/s
- Q85.** -1 m/s²
- Q86.** 784 m
- Q87.** 40 m
- Q88.** a) 20 s
b) 10 m/s
- Q89.** a) 7 h
b) a 294 km de A
- Q90.** 1 m/s² e 13 m/s
- Q91.** a) 160 m e 100 m
b) 32 s
- Q92.** a) 30 s
b) 24 m/s
- Q93.** 14 m/s
- Q94.** -4 m/s²
- Q95.** 2 m/s² e 10 s
- Q96.** $1 \cdot 10^{-5}\text{ s}$
- Q97.** a) $-0,25\text{ m/s}^2$
b) 0,75 s
- Q98.** 62 500 km/h²
- Q99.** a) $0,25\text{ m/s}^2$
b) 450 m
- Q100.** 66 m
- Q101.** a) sim
b) 225 m
- Q102.**
-
- Trecho I \rightarrow movimento retrógrado e retardado
Trecho II \rightarrow movimento progressivo e acelerado
- Q103.**
-
- Trecho I \rightarrow movimento progressivo e retardado
Trecho II \rightarrow movimento retrógrado e acelerado
- Q104.** a) -20 m
b) 4,5 s
c) 4 s ou 5 s
d) $t > 4,5\text{ s}$
- Q105.** a) $t = 0$
b) $s = 6t + t^2$
c) 27 m
d) $v = 6 + 2t$

- Q106.** a) entre t_1 e t_2
b) entre t_3 e t_4
c) entre t_2 e t_3
d) entre 0 e t_1
- Q107.** 35 m/s
- Q108.** zero
- Q109.** a) 50 m
b) 0
c)
-
- Q110.** a) o caderno
b) Qualquer uma pode chegar antes ou as duas podem chegar juntas.
c) a folha amassada
d) Os dois chegam juntos.
e) Chegam juntas.
- Q111.** a) 4 s
b) 80 m
c) 8 s
d) -40 m/s
e)
-
-
- Q112.** a) 2 m/s²
b) 9 m
- Q113.** a) 2 s
b) 45 m
c) 5 s
d) $(2 + \sqrt{2})\text{ s}$
- Q114.** 20 m
- Q115.** a) 4,3 s
b) 33 m/s
- Q116.** 50 m
- Q117.** a) 1,5 s
b) 4 s
c) zero
- Q118.** 1,75 s
- Q119.** a) 6 s
b) 60 m/s
- Q120.** a) 43 m
b) 38 m/s
c) 48 m/s
d) 2 s
- Q122.** 3,2 m
- Q123.** 37,5 m
- Q124.** 320 m
- Q125.** $\frac{80}{3}\text{ m/s}$
- Q126.** 100 m/s
- Q127.** apenas I

UNIDADE III

QUESTÕES

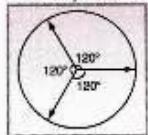
Q1. módulo, duração e sentido

- Q2. a)
-
- b)
-
- c)
-

- Q3. a) $\sqrt{89}\text{ cm}$
b) 7 m

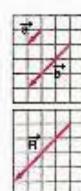
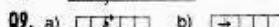
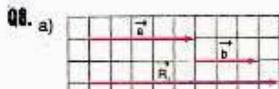
- Q4. Quando têm mesmo módulo, mesma direção e mesmo sentido.

Q5. Sim, se eles forem opostos. Sim, se eles forem dispostos da seguinte forma:



Q6. 90°

Q7. a - 6 e b = 8



Q10. módulos iguais, mesma direção e sentidos opostos

Q11. 50 m; direção horizontal: sentido da direita para a esquerda

Q12. a) $2\sqrt{34}$ cm b) $2\sqrt{10}$ cm

Q13. a) 2 cm, horizontal para a direita
b) 9 cm, horizontal para a direita
c) 2 cm, horizontal para a esquerda
d) 4 cm, vertical para cima
e) 4 cm, vertical para cima
f) 8 cm, vertical para baixo

Q14. a) $a_x = 5\sqrt{3}$ m b) $a_x = 5$ m
a_y = 5 m a_y = $5\sqrt{3}$ m

Q15. 10 m

Q16. a) $a_x = 20$ cm b) $a_x = 0$
a_y = 0 a_y = 20 cm

Q17. $200\sqrt{2}$ m/s (ambos)

Q18. 300 m

Q19. 1 km/h

Q20. a) $r_A = 0$ e $r_B = 3$ cm c) $\sqrt{13}$ cm/s
b) 4 cm/s

Q21.

Q22. 100 m

Q23. a) $0,04\pi$ m/s b) $0,08$ m/s

Q24. a) 8 400 m b) 3 600 m

Q25. 400 km

Q26. 14 km/h

Q27. $v_{solo} = 333,7$ m/s e $v_{vento} = 11,1$ m/s

Q28. a) 20 km/h b) 0,03 h

Q29. a) 2 h

b) 1 km
c) 8 s
d) 200 m
e) $-39,1$ m/s

Q30. a) 320 m b) 1 040 m

Q31. a) 0,5 s b) 16,2 cm
c) 30 cm/s

Q32. a) 15,5 m/s
b) $10 \text{ m/s} < v_0 < 15,5 \text{ m/s}$
c) 2,6 m/s

Q33. 2,25 m

Q34. 14,3 m/s

Q35. 0,4 s ou $\frac{4}{10}$ s

Q36. a) 10 s b) (160 m, 80 m)

Q37. 2 000 m

Q38. 50 m e 5 s

Q39. a) 5 m b) 1 s

Q40. Os tempos são iguais a 2 s.

Q41. 5 m/s

Q42. Significa que a hélice do ventilador gira 4 vezes por segundo.

Q43. 4 rps

Q44. a) 1 s b) 1,2 m/s
c) 10 m/s, $88,9^\circ$ noroeste para sudeste

Q45. Significa que a hélice do ventilador gira 4 vezes por segundo.

Q46. a) 4 rps b) 3 rps

Q47. segundos: 80 s e $\frac{1}{60}$ Hz

minutos: $3\ 800$ s e $\frac{1}{3\ 600}$ Hz

horas: $43\ 200$ s e $\frac{1}{43\ 200}$ Hz

Q48. a) 0,5 s b) 2 Hz

Q49. $\frac{4\pi}{3}$ rad/s e 4π cm/s

Q50. a) $\frac{1}{4}$ Hz b) $\frac{\pi}{2}$ rad/s

Q51. a) 24π rad/s (ambos)

b) $v_A = 12\pi$ m/s e $v_B = 6\pi$ m/s

Q52. 25 m

Q53. a) horizontal, à direita

b) 9π m/s

Q54. 5 rotações

Q55. O aluno Y está correto, pois no trecho BC existe aceleração centrípeta.

Q56. 0,2 m/s²

Q57. 4π s

Q58. $\approx 1\ 460,5$ m

Q59. I e III

Q60. a) $\varphi = \frac{3\pi}{2} + \frac{\pi}{4}$ c) $\frac{9\pi}{4}$ rad
b) $s = 3\pi + \frac{\pi}{2}$ d) 58 s

Q61. 1,5 s

Q62. a) -52 s b) $0,1$ m/s²

Q63. a) 8π rad/s b) 80π rad

Q64. a) 40 m b) 60 s

Q65. a) 300 rpm b) π m/s

Q66. a) 0,5 s
b) 60π cm/s e 40π cm/s

Q67. $\approx 13,6$ km/h

Q68. a) horário
b) 5 000 dentes/min
c) 50 rpm

UNIDADE IV

QUESTÕES

Q3. a) 1 N
b) $-9,54$ N

Q4. a) 5 N
b) $-4,47$ N

Q5. 76 N

Q11. 4 m/s^2

Q12. $2,5 \text{ m/s}^2$

Q13. a) $0,5 \text{ m/s}^2$
b) $60 \cdot 10^2$ N

Q14. 200 g ou 0,2 kg

Q15. a) 3 N
b) 3 m/s²

Q16. a) 40 m/s^2
b) $6,4 \cdot 10^4$ N

Q17. 2,07 N

Q18. a) 8 m/s^2
b) 12 m/s
c) 6 m/s
d) 2 N

Q19. a) 2 m/s^2
b) 20 m/s e 100 m

Q20. 120 kg e 192 N

Q22. 128 N

Q23. 4 kg

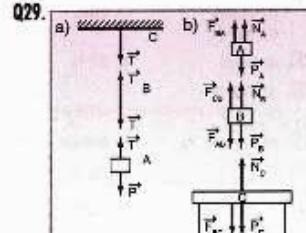
Q24. a) 50 kgf
b) 196 N

Q25. Desprezando a resistência do ar a única força que age sobre a partícula é a força peso (P).

Q26. 4 cm

Q27. a) 40 N/cm
b) 400 N

Q28. 28 cm



Q30. a) O ar das turbinas é impulsionado para trás e, por reação, o avião é impulsionado para frente.

b) O nadador exerce força sobre a água, empurrando-a para trás, enquanto a água exerce força sobre o nadador empurrando-o para frente.

c) O taco exerce força sobre a bola, que é atirada com uma dada velocidade, e, por reação, a bola exerce força sobre o taco.

Q31. lei da ação-reação

Q32. a) Sim; na direção vertical orientada para cima.
b) Sim, na direção vertical orientada para baixo.
c) 39,2 N

- Q33.** a) $2,5\sqrt{3}$ m/s² e 15 N
b) $2,5$ m/s² e $5(4 + \sqrt{3})$ N
- Q34.** 100 N; a pedra; está aplicada no pé do menino.
- Q35.** 11 N
- Q36.** O cabo se romperá.
- Q37.** a) 4 m/s² c) 32 N
b) 32 N
- Q38.** a) 6 m/s² b) 48 N e 30 N
- Q39.** a) Evitar que durante uma freada os passageiros, devido ao seu estado de inércia, continuem em movimento.
b) Evitar que a cabeça do passageiro seja arremessada para trás, devido ao seu estado de inércia, assim que o carro sofre uma aceleração súbita.
- Q40.** a)
-
- ; $F_N = 1 \cdot 10^2$ N
- b)
-
- ; $F_N' = 1,5 \cdot 10^2$ N
- Q41.** I e III
- Q42.** a) 5 m/s² b) 30 N
- Q43.** a) 0,5 m/s² c) $3,57 \cdot 10^{-1}$ N
b) $5 \cdot 10^{-3}$ N
- Q44.** a) 3 m/s² b) 65 N
- Q45.** a) 80 N b) 0,3 s
- Q46.** a) 2880 N
b) Será, pois a força tensora vale 880 N.
- Q47.** 2 m/s²; 40 N e 36 N
- Q48.** a) 2 m/s² c) 6 N
b) 8 N
- Q49.** 2 kg
- Q50.** a) 480 N d) 400 N
b) 320 N e) zero
c) 480 N
- Q51.** a) 20 N b) 22 N
- Q52.** a) 320 N
b) 320 N, vertical e de cima para baixo
- Q53.** a) $100\sqrt{3}$ N b) 5 m/s²
- Q54.** a) 28 N b) 20 N
- Q55.** a) 3 m/s² b) 60 N
- Q56.** 32 N
- Q57.** Porque o solo reage sobre o carro, empurrando-o para a frente.
- Q58.** Enquanto o remo exerce força \vec{F}_r , a água reage com força $-\vec{F}_r$, impulsionando o barco para frente. A força $-\vec{F}_r$ depende do atrito viscoso entre o remo e a água. À medida que o pé da pessoa exerce uma força \vec{F} horizontal sobre o solo, este reage sobre a pessoa com uma força $-\vec{F}$.
A força $-\vec{F}$ depende do atrito de escorregamento entre a sola do sapato e o solo.
- Q59.** a) Diminuir atrito entre os corpos e os meios em que se deslocam.
b) Reduzir atrito de deslocamento.
c) Evitar força de atrito contrária ao sentido do movimento da jangada.

- Q60.** Devido à camada de água, que reduz o atrito entre o solo e as rodas.
- Q61.** O automóvel carregado sofre resolução normal mais intensa, aumentando a força de atrito entre rodas e solo.
- Q62.** 0,6 e 0,5
- Q63.** a) É possível, pois $F = F_{\text{ar}}$
b) 16 N
- Q64.** a) 20 N c) 5 m/s²
b) 10 N d) 5 m/s
- Q65.** 4 m/s
- Q66.** a) módulo: 6 m/s²
direção: do movimento sentido: contrário ao movimento
b) 4 800 N
- Q67.** a) Zero. Pois o movimento é uniforme.
b) 900 N
- Q68.** a) 2 m/s² b) 16 N
- Q69.** a) Fábio b) não
- Q70.** a) 500 N c) 80 N
b) 400 N d) 480 N
- Q71.** a) $3,1 \cdot 10^4$ N b) 4 m/s²
- Q72.** a)
-
- T: Tensão exercida pela corda
P: Peso exercido pela Terra
C: Força de contato exercida pela superfície,
b) 16 N
- Q73.** a) 2 m/s² c) 12 N
b) 12 N
- Q74.** a)
-
- Em que:
 \vec{N}_A : reação normal do apolo sobre A
 \vec{T} : Tensão no fio
 \vec{f}_A : força de atrito
 \vec{P}_A : peso do corpo A
 \vec{P}_B : peso do corpo B
b) 12,5 kg
- Q75.** 20 N
- Q76.** II, III e IV
- Q77.** $8\pi^2$ N
- Q78.** 10 m/s
- Q79.** a) 200 N b) 0,4 m
- Q80.** 74 km/h
- Q81.** 28 N
- Q82.** 3 500 N, 12 500 N e 8 000 N
- Q83.** 3 900 N
- Q84.** 216 km/h
- Q85.** a) $8 \cdot 10^{-4}$ N b) 0,25 N
- Q86.** a) $\approx 1,16 \cdot 10^{28}$ m²
b) 2nd lei de Kepler
- Q87.** 84,5 anos terrestres
- Q88.** $2 \times \frac{\sqrt{2}}{2}$
- Q89.** $1,1 \cdot 10^5$ s
- Q90.** a) máxima em P e mínima em A
b) $\Delta t_{PA} < \Delta t_{PA} = \Delta t_{AB} < \Delta t_{AB}$
- Q91.** $2,04 \cdot 10^9$ N
- Q92.** 10⁴ kg
- Q93.** $\frac{F}{2}$
- Q94.** 9d
- Q95.** 80
- Q96.** $-7,3$ m/s²
- Q97.** $6,0 \cdot 10^{24}$ kg
- Q98.** 4,9 m/s²
- Q99.** a) $9,83$ m/s² b) $1,09 \cdot 10^6$ N
- Q100.** $34 \cdot 10^6$ m
- Q101.** a) $1,8 \cdot 10^{27}$ kg b) ≈ 26 N/kg
- Q102.** 3 200 km
- Q103.** 7 273 m/s e 6 562 s
- Q104.** $\frac{v_A}{v_B} = \sqrt{\frac{R_B}{R_A}}$
- Q105.** $\frac{v}{g}$
- Q106.** a) $= 7700$ m/s
b) Os astronautas e o satélite ficam submetidos apenas à atração gravitacional, não havendo força de contato entre eles.
- Q107.** força e deslocamento
- Q108.** Porque para manter a mala a uma certa altura do solo, a pessoa está aplicando uma força igual ao peso da mala.
- Q109.** 720 J
- Q110.** 320 J; $160\sqrt{3}$ J; 0; ≈ 160 J; ≈ -320 J; 0
- Q111.** a) 72 m b) 2 160 J
- Q112.** 4 N
- Q113.** apenas a II
- Q114.** a) 200 J b) 8 N
- Q115.** 94,2 J
- Q116.** a) 158,25 m b) $\approx 12\ 500$ J
- Q117.** a) 50 J c) 35 J
b) ≈ -15 J
- Q118.** Porque é uma força cujo trabalho independe da trajetória.
- Q119.** 100 J
- Q120.** 870 J
- Q121.** a) 1,2 m b) $1,6 \cdot 10^{-2}$ J
- Q122.** 6 000 J
- Q123.** a) 12 096 J b) $\approx -10\ 800$ J
- Q124.** a) 0,4 kg b) $\approx -1,6$ J
- Q125.** Significa que em 1 s a máquina realiza um trabalho de 900 J.
- Q126.** sim
- Q127.** 1 600 W
- Q128.** a) 120 J e 64 J c) a máquina B
b) 30 W e 32 W
- Q129.** a) 3 200 J
b) O trabalho é o mesmo, mas a potência exigida é maior quanto mais rápido a pessoa subir.
- Q130.** a) 6 210 J b) 690 W

Q131. 50 W

Q132. a) $\xi_0 = 6,75 \cdot 10^6 \text{ J}$
b) 90 CV

Q133. 75%

Q134. 12 CV

Q135. 80%

Q136. 4 s

Q137. 5%

Q138. 30%

Q139. a) $F_i = 1\ 500 \text{ N}$
 $F_{ii} = 2\ 500 \text{ N}$
 $F_N = 0$
b) 50 kW

Q140. O caminhão, pois possui maior massa.

Q141. 1 600 J

Q142. a) 6 400 J b) 16 384 J

Q143. 2 000 J

Q144. a) 3 840 N c) zero
b) 1 920 J

Q145. a) 80 N
b) A força resultante é a própria força centrípeta, e portanto tem direção radial e é orientada para o centro de rotação.

Q146. a) 6,5 J b) 2 J

Q147. 2 625 J

Q148. 157 500 J

Q149. a) 8 m/s^2
b) 32 m/s^2
c) 64 m
d) 2 560 J

Q150. 120 J

Q151. a) 2 J b) 5 J

Q152. 1,5 m

Q153. -126 000 J

Q154. 4 m/s

Q155. a) 0,2 b) -2 J

Q156. 4 000 N

Q157. a) 6 J b) 10 J

Q158. 20 m/s

Q159. a) energia cinética e energia potencial gravitacional
b) energia potencial gravitacional

Q160. a) 200 N
b) 1 600 J. Transforma-se em energia potencial gravitacional.
c) 1 600 J

Q161. 2 m

Q162. a) 375 J b) 125 J

Q163. a) certo c) errado
b) certo d) certo

Q164. a) 10^6 J
b) nulo

Q165. a) energia potencial elástica; o garoto que estica a borracha
b) energia cinética; a borracha esticada

Q166. a) 50 N/m b) 0,01 J

Q167. 0,032 J

Q168. 2 m

Q169. a) 9,6 kg b) 10 J

Q170. a) Energia cinética se transformando em energia potencial gravitacional.
b) Energia cinética se transformando em energia potencial elástica.
c) Energia cinética se transformando em energia potencial gravitacional.
d) Energia potencial gravitacional se transformando em energia cinética.

Q171. a) Durante as oscilações há interconversão entre energia cinética e energia potencial gravitacional.
b) não

Q172. a) não
b) energia potencial gravitacional
c) energia potencial gravitacional em energia cinética.
d) não

Q173. 7,2 m

Q174. 0,96 m

Q175. a) 12 000 J b) 20 m/s

Q176. 3 m; 20 J; energia mecânica

Q177. 6 m/s

Q178. 178 km

Q179. a) 40 m b) 600 N/m

Q180. II e III

Q181. 8 m/s

Q182. a) 2 000 N c) 28 000 J
b) 32 000 N

Q183. 40 m

Q184. 10 m/s

Q185. a) 4 m/s b) 0,36 N

Q186. a) 56 000 J
b) 40 m/s
c) A energia se conserva porque não foram considerados a resistência do ar e o atrito.

Q187. a) 0,30 m b) 18 N

Q188. a) 30 m/s b) 0

Q189. 80 N · s

Q190. a) 0,25 m/s² b) 5 N · s

Q191. 117,6 N · s

Q192. 2 N · s

Q193. a) 0,5 kg · m/s
b) $2 \cdot 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$; $2,4 \cdot 10^4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

Q194. a) 40 kg · m/s, vertical e ascendente
b) 60 kg · m/s, vertical e descendente

Q195. a) 50 N b) 100 kg · m/s

Q196. a) 9,6 kg · m/s b) 320 N

Q197. a) 5 kg · m/s e -5 kg · m/s

b) -10 N · s

Q198. a) 20 kg · m/s b) 4 kg

Q199. a) $9,6 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

b) 0,32

Q200. a) 8 m/s b) 0,01 s c) 6 000 N

Q201. a) 20 m/s b) $-1,4 \cdot 10^5 \text{ N}$

Q202. 30 m/s

Q203. Para que o sistema garoto + patins mantenha a mesma quantidade de movimento inicial.

Q204. 0,72 km/h

Q205. a) -10 m/s b) 40 N

Q206. a) 9,6 kg e 80 kg

Q207. não

Q208. 70 m/s

Q209. 0,2 m/s

Q210. 4,5 m

Q211. 35 kg

Q212. a) $6 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, da esquerda para a direita

b) 6 m/s

Q213. a) Porque a quantidade de movimento para a frente desloca o poleiro para trás com uma quantidade de movimento de mesmo módulo.
b) 2 m/s

Q214. a) sim b) sim

UNIDADE V

QUESTÕES

- Q2.** a) G (3 m; 5 m)
b) G ($2\sqrt{2}$ m, $2\sqrt{2}$ m)

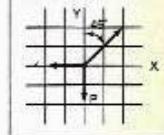
- Q3.** G ($2\sqrt{3}$ cm, 20 cm)

- Q4.** T₁ = 50 N e T₂ = 20 N

- Q5.** $50\sqrt{3}$ N e 50 N

- Q6.** a) não

- b) O diagrama correto seria:



- Q7.** 20 N

- Q8.** 294 N

- Q9.** a) situação 2
b) A tração resultante na situação 1 é maior que na situação 2.

- Q10.** a) 875 N b) 437,5 N

- Q11.** a) 25 cm b) $500\sqrt{2}$ N

- Q12.** 4 kg

- Q13.** $m_{r_{1,0}} = 7 \text{ Nm}$
 $m_{r_{2,0}} = 4 \text{ Nm}$

- Q14.** $m_{r_{1,0}} = 4 \text{ Nm}$
 $m_{r_{2,0}} = -12 \text{ Nm}$; $m_{r_{4,0}} = 0$

- Q15.** A forma mais fácil é com a chave de fenda, pois com ela o braço do momento é maior.

- Q16.** -6 Nm

- Q17.** -2,32 Nm

- Q18.** -10 Nm, 6 Nm e zero

- Q19.** alternativas a e c

- Q20.** a) -30 Nm, 0, -24 Nm e 36 Nm
b) -18 Nm
c) horário

- Q21.** a) 2 Nm b) 2 Nm

- Q22.** 6 N · m

- Q23.** 0,3 N · m

- Q24.** Para que o equilíbrio de um corpo extenso é necessário que a resultante de forças sobre ele seja nula e que também

seja nula a soma de momento em relação a qualquer polo de rotação.

Q27. $R_A = 300 \text{ N}$ e $R_B = 100 \text{ N}$

Q28. $P_p = 20 \text{ N}$ e $P = 8 \text{ N}$

Q29. $k_1 = 250 \text{ N/m}$ e $k_2 = 500 \text{ N/m}$

Q30. 17 s

Q31. a) 0,9 m b) 51 N

Q32. 1 m

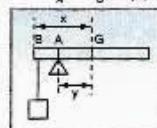
Q33. 1º Apoiar a barra sobre o suporte num ponto que não coincida com o centro de gravidade.

2º Pendurar a massa conhecida de modo que o ponto de apoio fique entre a massa e o centro de gravidade.

3º Procurar as posições adequadas do suporte e massa até que a barra se equilibre e escrever a equação:

$$R_A - P_A - P = 0$$

$$P = R_A - P_A \quad (1)$$



4º Com a régua, medir as distâncias entre os pontos A , B e o ponto G para escrever a equação:

$$-P_A \cdot x + R_A \cdot y = 0$$

$$-R_A = P_A \cdot \frac{x}{y} \quad (2)$$

Substituindo (2) em (1)

$$P = P_A \frac{x}{y} - P_A$$

$$mg = m_A \cdot g \cdot \frac{x}{y} - m_A \cdot g$$

$$m = m_A \left(\frac{x}{y} - 1 \right) \text{ onde } m_A \text{ é conhecida e } x, y \text{ são medidos.}$$

Q34. 2 000 N e 8

Q35. a) 400 N b) 2,5 cm

Q36. a) verdadeiro c) verdadeiro
b) falso d) falso

Q37. A barra permanece em equilíbrio porque os momentos, em relação ao ponto A , das forças aplicadas pelo atleta e pela garota são iguais.

Q38. 300 N

Q39. alça nº 7

Q40. 45 cm

Q41. 80 N

Q42. a) 100 N
b) Interpotente, vantagem mecânica = $\frac{F_m}{F} = \frac{100}{20} = 5$

Q43. alternativa c

Q44. a) $16 \text{ N} \cdot \text{m}$ b) 800 N

Q45. a) 240 kg b) 3 200 N

Q2. 6 g/cm^3 e $6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

Q3. 18 g

Q4. 800 cm^3

Q5. 7 g/cm^3

Q7. Apesar de os volumes serem iguais, as massas são diferentes, pois a densidade da água e do óleo são diferentes.

Q8. 0,01 kg e 0,098 N

Q9. $0,64 \text{ g/cm}^3$

Q10. Porque ao afiar a faca estamos diminuindo a área sobre a qual a mesma exercerá a força, isto é, estamos aumentando a pressão.

Q11. Porque a área da ponta do ferro é muito pequena e a força usada pela abelha é suficiente para produzir a pressão necessária para perfurar a pele.

Q12. $1,5 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$

Q13. $4 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$; $1 600 \text{ N/m}^2$; $4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Q14. $5,6 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$

Q15. $5,6 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$

Q16. a) $12 000 \text{ N/m}^2$ b) $0,03 \text{ m}^2$

Q17. $7,5 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$

Q18. Tal uso distribui o peso ou a carga por superfície de áreas maiores, fazendo com que as pressões sejam menores.

Q19. Os pneus largos exercem menor pressão sobre a área.

Q20. a) sim b) não

Q21. a) $4 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$ e 4 N

b) $2,72 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ e $43,52 \text{ N}$

Q22. 1,5 m

Q23. a) $8 \cdot 10^3 \text{ N/m}$ b) $2,2608 \cdot 10^3 \text{ N}$

Q24. a) o de diâmetro maior

b) $\approx 4 246,3 \text{ N/m}^2$

Q25. 16,2 πN

Q26. $8 460 \text{ N/m}^2$

Q27. Porque a pressão depende da propriedade h , isto é, quanto maior a altura da coluna de líquido, maior a pressão exercida pelo líquido. Nos andares mais baixos, o valor da altura da coluna de água é maior, portanto, a pressão será maior, visto que $p = \rho gh$.

Q28. a) 1,5

$$\text{b) } \frac{\mu_A}{\mu_V} = \frac{h_V}{h_A} \text{ se } \frac{\mu_A}{\mu_V} = 1; \text{ então } \frac{h_V}{h_A} = 1$$

Só a densidade do vinho "aumentar" devido ao acréscimo de água, a coluna de vinho terá uma altura menor.

Q29. $90 630,4 \text{ N/m}^2$

Q30. Porque a pressão atmosférica diminui enquanto o balão sobe, e a diferença entre a pressão interna e a externa torna-se cada vez maior, fazendo com que o balão aumente de volume e estoure.

Q31. Porque o ar é mais raro em grandes altitudes.

Q32. a) Fazemos "vácuo" no canudo, isto é, diminuímos a pressão do ar no canudo, permitindo que o líquido suba.

b) A pressão externa torna-se maior que a interna e o líquido sobe.

c) Não, pois a pressão externa é nula.

Q33. $1,028 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Q34. $10,24 \cdot 10^5 \text{ N}$

Q35. a) $1,5 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$
b) Nula, pois a profundidade é a mesma.

Q36. $\approx 19,26 \text{ cm}$

Q37. 75 m

Q38. a) $4,0 \cdot 10^3 \text{ P}_*$

b) $7,0 \cdot 10^3 \text{ P}_*$

Q39. a) não
b) da altura
c) aumentando a altura das caixas

Q40. a) $p_i \cdot g \cdot h$
b) $p_i \cdot g \cdot (h_1 + h_2 + h_3 + y)$

Q41. 30 cm

Q42. $1,12 \text{ g/cm}^3$

Q43. $1,1 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2$

Q44. Porque, estando os reservatórios mais altos que as caixas de água das residências, a água distribuída por eles eleva-se nos canos das casas, tendendo a atingir a mesma altura da água nos reservatórios.

Q45. O barril vai estourar, pois a força exercida sobre as paredes laterais ou a base será maior que a força exercida sobre a rolha, devido às áreas serem maiores que a área da rolha.

Q46. Porque para obter a mesma variação de pressão é preciso aplicar mais força na maior superfície, isto é,

$$\Delta p = \frac{F_s}{S_A} = \frac{F_s}{S_B}$$

Q47. a) Não, pois $p = \rho gh$ e os pontos A e B estão a profundidades h_A e h_B diferentes.

b) Sim, pois pelo teorema de Pascal, a pressão se transmite a todos os pontos do líquido e às paredes do recipiente, igualmente.

Q48. 1 200 N

Q49. 48 N

Q50. O freio a disco de um carro é uma aplicação da prensa hidráulica. Aplicando-se uma pressão no pedal do freio, ela se transmite, por meio do óleo que enche os cilindros, aos pistões ligados às pastilhas, as quais são comprimidas contra o disco de freio, atuando para impedir a rotação da roda.

Q51. São iguais, pois $E = d_{\text{ág}} V_{\text{ág}} g$.

Como as esferas têm diâmetros iguais e estão totalmente submersas, os volumes submersos são iguais.

Q52. Como a bola está afundando, temos que a força F é maior que o empuxo E . Quanto mais a bola afundar na água, maior será a força de resistência oferecida pela água; portanto, é necessário aumentar o valor de F à medida que o empuxo E aumenta.

Q53. 1,5 N

Q54. a) $= 0,67 \text{ g/m}^3$

b) $d_A < d_{\text{ág}} \rightarrow P < E$; a esfera flutuará.

UNIDADE VI

QUESTÕES

Q1. Significa que existem 19 g de ouro em cada cm^3 de ouro.

Q55. a) igual
b) Para subir, o submarino expulsa água de seu interior, diminuindo o peso e, portanto, o empuxo também diminui. $P' < P \rightarrow E' < E$
Pelo teorema de Arquimedes, temos: $E = d \cdot V_{des} \cdot g$
Quando o submarino está parcialmente imerso, $V_{des} < V_{sub}$; então: $E' < E$

Q56. 1,4 N

Q57. $\approx 8,18$ m

Q58. O peso de um corpo quando imerso diminui e, neste caso, é chamado peso aparente, cujo valor é dado pela diferença entre o peso da pessoa e o empuxo.

Q59. i - e

ii - A densidade do conjunto alumínio-madeira é maior que a densidade da água; portanto, o conjunto afundará, mantendo o alumínio na parte inferior, pois sua densidade é maior que a da madeira.

Q60. 50 N

Q61. 300 sacos

Q62. 10 g/cm³

Q63. a) $2 \cdot 10^3$ N/m²

- b) $2,5 \text{ m/s}^2$, vertical, para cima
- c) $5\sqrt{2} \text{ m/s}$
- d) $2\sqrt{2} \text{ s}$

UNIDADE VII

QUESTÕES

Q1. Um termômetro funciona tendo por base a variação de alguma grandeza cujo valor se modifica quando a temperatura é alterada. O termômetro serve para medir a temperatura de um corpo.

Q2. Os líquidos mais usados são o mercúrio e o álcool por terem baixo ponto de fusão e alto ponto de ebulição. Para graduar um termômetro é necessário estabelecer dois pontos fixos, como o ponto de gelo e o de vapor; atribuir valores a esses pontos e dividir a distância entre eles em intervalos iguais.

Q3. 96,8 °F e 309 K

Q4. 50 °F

- Q5.** a) $t = 2 \text{ h}$ b) 50 cm

Q6. -60°C

- Q7.** a) -195°C ; b) -319°F

Q8. -40°C

Q9. 32 °A

Q10. Porque a temperatura ambiente no verão é mais elevada, o que provoca uma pequena dilatação no fio. No inverno, a temperatura diminui, fazendo o fio contrair-se um pouco.

Q11. a) 10,0024 m b) 9,9984 m

Q12. 60 cm

Q13. $30 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Q14. $6 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Q15. 0,0044 m

Q16. 1 022 °C

Q17. 45°C

- Q18.** a) $40,096 \text{ cm}^2$ b) $39,9616 \text{ cm}^2$

Q19. $\approx 0,75 \text{ cm}^2$

Q20. $22 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Q21. $\approx 361,5^\circ\text{C}$

Q22. 270 °C

Q23. 420 °C

Q24. O aumento da temperatura provoca um aumento das dimensões de um corpo devido à maior agitação apresentada pelos seus átomos, ocasionando maior número de choques entre eles e, consequentemente, aumentando o esfriamento entre eles.

Q25. 1 005,1 cm³

Q26. O aumento da temperatura provoca a dilatação do material da tampa, aumentando, assim, seu diâmetro interno.

Q27. $\approx 236,11^\circ\text{C}$

Q28. Não, pois com a água quente o copo interno se dilata mais, ficando mais apertado no copo externo. O procedimento correto é pôr o copo externo em contato com a água quente para que ele se dilate.

Q29. $1 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Q30. a) O álcool sofre dilatação maior que a do tanque e o que se verifica é o seu extravazamento, que constitui uma dilatação aparente.
b) Ele deve resfriar o conjunto parafuso-porca, pois o ferro dilata e contrai mais que o Invar.

Q31. $\Delta V = 0,04 \text{ L}$

Q32. Perda de $4\ 800 \text{ m}^3$ de petróleo ou: $3 \cdot 10^4$ barris

Q33. $1,01 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Q34. a) 2 500 L b) 9 890 L

Q35. a) $15 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ b) $18 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

Q36. Como o calor específico da água é muito grande, a água dos mares das regiões costeiras funciona como reguladora de temperatura nessas regiões, isto é, durante o dia, a água absorve uma grande quantidade de calor sem se aquecer muito e, durante a noite, libera muito calor sem se esfriar muito.

Q37. a) metal

b) Ambos estão à mesma temperatura, apenas o calor é transferido mais rapidamente da mão para o metal, e, por isso, ele parece mais frio ao tacto que o plástico.

Q38. Como o calor específico da água é muito grande, a água do mar precisa receber muito calor para aumentar de temperatura. Por isso seu processo de aquecimento e de resfriamento é bastante lento.

Q39. a) 83 600 J b) $\approx 1913,9 \text{ cal}$

Q40. a) 837 cal b) 18,6 cal/°C

Q41. 120 cal

Q42. 9 900 cal

Q43. É que o oceano e a atmosfera possuem grande capacidade térmica.

Q44. a) $C_A = 5 \text{ cal/}^\circ\text{C}$ e $C_B = 8 \text{ cal/}^\circ\text{C}$
b) Sim, pois a capacidade térmica depende da massa do corpo; logo, o corpo B pode ter massa maior que o corpo A.

Q45. Perderá $5 \cdot 10^4 \text{ cal}$.

Q46. O corpo está cedendo calor.

Q47. $\approx 8,64^\circ\text{C}$

Q48. Porque a massa das folhas é muito pequena; logo, estas têm capacidade térmica muito pequena. Por isso, elas não se queimam.

Q49. a) baixo calor específico.
b) alto coeficiente de dilatação

Q50. 0,75 cal/g · °C

Q51. 240 cal/°C

Q52. a) 180 J/kg · °C b) maior

Q53. a) 58,9 W b) 24 000 g

Q54. a) 4 700 g b) 9 870 degraus

Q55. $-22,18^\circ\text{C}$

Q56. $-0,31 \text{ cal/g} \cdot {}^\circ\text{C}$

Q57. 300 g

Q58. 50 °C

Q59. a) Princípios da igualdade das trocas de calor: quando dois ou mais corpos com temperaturas diferentes são colocados próximos um do outro ou em contato, eles trocam calor entre si até atingir o equilíbrio térmico, ou $Q_A + Q_B = 0$.
 $b) = 1 \text{ f}$

Q60. $C = 50 \text{ cal/}^\circ\text{C}$

Q61. $=0,10 \text{ cal/g} \cdot {}^\circ\text{C}$

Q62. a) 1 500 g

b) $\approx 1 058,8 \text{ g}$

c) A diferença de massas é de aproximadamente 500 g que corresponde à 5°C de diferença de temperatura, visto que água = 1 cal/g °C.

Q63. a) ouro → fase sólida
prata → fase sólida
cobre → fase sólida
mercúrio → fase de vapor
chumbo → fase líquida
b) ouro → nenhuma
prata → nenhuma
cobre → nenhuma
mercúrio → 4 (fusão, ebulição, liquefação)
chumbo → 2 (fusão, solidificação)

Q64. Quando o vapor de água se condensa ele cede calor para o ambiente. Desse modo, o ar se aquece.

Q65. 16 kcal

Q66. 32 kcal

Q67. 4 min

Q68. Sim, pois no alto de uma montanha a pressão é menor, facilitando a evaporação

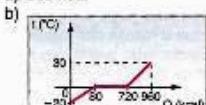
Q69. a) É a quantidade de calor necessária para que 1 g de mercúrio passe do estado sólido para o estado líquido.
 $b) 3 \text{ g}$

- Q75.** a) $0,018 \text{ kg/min}$ b) $0,54 \text{ J}$
Q76. Porque o éter absorve calor para se evaporar.

Q77. Porque o vapor da água contém mais energia interna do que a água líquida, ambas a 200°C . Na fase gasosa, relativamente à fase líquida, há mais o calor de evaporação.

Q78. $34 \cdot 10^5 \text{ cal}$

Q79. a) 960 kcal



Q80. $615 \cdot 10^6 \text{ cal}$

Q81. O gelo trocará, com o copo, uma quantidade de calor $Q = Q_{\text{máx}} + Q_{\text{adiabática}}$ $\rightarrow Q = mL + mc(t_s - t_f)$ enquanto a água trocará uma quantidade de calor $Q = m \cdot c \cdot (t_s - t_f)$, portanto, a pedra de gelo é mais conveniente, pois trocará uma quantidade de calor maior.

Q82. -35°C

Q83. a) $= 848 \text{ cal}$ b) $= 597 \text{ m/s}$

Q84. a) fusão c) $40 \cdot 10^3 \text{ cal}$
 b) $2 \cdot 500 \text{ cal}$ d) $43 \cdot 10^3 \text{ cal}$

Q85. a) 200°C
 b) $2,5 \text{ cal/g}$
 c) $0,012 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$
 d) $\approx 0,037 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$

Q86. I e III

Q87. II

Q88. Porque a lâ de vidro é um isolante térmico e dificulta a troca de calor entre o interior da geladeira e o ambiente.

Q89. a) São feitas desses materiais, pois elas são bons condutores na troca de calor entre a chama e os alimentos nelas contidos.

b) A louça, por ser isolante, mantém o alimento aquecido por mais tempo.

Q90. Como o ar não é bom condutor, o aquecimento da mão por condução não é o principal responsável. Se durante a convecção o ar quente sobe e o frio desce, então, o aquecimento da mão que está ao lado ou embaixo da panela não se dá por esse processo. Assim o aquecimento da mão ocorre principalmente pela irradiação do calor.

Q91. A temperatura do corpo humano é de aproximadamente 36°C , enquanto o do ambiente é inferior. Por isso, há transferência de calor do nosso corpo para o exterior. Quando a temperatura do exterior é muito baixa, a transmissão de calor é mais rápida, produzindo a sensação de frio.

Q92. As aves eriçam as penas para manter entre elas uma camada de ar, que funciona como isolante térmico, evitando a transferência de calor do seu corpo para o ambiente.

Q93. A lata é feita de alumínio, que é melhor condutor de calor que o vidro. Assim, ao pegarmos a lata temos a sensação de que está mais fria, pois a taxa de transferência de calor da mão para a lata é maior do que para a garrafa.

Q94. Porque eles absorvem pouca energia do exterior, refletindo a maior parte.

Q95. 1º - O gelo é isolante térmico, impedindo as correntes de convecção térmica.

2º - Ao torrar as prateleiras, impede-se as correntes de convecção.

3º - A geladeira funciona retirando ar quente do seu interior, lançando-o para o exterior. Colocar roupa para secar atrás da geladeira dificulta esse processo.

Q96. panela IV.

Q97. condução, convecção e irradiação

Q98. a) A radiação solar que atinge a superfície negra do painel é fortemente absorvida, pois o corpo negro é bom absorvedor de calor.

b) O cobre tem alto coeficiente de condutibilidade térmica sendo, portanto, bom condutor de calor. O óleo tem menor calor específico que a água, portanto, aquece mais rapidamente. O óleo sobe por convecção.

c) O líquido quente (óleo) sobe e o frio desce, por isso, os tubos de óleo situam-se no fundo da calha facilitando as correntes de convecção.

Q100. A diminuição da temperatura do ar acarreta uma diminuição da energia cinética das suas moléculas. Os impactos das moléculas contra as paredes da bola tornam-se mais fracos e menos freqüentes, fazendo com que a pressão interna se torne menor, portanto, a diminuição da pressão acarretará uma deformação da bola que se contrairá.

Q101. a) 20°C b) 2 atm

Q102. 627°C

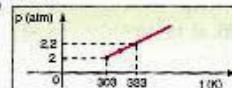
Q103. a) 8 f b) 2 atm

Q104. a) $\frac{500}{5} \text{ k}$ b) $1,5 \text{ f}$

Q105. $\approx 0,85 \text{ atm}$

Q106. a) $2,2 \text{ atm}$

b)



Q107. $= 10 \text{ g}$

Q108. a) 240 K e 360 K b) $\frac{2}{3}$

Q109. a) errado, pois supondo-se $V = \text{constante}$, temos:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \rightarrow \frac{30}{303} \neq \frac{15}{288}$$

b) errado, pois, supondo $T = \text{constante}$, $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$; à medida que a bolha sobe à superfície, a pressão diminui, portanto, seu volume aumenta.

Q110. a) $0,93 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

$$\begin{aligned} b) \Delta p &= \frac{F}{S} \rightarrow 1,0 \cdot 10^5 \rightarrow 0,93 \cdot 10^5 \\ &\quad - \frac{F}{0,75} \\ F &= 0,07 \cdot 10^5 \cdot 0,75 \rightarrow F = 5,25 \cdot 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

A volume constante, diminuindo-se a temperatura interna do gás, diminuirá a pressão interna. A pressão

externa será maior e provocará a deformação do recipiente, que se contrairá.

Q111. De A para B a bolha aumenta de volume devido à diminuição da pressão e de B para C, devido ao aumento de temperatura.

Q112. É que o aumento da pressão interna do gás, causada pelo forte aquecimento (transformação isocórica), pode provocar o rompimento do recipiente.

Q113. III

Q114. 1 J

Q115. -5 J

Q116. $6,05 \text{ m}^3$

Q117. $1,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

Q118. a) 300 J b) zero

Q119. 100 J

Q120. a) zero b) -750 J

Q121. a) 800 J b) 850 J

Q122. 16 J

Q123. A temperatura diminui.

Q124. 4 328 J

Q125. a) 375 K , 300 K , 225 K , 300 K

b) $2 \cdot 10^5 \text{ J}$

c) $-2 \cdot 10^6 \text{ J}$

d) A \rightarrow B \rightarrow C: zero

A \rightarrow D \rightarrow E: zero

Q126. a) $-0,5 \cdot 10^5 \text{ J}$ b) $1,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

Q127. a) $8,0 \cdot 10^5 \text{ J}$ b) $\approx 1,9 \cdot 10^6 \text{ cal}$

Q128. a) 150 J e 120 J b) 150 J e 150 J

Q129. a) zero; 10 J ; $5,25 \text{ J}$ e -7 J

b) $8,25 \text{ J}$

c) $\approx 1,96 \text{ cal}$ e zero

Q130. a) 1200 K b) $5 \cdot 10^4 \text{ J}$

Q131. 54 J

Q132. 418 W

Q133. $\delta > 0 \Rightarrow$ o sistema realiza trabalho (volume aumenta)

$\delta < 0 \Rightarrow$ o sistema recebe trabalho (volume diminui)

$\delta = 0 \Rightarrow$ o sistema não realiza nem recebe trabalho (volume constante, transformação isométrica, $Q = \Delta U$).

Q134. a) 500 J c) 50%
 b) 500 J

Q135. 207°C

Q136. 127°C

Q137. 25%

Q138. a) O rendimento de uma máquina de Carnot que opere entre as temperaturas dadas acima será:

$$\eta_C = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{300}{600} \Rightarrow \eta_C = 0,5$$

De acordo com o enunciado, a máquina do Inventor apresenta um rendimento que é igual a 90% da máquina de Carnot.

Assim:

$$\eta_m = 0,9 \cdot \eta_C = 0,9 \cdot 0,5 = 0,45 \Rightarrow \eta_m = 0,45$$

Mas o verdadeiro rendimento da

máquina do inventor nas condições de operação é:

$$\eta_{\text{m}} = \frac{\dot{E}}{Q} = \frac{1,0 \cdot 10^4}{5,04 \cdot 10^4} = 0,20 \dots$$

$\eta_{\text{m}} \approx 20\%$

Assim, a afirmação do inventor é falsa.

b) 50 m^2

Q139. a) $8,0 \cdot 10^5 \text{ J}$ b) $211,8^\circ \text{ C}$

UNIDADE VIII

QUESTÕES

Q4. $9,46 \cdot 10^{12} \text{ km}$

Q5. $4,7304 \cdot 10^{16} \text{ m}$

Q6. 250 min

Q7. 1,3 h

Q8. b) A formação de sombra ocorre quando o objeto é opaco e é devido ao princípio da propagação retílinear da luz.

Q9. $3\sqrt{3} \text{ m}$

Q10. 60 m

Q11. $0,16\pi \text{ m}^2$

Q12. a) Sol, Terra e Lua b) Terra|Sol|Lua

Q13. 32 cm

Q14. 4 m

Q15. a) 15 cm b) 3 cm

Q16. 60 m

Q17. $\approx 133,3 \text{ m}$

Q18. $\approx 72,8 \text{ m}$

Q22. a) 65°

b) 65°

c) 130°

Q23. $5\sqrt{3} \text{ m}$

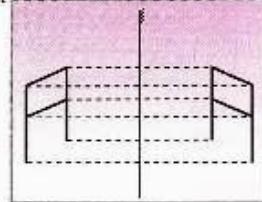
Q24. 60°

Q25. 74°

Q26. III

Q27. B, C e D

Q28.



Q29. 2,10 m

Q30. a) Não. A imagem se aproxima do espelho, porém é de mesmo tamanho.
b) Espelho plano, produz, de um objeto real, imagem sempre virtual, direita e de mesmo tamanho do objeto.

Q31. 2,5 m

Q32. a) 45°

b) $5\sqrt{2} \text{ m}$

Q33. a) 0,90 m

b) 0,85 m

Q34. 5 imagens

Q35. 36°

Q36. a) 5 imagens b) 12 cm

Q37. 72°

Q38. 30°

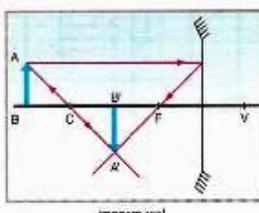
Q40. preta

Q41. O objeto parecerá negro.

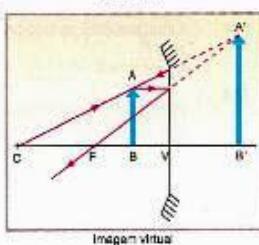
Q42. a) preta c) amarela
b) amarela d) preta

Q43. vermelha

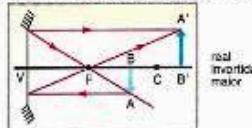
Q44. a)



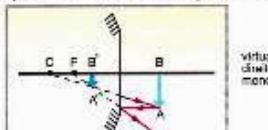
b)



Q45. a) Características da imagem A'B':

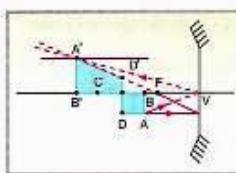


b)



Q46. imagem virtual, direita e maior que o objeto

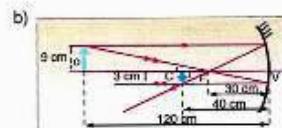
Q47.



Q48. Espelhos convexos permitem a visão de grande parte do ambiente e fornecem, de objetos reais, imagens virtuais, direitas e menores que o objeto.

Q49. a) -30 cm
b) 50 cm
c) 30 cm
d) imagem virtual, direita e menor que o objeto

Q50. a) 120 cm



Q51. côncavo; 200 cm

Q52. a) $-\frac{1}{2}$
b) -1

Q53. 16 cm

Q54. a) côncavo b) 3 m

Q55. a) 96 cm b) 19,2 cm

Q56. a) virtuais, direitas e menores
b) Ampliar o campo visual.
c) $-2,25 \text{ m}$ e $\frac{1}{4}$

Q57. a) -12 cm
b) $2,4 \text{ cm}$

Q58. a) convexo c) 180 cm
b) 18 cm

Q59. a) 100 cm b) real

Q60. a) direitas
b) São sempre menores.
c) Não, pois são virtuais.

Q61. a) 60 cm b) 60 cm

Q63. $= 123\,967 \text{ km/s}$

Q64. 1,5

Q65. $1,98 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

Q66. 5

Q67. a) 1,5
b) $\frac{6}{5}$

Q68. 187 500 km/s

Q70. a) 60°
b) 30°

Q71. II e IV

Q72. a) meio a
b) 2
c) $1,5 \cdot 10^8 \sqrt{2} \text{ m/s}$
d) $\sqrt{2}$

Q73. a) 30°
b) $\frac{5\sqrt{3}}{3} \text{ cm}$

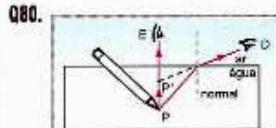
Q74. a) 1,4
b) 0,7

Q76. O raio sofre refração ao mudar de meio e, como passa para meios mais refringentes, o raio refratado aproxima-se da normal, no ponto de incidência, até atingir o ponto P.

Q77. a) 75 cm
b) 25 cm

Q78. 2 m

Q79. 180 m

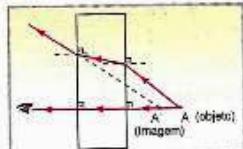


Q81. $= 24,8 \text{ cm}$

Q82. 149 mm

Q83. $2\sqrt{3}$ cm

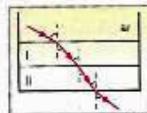
Q84.



A) Imagem final A' é virtual e mais próxima do vértice.

- Q85.** a) 30°
b) $=0,9 \cdot 10^{-10} \text{ s}$

- Q86.** a) água; massa específica menor
b)



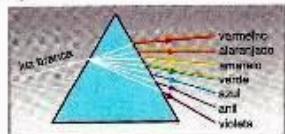
$n_2 < n_1 \Rightarrow$ o raio de luz se aproxima da normal.
 $n_1 < n_2 \Rightarrow$ o raio de luz se aproxima da normal.
 $n_1 > n_2 \Rightarrow$ o raio de luz se afasta da normal.

Q87. 12 cm

- Q88.** a) 30°
b) 15°
c) 45°
d) 90°
e) 45°
f) 60°

- Q89.** a) 45°
b) 15°

Q90. a)



- b) Cada luz monocromática apresenta uma velocidade ao atravessar o prisma; devido a isso, cada uma possui um índice de refração, aumentando do vermelho para o violeta.

Q91. É porque a luz branca sofre dispersão dentro do cristal.

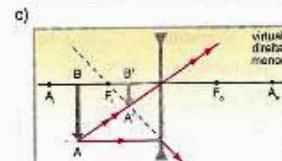
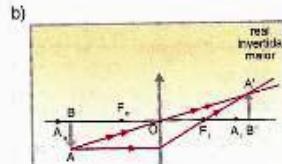
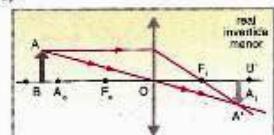
- Q92.** a) 60°
b) $\frac{\sqrt{6}}{2}$

Q93. O índice de refração diminui à medida que a altitude aumenta.
O raio de luz indicado na figura sofre reações sucessivas, à medida que penetra nas camadas mais refringentes, e em cada refração, aproxima-se da normal correspondente. O resultado é que o raio de luz se propaga em curvas na atmosfera. Esse comportamento da luz explica a aparição aparente da estrela.

Q94. III e IV

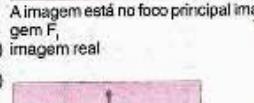
Q95. III

Q97. a)



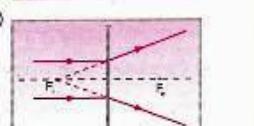
Q98. a) convergente

- b)



c) imagem real

- Q99.** a)

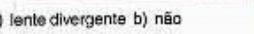


b)

- Q100.** Como as lentes estão situadas no ar, $n_{air} < n_{lens}$, a lente de bordas delgadas (I) funciona como lente convergente, e produz uma imagem virtual, direita e maior que o objeto, quando o objeto estiver entre F_1 e 0, sendo a mais adequada.

Q101. a) convergente

- b)



Q102. a) lente divergente b) não

- Q103.** a) $-2,5 \text{ cm}$ e $-\frac{1}{4}$ m
b) -10 cm e 1 m

Q104. 6 cm

- Q105.** a) convergente
b) 25 cm

- Q106.** a) $\approx 20 \text{ m}$
b) real, invertida e menor

- Q107.** a) Convergente, pois a imagem é real (projetada)
b) 0,18 m

- Q108.** O solo deve ser colocado a 8 cm da lupa.

Q109. convergente; 3 cm

- Q110.** a) 10 cm
b) -9

Q111. 125 cm

- Q112.** a) convergente
b) 150 cm

- Q113.** 15 cm
Q114. a) 2,5
b) real, invertida e igual
c) lente divergente; -25 cm

Q115. 31,25 cm

Q116. 15 vezes

UNIDADE IX

QUESTÕES

Q1. 100 N

Q2. 60 m/s

Q3. 23 m/s

Q4. 0,1 s

Q5. a) ondas mecânicas, ondas bidimensionais
b) 20 cm
c) 5 Hz

Q6. = 2,83 m

Q7. a) 0,05 m
b) 0,2 m
c) 25 m/s

Q8. Barco A: $\uparrow v_A$
Barco B: $v_B = 0$
Barco C: $\downarrow v_C$

Q9. a) 6 Hz
b) Permanecem constantes.

Q10. 2 s

Q11. 2,5 m/s e 0,8 s

Q12. a) 10 Hz
b) 1,0 m/s
c) 10 Hz

Q13. a) Quando um pulso passa de um meio para outro, a frequência não se modifica; logo: $f_A = f_{A'}$
b) 170 m/s

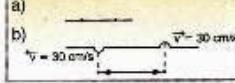
Q14. a) 6 s
b) 16 perturbações

Q15. 250 m/s

Q16. 20 m/s

Q17. a) 100 m/s
b) 50 Hz

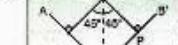
Q18.



Q19. 48 m/s

Q20. a) 2 s

- b)



Q21. $v_B = 500 \text{ m/s}$ e $\lambda_B = 5 \text{ m}$

- Q22.** a) 30 m/s
b) $10\sqrt{6}$ m/s
c) $\frac{\sqrt{6}}{2}$

- Q23.** a) 1
b) $\frac{2}{3}$

Q24. 50

- Q26.** a) $-4,31 \text{ s}$
b) Não será ouvido pelo pescador, pois $f = 24\ 500 \text{ Hz}$.

- Q28.** a) 2 Hz
b) 0,5 s
c) A velocidade de propagação não depende da frequência, depende apenas do meio material na qual as ondas se propagam.

Q29. Quando pedimos a alguém para abalar o som, queremos que seja diminuída a frequência do som. Na verdade, estamos pedindo para diminuir a intensidade sonora, isto é, o volume.

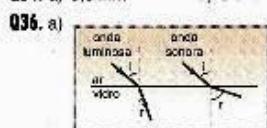
Q30. 4 s

Q31. 68 m

Q32. a) 1,4 km b) 2,8 km; uma depreciação

Q33. Sim. Os "outros passos", na verdade, são o eco dos sons de seus próprios passados refletidos pelos prédios altos.

Q34. a) 0,3 mm b) 6 cm



Sendo a lei de Snell $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$, temos:

- para a luz, o ângulo de incidência é maior que o ângulo de refração, pois a velocidade da luz no ar é maior que a velocidade da luz no vidro;
 - para o som, o ângulo de incidência é menor que o ângulo de refração, pois a velocidade do som no ar é menor que a velocidade do som no vidro.
- b) 5 m; continuará sonoro, pois a mudança de meio altera a frequência da onda.

Q37. a) 531,25 Hz

Q38. 306 km/h no mínimo

Q39. a) $-486,7 \text{ Hz}$ c) 500 Hz
b) 500 Hz d) 500 Hz

Q40. 800 Hz

UNIDADE X

CUSTÓDIA

Q1. a) $4 \cdot 10^{13}$ elétrons b) 10^{11} elétrons

Q2. $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Q3. 1 em cada 10^{12} elétrons

Q4. Não, pois devido ao atrito ocorre apenas a movimentação de cargas de um corpo para outro.

Q5. Ao ser tocado pela caneta eletrizada, o pedaço de papel se eletriza por contato, adquirindo o mesmo tipo de carga elétrica da caneta.

Q6. Sim, desde que o bastão seja feito de material isolante. Em materiais dessa natureza as cargas elétricas não têm mobilidade e, por esse motivo, é possível eletrizar partes distintas do corpo.

Q7. Porque nos átomos de corpos metálicos os elétrons mais distantes do núcleo libertam-se, movimentando-se livremente nesse corpo.

- Q26.** a) O corpo codará elétrons até que o corpo carregado se descarregue.
b) O corpo receberá elétrons até que o corpo carregado se descarregue.

- Q27.** a) O corpo se descarregue, perdendo sua carga elétrica para o solo.
b) Porque as cargas elétricas originadas no ato perdem-se no corpo humano em decorrência do contato.
c) A corrente metálica tem a função de conduzir para a terra as cargas elétricas acumuladas pela estrutura metálica do caminhão durante o transporte do combustível.

Q28. $1,3 \mu\text{C}$

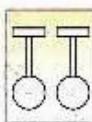
- Q29.** a) $2 \mu\text{C}$ cada uma
b) $6,25 \cdot 10^{19}$ elétrons

Q30. somente a E

$$\mathbf{Q31.} -\frac{Q}{8} \text{ s}$$

Q32. Sim

Q33. Ao aproximar o bastão induz-se uma polarização no conjunto, ficando a esfera da esquerda com carga negativa e a esfera da direita com carga positiva.



Separando-se as esferas, estas mantêm as cargas induzidas na polarização.

Q34. Aproximamos inicialmente da esfera um corpo carregado positivamente (indutor). Ligando em seguida a esfera à terra, ocorrerá uma transferência de elétrons para a esfera. Sem afastar o indutor, desconectamos a esfera da terra e, consequentemente, ela estará carregada com carga elétrica negativa.

Q35. II e III

Q36. Deve-se aproximar da esfera do eletroscópio um corpo de prova com carga elétrica previamente conhecida. Se as folhas do eletroscópio se afastarem mais, a carga do eletroscópio e a do corpo de prova têm o mesmo sinal. Se as folhas se aproximarem, então o eletroscópio e o corpo de prova terão cargas de sinais contrários.

- Q37.** a) negativo b) positivo

- Q38.** a) Sua função é verificar se um corpo está ou não eletrizado.
b) O condutor ficará descarregado. Ligando-se o condutor eletrizado à terra, este irá fornecer ou retirar os elétrons faltantes ou em excesso, até que a carga elétrica do corpo fique nula.

- Q39.** a) Sua função é conectar a carcaça do aparelho à terra, mantendo-a neutra e evitar, assim, choques elétricos.

- b) Polarizando um corpo por meio de um indutor, a ligação à terra faz com que o corpo receba carga da terra, tornando-se eletrizado. Para verificar se o corpo está ou não eletrizado podemos utilizar um eletroscópio.

Q40. $N = m^2 C^2$

Q41. As forças elétricas que atuam no núcleo e no elétron têm mesma intensidade, direção e sentidos opostos. Essas forças constituem um par: ação e reação.

Q42. sim

Q43. 54 N

Q44. a) $9 \cdot 10^{-9} \text{ N}$ b) 3 m/s

Q45. $45 \mu\text{C}$

Q46. 40 cm

Q47. 40

- Q48.** a) A intensidade da força de repulsão triplicará.
b) A intensidade da força de repulsão ficará dividida por quatro.

Q49. Campo elétrico é uma característica que se manifesta nas imanações de um corpo ou conjunto de corpos eletrizados.

Q50. sim; não

Q51. Colocando na região investigada um corpo de massa não-nula. Se o corpo sofrer interação de campo, esse campo é gravitacional.

b) Colocando na região investigada um corpo inerte de carga elétrica não-nula. Se o corpo sofrer interação de campo, esta é elétrico.

Q52. $5 \cdot 10^9 \text{ N/C}$, para o Norte

Q53. 10 N

- Q54.** a) intensidade: $2,4 \text{ N}$
direção: igual a de E
sentido: contrário ao de E ($q < 0$)
b) intensidade: $3,6 \text{ N}$
direção: igual a de E
sentido: igual ao de E ($q > 0$)

Q55. $2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ou $-2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$

Q56. $2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$

Q57. a) $5 \cdot 10^9 \text{ N/C}$ b) $5 \cdot 10^{-9} \text{ C}$

- Q58.** a) $4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ou $-4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$
b) $1,44 \cdot 10^9 \text{ N/C}$
c) $2,88 \cdot 10^{-6} \text{ N}$

Q59. sim

Q60. a) Da carga Q_1 , pois as linhas de força estão mais próximas.
b) $Q_1 \cdot Q_2 < 0$

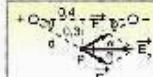
Q61. No ponto O, devido ao cancelamento dos componentes de campo das cargas A, B, C e D, e num ponto infinitamente afastado do sistema de cargas.

Q62. $E_x = x$

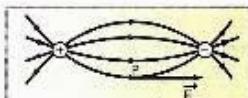
Q63. $\frac{2}{3} \text{ m}$ à direita de A

Q64. $5,4 \cdot 10^9 \text{ N/C}$

Q65. a)



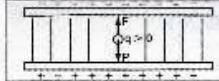
b)



Q66. $90\sqrt{5} \text{ N/C}$

Q67. vertical, ascendente e com intensidade $2,5 \cdot 10^9 \text{ N/C}$

Q55. a)



b) $0,5 \text{ N/C}$

Q56. $2 \cdot 10^3 \text{ km/s}$

Q57. Porque os trabalhos das forças de campo dependem apenas das energias potenciais. Em campos conservativos: $E_{\text{total}} = -\Delta E_p$

Q58. $\vec{E}_1 = \vec{E}_2 = \vec{E}$

Q59. a) vetorial b) algébrico c) algébrico

Q60. sim

Q61. da carga: do ponto

Q62. aumenta

Q63. escalar; volt

Q64. 80 J

Q65. $-1,8 \cdot 10^8 \text{ V}$

Q66. 0,09 J

Q67. a) 10^4 N/C b) $500 \text{ V e } 2,5 \cdot 10^8 \text{ N/C}$

Q68. Somando algébricamente os potenciais elétricos, criados no ponto considerado, por cada uma das cargas.

Q69. $-4,5 \cdot 10^4 \text{ V}$

Q70. $\approx 1,22 \cdot 10^4 \text{ V}$

Q71. 78 cm

Q72. a) $\frac{3}{2}$ b) não

Q73. $4,5 \cdot 10^4 \text{ J}$

Q74. a) $-5 \cdot 10^{-9} \text{ J}$ b) $5 \cdot 10^{-9} \text{ J}$

Q75. $-1,26 \cdot 10^6 \text{ J}$

Q76. a) $-3 \cdot 10^1 \text{ V}$ b) -30 V

Q77. a) A placa A tem carga positiva e a placa B, carga negativa.

b) No ponto P, o potencial elétrico tende a diminuir no sentido das linhas de força.

c) O elétron tenderá a se movimentar no sentido da placa A, ou seja, em sentido contrário ao das linhas de força.

Q78. $4 \cdot 10^3 \text{ V/m}$

Q79. $2 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$

Q80. a) 120 N c) $\approx 2,2 \cdot 10^3 \text{ m/s}^2$

b) $2,4 \cdot 10^7 \text{ m/s}^2$

Q81. $2 \cdot 10^{-8} \text{ J}$

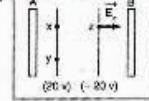
Q82. $1,8 \cdot 10^7 \text{ N/C}$, apontando para o interior da célula

Q83. A carga no centro O é negativa; as linhas de força são radiais e voltadas para o centro.

Q85. a) nulo

b) $2 \cdot 10^3 \text{ N/C}$

c)



Q86. $-6,2 \cdot 10^{-5} \text{ J}$

Q87. a) $5 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ c) $2 \cdot 10^{-8} \text{ J}$

b) $1,8 \cdot 10^5 \text{ N/C}$

Q89. a) Permanecer no próprio automóvel.
b) Permanecer dentro do barco.
c) Deitar-se no chão.
d) Evitar o toque em condutores ligados à terra.

Q90. Em relação ao campo gravitacional não é possível. Quanto ao campo elétrico é possível, bastando envolver a região a ser protegida com superfície condutora fechada (gaiola de Faraday).

Q91. a ponta do prego

Q92. Porque cria um campo elétrico mais intenso em torno de si, facilitando a descarga elétrica das nuvens para o solo e vice-versa.

Q93. 54 mC

Q94. a) vertical; orientado para baixo
b) Que o campo elétrico, situado entre o péra-raios e a nuvem, se torne intenso o bastante, a fim de promover o movimento de elétrons do péra-raios para a nuvem.
c) O relâmpago, pois a luz viaja mais rápido que o som.

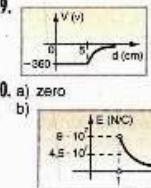
Q95. Não; ele é diferente de zero e constante em toda a esfera. O campo elétrico é nulo para qualquer ponto no interior da esfera.

Q96. $E_x = 0$, $E_y = 6,75 \cdot 10^3 \text{ N/C}$
 $E_z = 1,5 \cdot 10^4 \text{ N/C}$

Q97. a) $1,28 \cdot 10^{-3} \text{ C}$ c) $\approx 2,3 \cdot 10^1 \text{ V}$
b) $\approx 2,3 \cdot 10^1 \text{ V}$ d) $5,76 \cdot 10^3 \text{ V}$

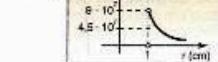
Q98. $8 \cdot 10^{-4} \text{ C}$

Q99.



Q100. a) zero

b)



c) Será repelida.

Q101. o planeta Terra

Q102. $7 \cdot 10^{-4} \text{ F}$

Q103. $4 \cdot 10^{-5} \text{ C}$

Q104. 10 J

Q105. a) 9 m c) 5 J

b) $1 \cdot 10^{-4} \text{ C}$

Q106. $4 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$

Q107. sim

Q108. $1,6 \cdot 10^2 \text{ V}$

Q109. $4 \cdot 10^{-8} \text{ C e } 8 \cdot 10^{-8} \text{ C}$

Q110. 180 V, 90 V e $1 \cdot 10^{-9} \text{ C}$

Q111. I e III

Q112. Todas são verdadeiras.

Q113. $2 \cdot 10^{-8} \text{ C}$

Q114. a) $2,2 \cdot 10^{-11} \text{ F}$ c) $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ J}$

b) $2,2 \cdot 10^{-8} \text{ C}$

Q115. 25 J

Q116. a) $5 \cdot 10^{-4} \text{ C e } 50 \text{ V}$

b) $5 \cdot 10^{-4} \text{ C e } \approx 23,8 \text{ V}$

Q117. sim

Q118. $60 \mu\text{F}$
11

Q119. a) $\frac{9}{4} \mu\text{F}$

b) $Q_1 = Q_2 = 18 \mu\text{C}$

c) $U_1 = 6 \text{ V e } U_2 = 2 \text{ V}$

d) 8 V

e) $7,2 \cdot 10^{-5} \text{ J}$

Q120. $2 \cdot 10^{-12} \text{ F; } 4 \cdot 10^{-12} \text{ F}$

Q121. não

Q122. a) $26 \mu\text{F}$ b) $5 \mu\text{F}$

Q123. a) $5 \mu\text{F}$ b) $2 \cdot 10^{-3} \text{ C e } 3 \cdot 10^{-3} \text{ C}$

c) 1 000 V

Q124. 2 V

Q125. $6,4 \cdot 10^{-2} \text{ C}$

Q126. 2

Q127. a) $1,5 \mu\text{F}$ b) $40 \mu\text{F}$

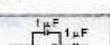
Q128. $6 \cdot 10^{-4} \text{ C; } 2 \cdot 10^{-4} \text{ C; } 4 \cdot 10^{-4} \text{ C}$

Q129. a) $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ c) $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ C}$

b) $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ C}$

Q130. $-3 \mu\text{F}$

Q131.



Q132. 10^{-2} J

UNIDADE XI

QUESTÕES

Q1. 40 C

Q2. $3,2 \cdot 10^4 \text{ A}$

Q3. a) 1 800 C b) 1 125 $\cdot 10^{22}$ elétrons

Q4. -18 h

Q5. 8 C

Q6. a) 21 600 C b) 7,92 g

Q10.

DISPOSITIVO	FUNÇÃO	SÍMBOLO
a) bateria	fornecer energia elétrica a um circuito.	
b) motor elétrico	transformar energia elétrica em mecânica.	
c) resistor	transformar energia elétrica em calor.	
d) chave	ligar ou desligar um circuito elétrico.	
e) fusível	interrupção da passagem de corrente elétrica.	
f) amperímetro e voltmímetro	medir a corrente e a tensão elétrica respectivamente.	

Q11. a) Não, pois a lâmpada não se encontra, neste circuito, submetida a uma diferença de potencial.

b) Na montagem B a lâmpada também não acenderá, uma vez que, não estando submetida a diferença de potencial, não haverá circulação de corrente elétrica pelo seu filamento.

Q13. 20 V

- Q14.** 22 A
Q15. 22 Ω
Q16. a) 6 Ω b) 9 V
Q17. a) 20 Ω; 25 Ω
 b) Não, pois sua resistência elétrica não é constante.

- Q18.** c
Q19. sim
Q20. $4 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$
Q21. 1,5 Ω
Q22. 0,87 m

- Q23.** a) $\frac{9}{4}$
 b) Os fios mais grossos possuem menor resistência elétrica e, percorridos por correntes mais intensas, sofrem menor aquecimento minimizando assim o risco de incêndios.

- Q24.** 8 m
Q25. a) 11 Ω b) $6,875 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$
Q26. 25 A
Q27. TA: 12 V, PC: 180 W b) 15 A

Q28. 8 Ω

Q29. 2 W

Q30. Rio Grande:

$$P = \frac{U^2}{R} \Rightarrow P = \frac{110^2}{R}$$

Em Pelotas:

$$P' = \frac{U'^2}{R} \Rightarrow P' = \frac{220^2}{R}$$

$$\frac{P'}{P} = \frac{R}{110^2} \Rightarrow P' = 4 P$$

A potência dissipada por lâmpada em Pelotas é quatro vezes maior.

- c) O filamento da lâmpada é obrigado a dissipar, em Pelotas, uma quantidade de energia térmica quatro vezes maior que ocasiona sua fusão (queima).

Q32. R\$ 4,50

Q33. a) 296,1 kWh b) sim

Q34. a) $6 \cdot 10^4 \text{ J}$ b) 100 s

Q35. $40 \cdot 10^2 \text{ W}$

Q36. 33,6 s

Q37. 26,8 °C

- Q38.** Para produzir, no líquido, correntes de convecção as quais distribuirão ao longo do próprio líquido, o calor gerado pelo resistor.

- Q39.** A chave seletora inverno/verão deveria ser colocada na posição inverno, pois, nessa situação, o chuveiro apresentaria menor resistência elétrica dissipando, consequentemente maior potência. Dissipando uma potência maior, o chuveiro estaria promovendo um maior aquecimento da água.

- Q40.** a) Não, pois, duplicando o comprimento do fio, estaria aumentando a resistência elétrica, que sob a mesma corrente dissiparia menor potência aquecendo menos a água. O eletricista poderia diminuir o comprimento do fio.
 b) $\sim R\$ 0,34$

Q41. É dissipada na forma de energia térmica.

- Q42.** a) A lâmpada dissipava uma potência de 60 W quando submetida a uma tensão de 120 V.
 b) 240 Ω
 c) $\sim 202 \text{ W}$

- Q43.** a) 14 Ω b) 144 Ω

- Q44.** a) Vários aparelhos conectados a uma única tomada exigem uma corrente superior à corrente suportada pela tomada causando seu aquecimento.
 b) Não se deve tocar em contatos elétricos sob o risco de choque.
 c) À medida que uma pessoa anda sobre o tapete, o fio é deformado havendo risco de curto-circuito.
 d) Operar aparelhos elétricos com o corpo molhado pode provocar choque elétrico.

- Q45.** a) 10 Ω c) 40 V, 60 V e 100 V
 b) 20 A

- Q46.** a) 0,2 A b) 120 V

Q47. 27,5 Ω

Q48. 980 J

Q49. $\sim 4 \Omega$

Q50. $\sim 0,3 \Omega$

- Q51.** a) 3,2 Ω b) 6 Ω

Q52. 5 Ω

- Q53.** a) 95 A b) 50 A; 25 A e 20 A

- Q54.** a) 3 A b) 36 W

- Q55.** a) Se uma das lâmpadas queimar, todas as outras se apagam.

b) 100 kWh

- c) A potência dissipada por cada lâmpada bem como a corrente que percorre cada uma delas não se altera, uma vez que as lâmpadas, em paralelo, continuam submetidas à mesma tensão elétrica.

- Q56.** a) 8 Ω c) 1 250 W
 b) 12,5 A d) 30 kWh

- Q57.** a) 20 Ω b) 0,25 kg

- Q58.** a) 6,25 Ω c) 3 Ω
 b) 5 Ω d) 6 Ω

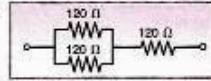
Q59. 16 Ω

Q60. 10 V

- Q61.** a) 5 Ω b) 3 Ω

- Q62.** a) 180 Ω

b)

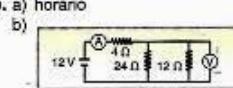


c) 0,25 A e 0,5 A

Q63. 0,75 A

Q64. $\sim 937,5 \text{ s}$

Q65. a) 0,25 A b)



Q66. 0,25 A

Q67. 0,25 A e 50 V

Q68. 4 A e 2 A

Q69. 5 A e 35 V

Q70. a) horário

b)

- Q71.** 12 V

- c) 12 Ω
 d) 1 A
 e) 8 V

- Q72.** a) 12 A c) 10 Ω e 50 Ω
 b) 100 V d) 1 200 W

- Q73.** a) 2,5 V c) 12,5 W
 b) 2,5 A

Q74. Somente F, queimará.

Q75. 6,25 Ω

- Q76.** a) 2 Ω c) 8 W
 b) 4 Ω

- Q77.** a) 0,75 A e 0,3 A b) 1,125 W

Q78. 40 Ω

- Q79.** $t_1 = 1,6 \text{ m} \text{ e } t_2 = 0,4 \text{ m}$

Q80. 1 A

- Q81.** a) 2 A c) 90%
 b) 2 W

- Q82.** a) 1 200 W c) 1 000 W
 b) 200 W d) $\sim 83\%$

Q83. 2 100 J

Q84. 15 A

Q85. 5 A

Q86. 12 V e 0,5 Ω

- Q87.** a) 5 Ω c) 20 A
 b) 100 V d) 50 V

Q88. 10 W

Q89. 0,6 A

Q90. 12 V e 2 Ω

- Q91.** a) 5 Ω c) 720 W
 b) 100 V

- Q92.** a) 4 A c) 720 W
 b) 90%

- Q93.** a) 5 A c) 110 A

- Q94.** a) 36 W c) 25 W

Q95. 1 A

- Q96.** a) 12 V c) 300 s

- Q97.** a) 40 V e 5 Ω c) 10 V e 2 Ω
 b) 12 V e 3 Ω

Q98. A associação em série tem a vantagem de aumentar a fêm e a desvantagem de aumentar a resistência interna. A associação em paralelo tem a vantagem de diminuir a resistência interna e a desvantagem de manter a fêm da associação.

Q99. 4,5 Ω

Q100. 12 V e 0,4 Ω

Q101. 32

- Q102.** a) 1,5 V c) $\frac{5}{12} \Omega$
 b) 0,4 A d) 11,25 Ω

Q103. 157,5 s

- Q104.** a) 4,47 V c) 894 Ω

Q105. Os portadores de carga da corrente elétrica diminuem sua energia potencial ao atravessar o receptor. Dessa forma circulam o receptor do pôlo positivo para o pôlo negativo.

- Q106.** a) 50 V c) 216 W
 b) 54 V d) $\sim 92,6$ ou 92,6%

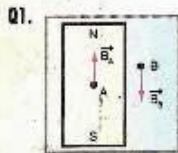
- Q107.** a) 36 W c) $\sim 93\%$

- Q108.** a) 60 V c) 5 Ω

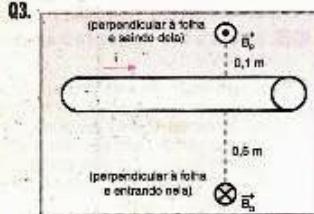
- Q112.** 5Ω
Q113. $0,5\Omega$
Q114. 80 s
Q115. 56 J
Q116. a) 10 V b) -335 V
Q117. $2,5\text{ V}$
Q118. a) 16 V b) -9 V
Q119. a) 2 A b) -4 V
Q120. 2 A e -8 V
Q121. a) $0,05\text{ A}$ c) a pilha de fém $1,5\text{ V}$
 b) 2 V , ponto A
Q122. a) $3\text{ A}, 2\text{ A}, 1\text{ A}, 3\text{ A}$ b) 7 V
Q123. 2 A
Q124. 10 W
Q125. 6 V
Q126. 10Ω
Q127. $i_1 = 0,1\text{ A}, i_2 = 0,2\text{ A}$ e $R = 100\Omega$
Q128. 6 A
Q129. $14,7\text{ V}$

UNIDADE XII

QUESTÕES



Q1. I e II



As intensidades são iguais a:

$$B_p = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r_p} \Rightarrow$$

$$B_p = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \cdot \frac{2}{0,1}$$

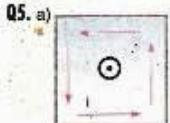
$$B_p = 4 \cdot 10^{-5}\text{ T}$$

$$B_q = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r_q} \Rightarrow$$

$$B_q = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \cdot \frac{2}{0,5}$$

$$B_q = 8 \cdot 10^{-7}\text{ T}$$

Q4. 8 A



Q6. zero; $6 \cdot 10^{-6}\text{ T}$

Q7. a) zero b) $8 \cdot 10^{-4}\text{ T}$

Q8. a) As linhas de indução do campo magnético terrestre têm, no polo norte geográfico, direção quase-vertical e estão orientadas para o solo.

b) Não. A bússola só consegue determinar a direção norte-sul em regiões onde o campo magnético terrestre é paralelo ou quase paralelo à superfície da própria Terra.

Q9. a) $1,8\pi \cdot 10^{-3}\text{ T}$, vertical e ascendente
b) $6\pi \cdot 10^{-2}\text{ T}$, normal e entrando no plano do papel

Q10. $4 \cdot 10^{-6}\text{ T}$

Q11. $8\pi \cdot 10^{-4}\text{ T}$

Q12. Módulo: $2,4\pi \cdot 10^{-5}$, normal e entrando no plano do papel

Q13. 10 A

Q14. 10 A

Q15. todas

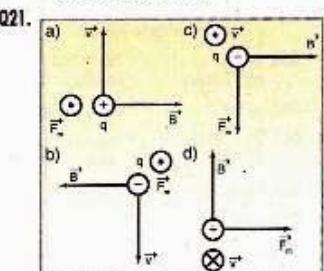
Q16. I e II

Q17. $1,44 \cdot \pi \cdot 10^{-1}\text{ T}$; horizontal e da esquerda para a direita

Q18. 2 A

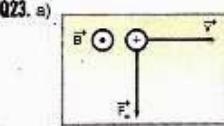
Q19. 25 espiras

Q20. a) Quando se movimenta na mesma direção do campo.
b) Quando se movimenta perpendicularmente ao campo.



Q22. a) $\odot, 6,4\sqrt{2} \cdot 10^{-6}\text{ N}$

b) nula



$$b) 9,6 \cdot 10^{-14}\text{ N}$$

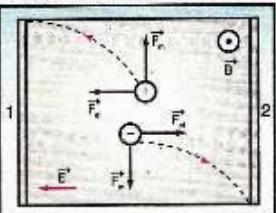
Q24. $4 \cdot 10^{-4}\text{ kg}$

Q25. 48 cm

Q26. a) Na cuba se estabelece um campo elétrico E onde as linhas de força estarão orientadas do eletrodo '2' para o eletrodo 1. Os íons positivos se deslocarão no sentido das linhas

enquanto os íons negativos se deslocarão em sentido contrário às mesmas linhas.

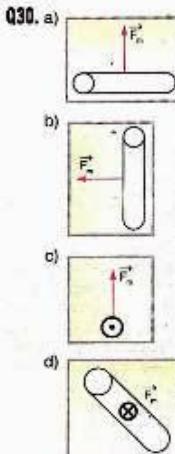
b) Devido ao campo magnético os íons, em movimento, sofrerão além da força elétrica F_e , uma força magnética F_m orientada de acordo com a regra da mão esquerda. Essa força magnética desvia os íons positivos para o canto superior esquerdo da cuba e os íons negativos para o canto inferior direito.



Q27. a) I é o elétron e II, o pósitron
b) pela regra da mão esquerda

Q28. nenhuma

Q29. $1,6 \cdot 10^6\text{ m/s}$



Q31. a) $F_n = B \cdot i \cdot L \cdot \sin \theta$. A força depende das grandezas campo magnético B , corrente elétrica (i) e comprimento (L).

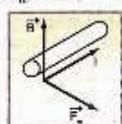
b) A força magnética é um vetor de direção normal ao plano determinado pelas direções do campo e da corrente.

Q32. $3,2 \cdot 10^{-3}\text{ N}$

Q33. a) zero

b) $5 \cdot 10^{-2}\text{ N}$

Q34. $F_n = 2\text{ N}$



Q35. $0,4\text{ T}$, para a direita

Q36. $5 \cdot 10^{-1}\text{ N}$