

FÍSICA

CAP. 05

LEIS DE NEWTON

Exportado em: 07/05/2025

[VER CAPÍTULO](#)

Escaneie com o
leitor de QR
Code da busca de
capítulos na aba
Conteúdo



SLIDES DO CAPÍTULO

Para começar e refletir

Rotina de pensamento:

Ver-Pensar-Perguntar



[ROTINA DE PENSAMENTO](#)

O principal objetivo ao longo dos capítulos de Cinemática foi descrever a movimentação dos corpos. Neste momento, em Dinâmica, o foco será entender o que causa a movimentação dos corpos. Portanto, neste capítulo serão trabalhadas as razões e as maneiras a partir das quais os corpos interagem mecanicamente.

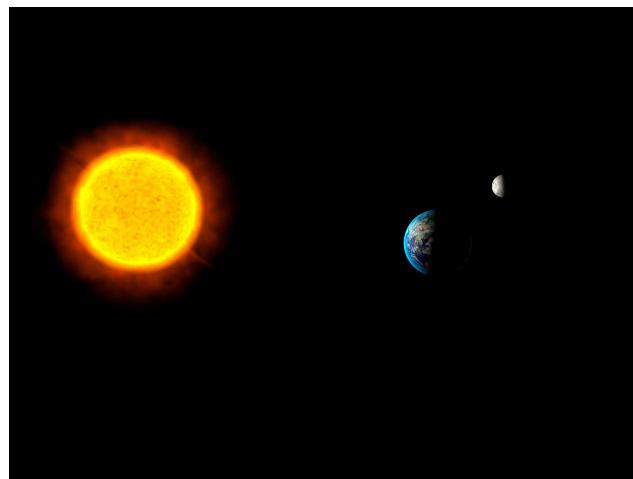
Para perceber como interpretamos interações entre os corpos, reflita sobre as imagens a seguir e as questões propostas.



shutterstock.com



shutterstock.com



shutterstock.com

1.

Descreva os elementos que você vê e chamam a atenção nessas imagens.

2.

Quais **relações** você estabelece entre as observações feitas?

3.

Com base no que você pensou, o que você **perguntaria** às imagens? Elabore hipóteses para explicar o que está acontecendo.

Primeiras formulações de conceitos na Dinâmica

Em capítulos anteriores, foram estudados exclusivamente os tipos de movimento dos corpos, e não suas causas. Por exemplo: durante o rolamento de uma bolinha em uma mesa, não foi questionado sobre o que a fez rolar, foi apenas estudado seu movimento a partir das equações da Cinemática com a função horária da posição, por exemplo.

Por outro lado, há situações e exemplos que demandam respostas sobre as perguntas "O que causou o movimento da bolinha? De que forma a causa está relacionada com o seu movimento?". As respostas a essas perguntas se dão no âmbito da **Dinâmica**, que teve o físico e matemático inglês Sir Isaac Newton (1643-1727) e o conceito de **força** como seus principais expoentes.

Nas palavras de Newton:

“

Se enxerguei mais longe, foi porque me apoiei sobre os ombros de gigantes.

NEWTON, I. [Correspondência]. Destinatário: Robert Hooke. Inglaterra, 5 fev. 1675. 1 carta.

Para compreender porque Newton foi um personagem marcante na história da Dinâmica, é necessário entender como os conceitos da Dinâmica chegaram até ele.

A força na Antiguidade



Na Antiguidade, a força na natureza era do mesmo tipo que a força do ser humano.

shutterstock.com

Na Antiguidade, força era um conceito construído, muito provavelmente, a partir dos **esforços físicos** que temos para realizar ações cotidianas, como caminhar ou levantar objetos. Além disso, força também estava associada à **resistência** de empurrar ou puxar objetos e perceber que eles não se movimentavam.

Desse modo, não havia uma distinção conceitual entre a força exercida durante o movimento de um objeto (como carregar uma pedra nos ombros) e a força exercida para tentar mover o objeto (como empurrar uma pedra muito pesada e ela permanecer imóvel). Com as situações vivenciadas, as palavras "força", "esforço", "vigor" e outras eram tidas como sinônimos, como até hoje são na linguagem cotidiana.

Com o tempo, dotou-se a natureza com as sensações humanas. Assim, **objetos inanimados** – como os rios e o vento – foram dotados de força.

Na Antiguidade, objetos, deuses e entes espirituais eram dotados de força, do mesmo tipo que o ser humano reconhecia em si próprio.

A força para alguns filósofos gregos



Estátua em homenagem ao pensador grego Aristóteles.

shutterstock.com

Essa concepção de força, como algo **intrínseco à matéria**, estava em consonância com a visão defendida pelo filósofo grego Platão (427-347 a.C.). Para ele, a matéria tinha alma – imortal e de origem divina – e, se havia alma, então deveria ter forças associadas.

Seu discípulo mais famoso foi Aristóteles (384-322 a.C.), que contribuiu para diversas áreas do conhecimento humano, inclusive a Física. Aristóteles adotou a concepção de seu mestre e foi além. Assim, para ele, havia **dois tipos de força**: a concepção platônica de força intrínseca à matéria, e a força como uma emanção do corpo ou substância. Essa segunda concepção era a responsável pelas forças de empurrar ou puxar, de causar um movimento em um outro corpo além de si mesmo. No seu livro *Metafísica*, Aristóteles sintetizou sua ideia: "Tudo o que é movido, o é por alguma coisa".

Qualitativamente, se a força fosse constante, o móvel se moveria em velocidade constante; se a intensidade da força variasse, a velocidade sofreria uma alteração correspondente.

Desse modo, Aristóteles associou **velocidade constante à força constante**.

Para Aristóteles, força é responsável por contrariar o movimento natural do corpo ou substância. Ela estava localizada no sujeito, alguém portava a força. Há uma relação de causa e efeito: força é apenas quando algo é movido ou colocado em repouso através de uma **ação por contato**. Aristóteles concebia a força como um fluido ou emanação da substância.

Relembre: o movimento para Aristóteles

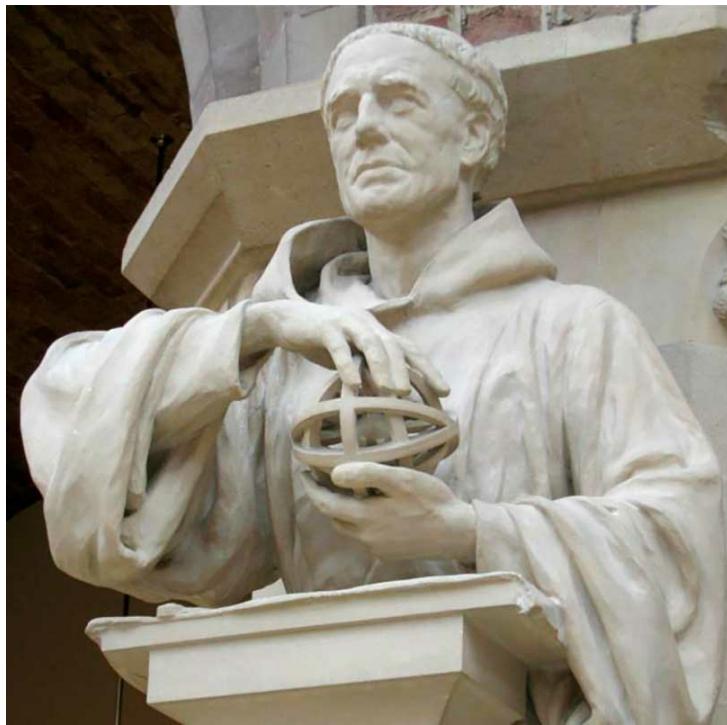


Para Aristóteles, tudo era constituído de quatro elementos básicos: ar, terra, água e fogo. Todos os constituintes desses corpos tenderiam a voltar para seu lugar original, por exemplo: a pedra é feita de terra, logo, procuraria a terra para repousar. Esses movimentos eram classificados como **movimentos naturais**. Segundo essa filosofia, o repouso dos corpos em seus lugares naturais não necessita de maiores explicações. Por outro lado, há outra categoria de movimentos, causados pela força, chamados de **movimentos forçados**. Nesses casos, um corpo deixaria seu lugar natural de repouso apenas se fosse violentado por uma ação contínua de um agente externo.

A concepção aristotélica de força perdurou por séculos até a Idade Média, mesmo que tenham surgido outras teorizações. Por exemplo, para o filósofo grego Posidônio (135-51 a.C.), a força era o conceito mais fundamental – não a substância ou matéria, como pregavam Platão e Aristóteles –, e ela relacionava dois corpos, sendo simultânea a eles na interação. A concepção de Posidônio da **força como relação** não teve muitos adeptos à época, sendo resgatada somente séculos mais tarde.

A concepção aristotélica de força por contato não conseguia explicar plenamente os corpos em órbita da Terra (na época, defendia-se a Terra no centro do Universo). Assim, o movimento dos astros era associado ao "movimento natural" e nada precisava ser dito a respeito de suas causas. Tentativas de explicar a dinâmica na Gravitação começaram a ganhar força no século XIII.

A força antes de Newton



Estátua em homenagem ao pensador inglês Roger Bacon.

Wikimedia Commons

Na Idade Média, no século XIII, o conceito de força passou por outra transformação. Nesse período, aconteceu uma incorporação da filosofia aristotélica às bases canônicas do cristianismo, promovida por Tomás de Aquino (1225-1274) e outros. Assim, houve uma retomada do interesse europeu pelo pensamento aristotélico, tanto no sentido de corroboração quanto no de contestação.

Impulsionado pelo pensador inglês Roger Bacon (1220-1292), o problema em aberto da força entre os corpos celestes não era nem um movimento natural, nem uma força que atuava a distância. Para Bacon e seus discípulos, como o francês Pierre Jean Olivi (1248-1298), a força era uma **ação contígua**. Isto é, a força era transmitida por contato, pelo meio, de partícula a partícula, até chegar aos corpos.

Desse modo, vigorava ainda a concepção de Aristóteles, de força por contato, que se mantinha viva com a expressão "*nihil agit in distans nisi prius agit in medium*" (em latim: nada age a distância, a não ser que aja anteriormente no meio). Mesmo com oposição, como a oferecida pelo inglês Wilhelm von Ockham (1285-1347), a **força por contato imediato** era a verdade na época.

Pouco tempo depois, tiveram destaque novas concepções de força. Na esteira da teoria do *impetus* para explicar o movimento dos corpos e nas ideias de Platão, a **força era um**

princípio intrínseco da matéria.

Relembre: teoria do *impetus*



Na teoria do *impetus* como apresentada por Jean Buridan (1301-1358), um corpo armazenaria uma **força interna**, transmitida pelo lançador ao arremessá-lo. Segundo Buridan, quando um corpo é lançado, o lançador imprime ao corpo um certo *impetus*, isto é, uma força que permite ao corpo se mover na direção que o lançador externo a submeteu inicialmente.

Assim, a **força estaria sediada no próprio corpo** que se move. Desse modo, abandona-se a visão aristotélica de força como emanação da matéria e assume-se força como algo próprio da matéria. Alguns defensores dessa visão foram o francês Jean de Jandum (1280-1328) e o escocês Duns Scott (1266-1308).

No século XVI, havia um certo entendimento genérico de força como resultado de um princípio de que corpos semelhantes possuem a tendência de atrair corpos semelhantes (essa concepção influenciou a teoria copernicana da gravitação e também estava presente nas outras áreas da Física, como o magnetismo).



Selo postal ucraniano em homenagem ao astrônomo, físico e matemático Johannes Kepler.

aquatarkus / shutterstock.com

Johannes Kepler (1571-1630) foi um astrônomo alemão e personagem importante no que ficou conhecida como revolução copernicana. Com as observações e a análise dos movimentos dos planetas, o estudo da força em Kepler era principalmente voltado à força gravitacional (e não à força como empregada na estática).

Assim, para ele, força era um **conceito intermediário, matemático**, que explicava a relação de causa e efeito entre a distância dos planetas e suas respectivas velocidades ao redor do Sol. Nesse contexto, a força só podia ser reconhecida por **conta de seus efeitos em corpos extensos**. Um ponto matemático não poderia exercer força de atração, por exemplo.

Em relação ao que é a força de fato, Kepler assumiu em sua primeira obra, *Astronomia Nova*, de 1609, uma interpretação de força como algo **incorpóreo, imaterial**, uma "faculdade animadora". Essa posição incorpórea da força era compartilhada por outros, como Leonardo da Vinci (1452-1519).

No entanto, a interpretação de Kepler mudara em 1621 com a segunda edição do *Mistério Cosmográfico*, de sua autoria:

“

Cheguei à conclusão de que essa força [gravitacional] é alguma coisa corpórea, se não propriamente dita, ao menos em certo sentido.

JAMMER, M. Conceitos de força: estudo sobre os fundamentos da dinâmica Tradução: Vera Ribeiro e Antônio Mattoso. Rio de Janeiro: Contraponto e Ed. PUC-Rio, 2011.

Outra contribuição de Kepler na construção do conceito de força foi perceber a sua **reciprocidade**. Isto é, se o corpo A atrai o corpo B, então o corpo B atrai o corpo A.

Por fim, Kepler reinterpretou o conceito de força como um conceito **recíproco e relacional**. Isto é, para existir força, deve existir uma relação entre pelo menos dois corpos. Desse modo, abandona-se a ideia platônica de que a força pertencia ao objeto.

Saiba mais: a Mecânica para Descartes

As interpretações de Kepler para a força foram lentamente difundidas pela Europa. Mas houve quem discordasse. Um nome de destaque foi o matemático e filósofo francês René Descartes (1596-1650). Entre seus escritos, ele **rejeitava a ação a distância**. Para justificar os movimentos dos corpos, Descartes propôs uma complexa teorização de movimentos no éter, uma espécie de "névoa" que preencheria todo o espaço.

Além disso, Descartes rejeitava o conceito de força, pois considerava que os princípios da física deveriam estar na geometria e na matemática abstrata. Desse modo, o francês desenvolveu **teorias mecânicas sem o conceito de força**, apenas considerando o éter, a extensão dos corpos e seus movimentos. As ideias cartesianas foram influentes e tiveram adeptos entre os cientistas e matemáticos de toda a Europa, como o holandês Christiaan Huygens (1629-1695), o suíço Jean Bernoulli (1667-1748), e os franceses Pierre Varignon (1654-1722) e Joseph Saurin (1659-1737).

Outro astrônomo importante, contemporâneo a Kepler, foi o italiano Galileu Galilei (1564-1642). Galileu muito contribuiu para o desenvolvimento da Cinemática. Contudo, em relação às justificativas dos movimentos, Galileu optou por **suspender o juízo**, evitando criar hipóteses sobre essência da força (o mesmo seria feito por Newton anos mais tarde).

Mesmo que Galileu reconhecesse que a essência da força estava fora do alcance da época, isto não lhe impediu de contribuir com o reconhecimento de seus efeitos. Com seus estudos, Galileu propôs a força como uma **sequência contínua de impulsos instantâneos** que causava a **mudança da velocidade**. Galileu tateava o princípio da inércia, mas lhe faltava uma concepção mais clara de massa. De todo modo, o italiano contribuiu preparando o terreno para as conclusões de Newton.

Curiosidade



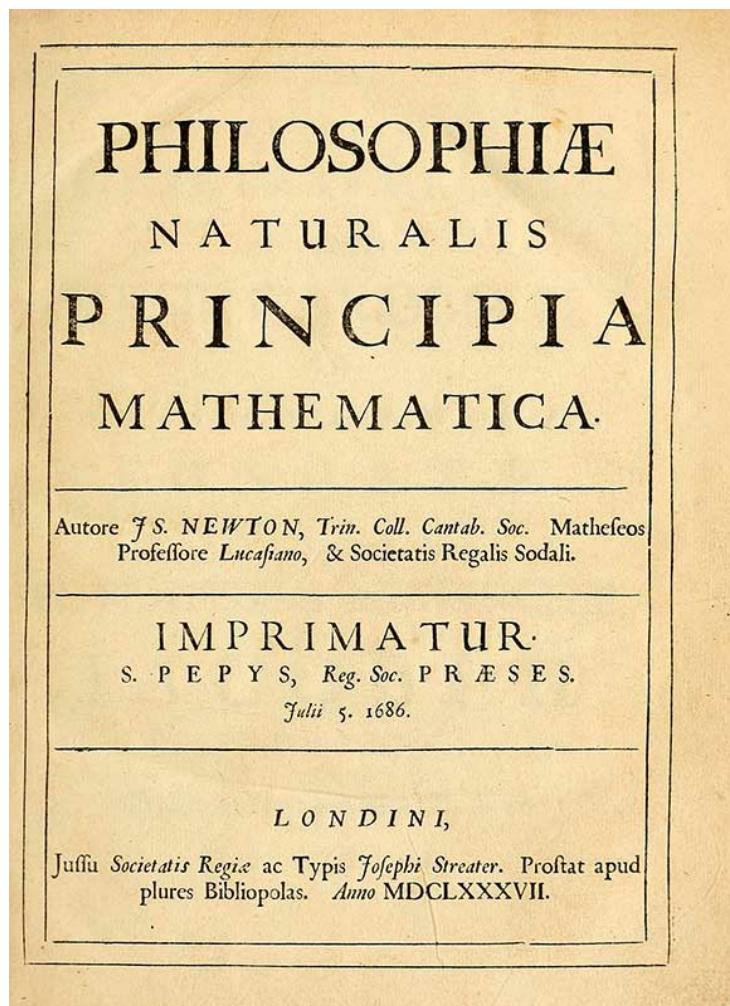
Não é simples para historiadores(as) estudarem o desenvolvimento de um conceito. Uma das razões é a utilização de diferentes termos para se referir à mesma ideia. Esse caso é particularmente marcante nas obras de Galileu, pois o italiano utilizava diversos nomes como sinônimos de "força": "forza, potenza, virtú, possanza, momento della potenza", entre outros.

Organizando as ideias: relação entre força, aceleração e velocidade até Newton



- Muito provavelmente, as primeiras concepções de força estavam ligadas aos **esforços físicos**. Não havia clara distinção entre os termos "força", "energia", "esforço", entre outros. Além de a força estar **associada ao contato**, ela era **propriedade de objetos e deuses**.
- Posteriormente, com Platão, a concepção de força foi entendida como **intrínseca à matéria**. Aristóteles avançou e distinguiu dois tipos de força: uma intrínseca à matéria e outra que emanava do corpo, responsável por empurrar ou puxar corpos. Portanto, a força ainda era **por contato e estava associada à velocidade**.
- Na Idade Média, a ideia de força por contato foi reinterpretada. Não era necessário um contato entre corpos extensos. A força era por **contato imediato, uma ação contígua**, que se propaga de partícula a partícula até chegar aos corpos. Retoma-se a concepção platônica, que defendia a força como algo **próprio do corpo**.
- Nos séculos XVI e XVII, foram feitas diferentes teorizações da Mecânica. Na escola de pensamento cartesiana, força era fictícia e não tinha espaço no edifício conceitual. Para Galileu e Kepler, força estava associada a **mudança da velocidade**. Kepler ainda reconheceria a força como **recíproca e relacional**. O debate acerca de a força atuar a distância ou por contato ainda estava em aberto.

A Era Newton

Contracapa da primeira edição do *Principia*, 1687.

Wikimedia Commons

Nos séculos XVII e XVIII, houve importantes contribuições para o entendimento e a formalização do conceito de força. Não apenas devido aos trabalhos de Newton, mas também de seus contemporâneos que sustentaram posições a favor e contra.

A obra mais famosa de Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Princípios Matemáticos de Filosofia Natural), abreviada como *Principia*, foi publicada em 1687 pela *Royal Society* (Academia de Ciências do Reino Unido). Nela, Newton apresenta algumas definições iniciais para então propor suas leis da Dinâmica.

Além disso, Newton, em posição semelhante a Galileu, opta por **suspender o juízo** a respeito do que seria de fato uma força para além da experiência sensível. A esse respeito, tem-se a célebre frase de Newton "*hypotheses non fingo*" (em latim: não invento hipóteses), no final do seu terceiro livro:

“

Até hoje, entretanto, não pude descobrir a causa dessas propriedades da gravitação a partir dos fenômenos, e não invento hipóteses. Pois o que não for deduzido dos fenômenos deve

ser chamado de hipótese, e as hipóteses, sejam metafísicas ou físicas, referentes a qualidades ocultas ou mecânicas, não têm lugar na filosofia experimental.

JAMMER, M. Conceitos de força: estudo sobre os fundamentos da dinâmica Tradução: Vera Ribeiro e Antônio Mattoso. Rio de Janeiro: Contraponto e Ed. PUC-Rio, 2011.

Definição de massa

Quando Newton se dedicou ao estudo da Mecânica, estavam em voga problemas relacionados à movimentação dos corpos celestes. Com análises de obras de seus antecessores e mediante novos cálculos, Newton foi levado a distinguir peso e massa, chamando esta última de **quantidade de matéria**.

Embora a ideia de quantidade de matéria como sendo a massa de um corpo já ter sido concebida por Galileu, Kepler e outros, ela não foi explicitamente reconhecida como conceito fundamental para a Mecânica.

Desse modo, a tradução do latim para o português da Definição I que Newton apresenta no *Principia* diz:

“

A quantidade de matéria é a medida da massa, obtida conjuntamente a partir de sua densidade e volume.

NEWTON, I. *Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*. Livro I. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

Modernamente, entende-se massa como uma **grandeza física escalar** que representa a quantidade de matéria apresentada por um corpo quando este ocupa lugar no espaço.

A unidade utilizada para representar a massa (m), segundo o Sistema Internacional de unidades (SI), é o quilograma (kg), a partir do qual é possível fazer conversões para a obtenção de outras unidades de massa:

- $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$
- $1000 \text{ kg} = 1 \text{ tonelada (ton)}$

Saiba mais: o quilograma

Até 2019, o quilograma era definido como a medida da massa de um objeto constituído por uma liga metálica formada por 90% de platina e 10% de irídio denominado como Protótipo Internacional do Quilograma. A massa dos corpos é, então, determinada com base na comparação com esse quilograma padrão.



Um dos protótipos do quilograma guardado no Instituto Nacional de Medidas e Tecnologia nos Estados Unidos.

Wikimedia Commons

Na imagem, observa-se uma representação do Protótipo Internacional do Quilograma, com formato cilíndrico reto, de altura igual ao diâmetro e equivalente a 39,17 mm. O quilograma padrão é mantido no Escritório Internacional de Pesos e Medidas, na região de Sèvres, no subúrbio de Paris.

Atualmente, contudo, o quilograma é obtido a partir de valores definidos para a constante de Planck – uma constante fundamental da natureza presente na Física Quântica – a velocidade da luz e a frequência do átomo Césio-133.

Definição de força

O termo "força" aparece pela primeira vez na Definição III:

“

A vis insita, ou força inata da matéria, é um poder de resistir, através do qual todo o corpo, no que depende dele, mantém seu estado presente, seja ele de repouso ou de movimento uniforme em linha reta.

NEWTON, I. *Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* Livro I. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

Ao apresentar força, Newton também apresenta o conceito de **inércia**. A "vis insita" pode ser chamada de inércia, pois um corpo não tem seu estado de movimento ou repouso

alterado espontaneamente. A "força inata da matéria" é a inércia, que, como disse Newton, "é um poder de resistir" à variação do seu estado atual.

Mais adiante, na Definição IV, Newton traz a "força imprimida", em contraste com a "força inata" (inércia):

“

Uma força imprimida é uma ação exercida sobre um corpo a fim de alterar seu estado, seja de repouso, seja de movimento uniforme em linha reta.

NEWTON, I. *Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* Livro I. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

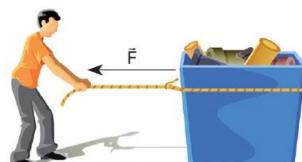
Desse modo, Newton utiliza o termo "força imprimida" (*vis impressa*, em latim) para conceitualizar **força**: uma ação que é exercida sobre um determinado corpo. Ela tem um caráter transitório, diferente da inércia. Portanto, o que é intrínseco e universal da matéria é a inércia, não a força, como sugeriu Platão e Aristóteles.

A consequência desse efeito é alterar seu estado de movimento. Sua definição, portanto, serve como um resumo da propriedade da força: **determinar aceleração**.

Modernamente, para fins práticos, a força é uma **grandeza vetorial** que provoca variação na velocidade dos movimentos apresentados pelos corpos, deformações em suas estruturas físicas ou mudanças em suas trajetórias.

A unidade de força no SI é o newton (N) e pode ser medida por um aparelho chamado **dinamômetro**.

Por ser uma grandeza física vetorial, a força apresenta módulo, direção e sentido. O módulo evidencia a intensidade da força. Por exemplo, uma pessoa puxando uma caixa por meio de uma corda pode fazê-lo aplicando uma força com as seguintes características:



Homem movimentando uma caixa com o auxílio de uma corda
(Cores-fantasia; imagem sem escala.).

Reprodução

- **módulo:** 200 N;

- **direção:** horizontal;
- **sentido:** da direita para a esquerda.

Tipos de força

Em nível macroscópico, as forças podem ser classificadas como forças de contato, quando efetivamente ocorre o contato, ou forças de campo, como a ação de repulsão de dois ímãs com mesma polaridade, na qual não há necessidade de contato.

Desse modo, as forças são classificadas em termos de seu potencial de atuação:

- **Forças de contato:** aquelas para as quais há necessidade do contato, como a força normal, de atrito e de tração.
- **Força de campo:** a mediação dessas forças é pela presença de um campo, não existindo a necessidade do contato, como a força gravitacional, a magnética (entre ímãs), a elétrica e a nuclear.

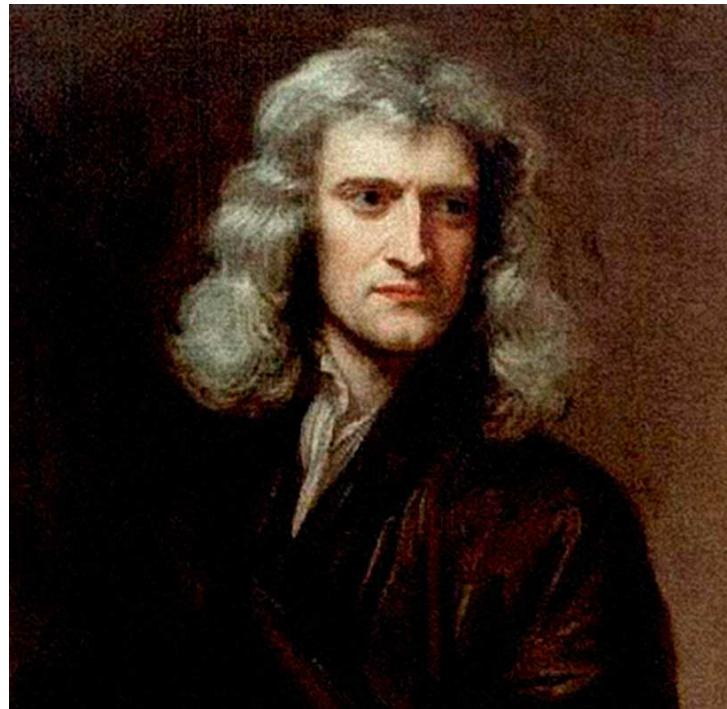
Agora é com você



Questão 01

Qual é a diferença de inércia (força inata) e força (força imprimida) para Newton?

Primeira Lei de Newton: Lei da Inércia



Retrato de Newton em 1689.

Godfrey Kneller / Wikimedia Commons

Ao longo do *Principia*, Newton apresenta mais algumas definições. Após oito definições, ele considera que preparou o leitor adequadamente, estabelecendo como os termos devem ser entendidos ao longo da obra.

É interessante notar que Newton não apresentou definições para tempo e lugar. Em suas palavras, "não defino tempo, espaço, lugar e movimento por serem bem conhecidos de todos".

A tradução do latim para o português da Primeira Lei de Newton enuncia:

“

Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta, a menos que ele seja forçado a mudar aquele estado por forças imprimidas sobre ele.

NEWTON, I. *Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* Livro I. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

Modernamente, interpreta-se a **Primeira Lei de Newton** como: um corpo tende a manter seu estado de movimento, seja em repouso ou em velocidade constante em trajetória retilínea, até que uma força altere seu estado.

Perceba que, na Primeira Lei, está contido o conceito de **inércia**, apresentada anteriormente por Newton em sua definição de força.

Inércia é a tendência de oferecer resistência à mudança de estado de movimento.

De maneira geral, os corpos tendem a estados de equilíbrio, ou seja, condições nas quais não há variações no seu estado de movimento. Na Mecânica, o equilíbrio pode apresentar duas naturezas:

- ▶ **Equilíbrio estático:** o corpo está em repouso, ou seja, parado.
- ▶ **Equilíbrio dinâmico:** o corpo está se movimentando com velocidade constante, ou seja, em movimento uniforme.

A Primeira Lei de Newton na prática

Evidenciando a inércia de um passageiro na parada de um ônibus.

Reprodução

O conceito de inércia pode ser evidenciado em diversas situações do dia a dia. Por exemplo, considere pessoas em um veículo, como um carro ou ônibus que se move a certa velocidade em linha reta. De repente, o motorista freia bruscamente. Essa rápida alteração de movimento faz com que as pessoas dentro do carro sejam jogadas para frente. Em um ônibus, esse cenário é ainda mais perigoso, visto que muitas pessoas podem estar de pé e sem apoios.



Em uma colisão, os corpos de dentro do carro tendem a manter o movimento de antes da batida, por este motivo o cinto de segurança se faz necessário. (Imagem sem escala).

Reprodução

Apesar de o carro ter trocado o estado de movimento (do movimento para o repouso), as pessoas continuaram no movimento original. Essa tendência de continuar no movimento original é consequência da inércia intrínseca dos corpos.



Acesse: um físico tirando a toalha da mesa

Na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, o professor Paulo Roberto demonstra como tirar uma toalha da mesa sem derrubar ou mexer os objetos que estão sobre ela. Veja o [vídeo sobre esse experimento, que evidencia a inércia dos corpos.](#)

Leitura Complementar



A importância do cinto de segurança

Hoje em dia, todos os carros são equipados com cintos de segurança. No Brasil, esse equipamento de segurança é obrigatório desde 1994 no banco da frente, e desde 1998 para todos os ocupantes do veículo. Há três diferentes modelos de cinto de segurança:

O Cinto de Três Pontos: oferece maior proteção porque a força do impacto é distribuída e absorvida por ele em toda área de contato com o corpo, trabalhando com a estrutura esquelética humana adulta. Para usá-lo corretamente devemos sentar com a coluna ereta, fazendo um ângulo de noventa graus com as pernas, daí o cinto diagonal passa pelo meio do ombro e se estende pela coluna vertebral até o engate nos quadris, e o cinto sub-abdominal ou pélvico deve ser colocado na articulação dos quadris, e não na barriga.

O Cinto Diagonal: preso atrás do ombro e ao lado do quadril, impede que a pessoa seja lançada para a frente, mas o corpo pode passar por baixo do cinto, causando lesões no pescoço e até mesmo estrangulamento. Isso é chamado efeito submarino.

Cinto de Dois Pontos, Sub-Abdominal ou Pélvico: colocado na articulação dos quadris, não impede que o corpo se dobre e seja arremessado para a frente, causando lesões no tórax, pescoço e cabeça.

DETTRAN, Paraná. Cinto de segurança. Disponível em: <<http://www.educacaotransito.pr.gov.br/pagina-258.html>>. Acesso em: 15 jun. 2021.

Agora é com você



Questão 01

Utilize um exemplo para explicar o conceito de inércia com suas palavras.

Questão 02

Em uma história em quadrinhos, as personagens fizeram uma viagem de avião e, como não havia assentos, permaneceram em pé e soltas durante toda a viagem.

Considerando-se as condições normais, as personagens, nos momentos de decolagem e de aterrissagem, foram deslocadas:

- (A) no sentido da cauda do avião, na decolagem, e no sentido da cabine de comando, na aterrissagem.
- (B) no sentido da cabine, na decolagem, e no sentido 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) sempre na direção vertical, no sentido do teto do avião.

Segunda Lei de Newton: Princípio Fundamental da Dinâmica

Até o momento, tem-se considerado situações em que os corpos estão parados ou em movimento uniforme. E o que dizer das situações em que um corpo não está em equilíbrio? Para o estudo dessas situações, faz-se necessário o conhecimento da Segunda Lei de Newton.

A tradução do latim para o português da Segunda Lei de Newton enuncia:

“

A mudança de movimento é proporcional à força motora imprimida, e é produzida na direção da linha reta na qual aquela força é imprimida.

NEWTON, I. *Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* Livro I. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

Curiosidade



Manuscritos de Newton guardados na biblioteca da Universidade de Cambridge revelam que Newton tentou oito diferentes maneiras de organização dos termos para enunciar sua segunda lei. Sete dessas tentativas estavam riscadas. A que sobrou foi a que deu origem à enunciação em sua forma final.

Modernamente, interpreta-se a **Segunda Lei de Newton** como: a aceleração que um corpo experimenta é diretamente proporcional à força resultante a que foi submetido e inversamente proporcional à sua massa.

Matematicamente, a Segunda Lei de Newton é expressa como:

$$\vec{F}_R = m\vec{a}$$

O subíndice "R" na expressão acima indica que F é a **força resultante**. Força resultante é a soma vetorial de todas as forças aplicadas sobre um corpo, considerando módulo, direção e sentido.

Levando em conta a enunciação de Newton mostrada anteriormente, é possível fazer o seguinte paralelo: o trecho "a mudança de movimento" pode ser entendida como aceleração; o trecho "força motora imprimida" é a resultante das forças; a constante de proporcionalidade é dada pela massa inercial, e a "produção da mudança de movimento na linha de atuação da força" corresponde aos vetores paralelos \vec{F} e \vec{a} .

Caso seja necessário apenas o módulo da força resultante, então:

$$F_R = ma$$

Importante: a inércia de um corpo é quantificada pela sua massa



É mais difícil empurrar objetos maiores, como uma geladeira, do que objetos menores, como um livro. Isso ocorre porque a geladeira tem uma massa maior, apresentando maior inércia. Logo, tem-se a equivalência numérica entre a inércia e a massa de um corpo: um corpo com grande massa tem grande inércia, e o contrário também é verdade.

Agora é com você



Questão 01

Por que podemos considerar o movimento retilíneo uniforme como um caso de equilíbrio?

Leitura Complementar



A expressão $F = ma$ nunca foi escrita por Newton

A formulação da Segunda Lei de Newton associando força resultante à aceleração através da expressão $F_R = ma$ não foi escrita por Newton. Alguns(Algumas) historiadores(as) defendem que não é possível inferir que Newton havia de fato indicado que força resultante e aceleração eram proporcionais tanto nas páginas dos *Principia* quanto em outros escritos conhecidos.

$F = ma$ foi escrito apenas em 1752 [25 anos após a morte de Newton] no artigo *Découverte d'un nouveau principe de Mécanique* (Descoberta de um novo princípio da Mecânica) por Leonhard Euler. De fato, a enunciação de Newton parece corresponder a $F = \Delta(mv)$, não a $F = ma$, como já foi apontado pela pesquisadora Penha M. C. Dias em outro artigo.

[...]

A formulação de Euler que culminou em $F = ma$ foi construída a partir de instrumentos não utilizados por Newton e elementos conceituais que ainda não estavam disponíveis em sua época. Em outras palavras, houve uma evolução conceitual entre a enunciação de Newton e $F = ma$, portanto $F = ma$ não pode ser considerada uma notação de sua enunciação.

SITKO, C. M. Why Newton's Second Law is not $F = ma$. *Acta Scientiae*, Canoas, v. 21, n. 1, p. 83-94, 2019. (tradução nossa, adaptado).

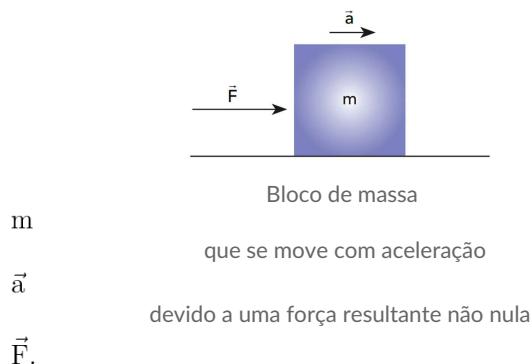
A Segunda Lei de Newton na prática

Atletas mudam seus estados de movimento (saem do repouso) devido a uma força resultante não nula.

xdpsoe / GIPHY

A Segunda Lei de Newton é evidenciada nas diversas práticas diárias do cotidiano ou nas experimentações em laboratório. Por exemplo, em todos os esportes de atletismo, nos quais os(as) atletas saem do repouso (ou lançam objetos), há aceleração, portanto, há força resultante.

Conforme Newton enunciou, a força resultante e a aceleração sempre vão apresentar a **mesma direção e sentido**.

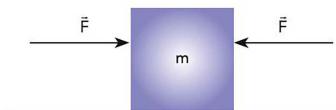


Reprodução

Na situação da imagem anterior, a força resultante é a própria força \vec{F} , pois esta é a única força que atua sobre o corpo. Se a massa do bloco for $m = 5 \text{ kg}$ e o módulo da aceleração for $a = 2 \text{ m/s}^2$, então pela Segunda Lei de Newton:

$$F_R = ma \Rightarrow F_R = 5 \cdot 2 = 10 \text{ N}$$

Uma outra situação é quando a força resultante que atua sobre o corpo é **nula**. Considere duas forças com a mesma intensidade, que atuam na mesma direção, mas em sentidos opostos. Nesse caso, a resultante das forças que atuam em um corpo é **nula**.



Reprodução

Matematicamente, expressa-se esse resultado como:

$$F_R = ma$$

Sendo $F_R = 0$, logo:

$$0 = ma$$

Como a massa de um corpo não pode ser nula, o corpo terá, obrigatoriamente:

$$a = 0$$

Quando a aceleração de um corpo é zero há duas possibilidades físicas:

- O corpo pode estar em repouso. Com aceleração nula, ele nunca entrará em movimento.
- O corpo pode estar em movimento retilíneo uniforme, ou seja, deslocando-se com velocidade constante, em módulo.

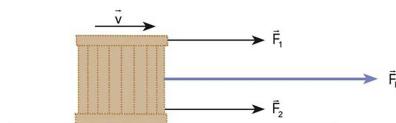
Quanto maior a massa de um corpo, maior deve ser a intensidade da força resultante para fazê-lo atingir determinada velocidade em um determinado intervalo.

Determinação da força resultante

Às vezes, há mais de uma força agindo sobre um corpo. A força resultante será então o resultado de todas as forças que estejam aplicadas a ele. Ela será responsável pela mudança em sua velocidade, trajetória ou em sua deformação física.

No caso de duas ou mais forças agirem sobre o mesmo corpo, o **módulo** da força resultante pode ser determinado de acordo com os seguintes casos particulares:

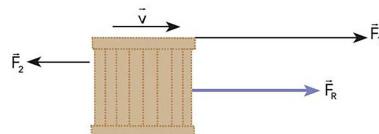
- Forças de **mesma direção e sentido**: $F_R = F_1 + F_2$



A intensidade da força resultante entre duas forças que atuam num corpo e apontando no mesmo sentido é igual à soma das intensidades dessas duas forças. (Imagem sem escala.)

Reprodução

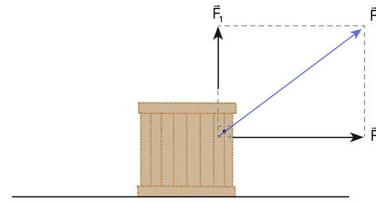
- Forças de **mesma direção e de sentidos opostos**: $F_R = F_1 - F_2$, pois $F_1 > F_2$



A intensidade da força resultante entre duas forças que atuam num corpo e apontando em sentidos opostos é igual à subtração das intensidades dessas duas forças. (Imagem sem escala.)

Reprodução

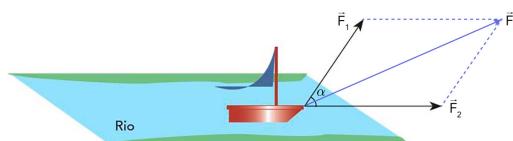
- Forças **perpendiculares** ou ortogonais: $F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$



A intensidade da força resultante entre duas forças que atuam em direções ortogonais em um corpo é encontrada pelo Teorema de Pitágoras.

Reprodução

- Forças entre as quais há um ângulo α : $F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \alpha}$



Quando duas forças atuam em um corpo formando um ângulo α , a intensidade da força resultante é encontrada utilizando a lei dos cossenos.

Saiba mais: quilograma-força



A força também pode ser expressa em um sistema de unidade conhecido como quilograma-força (kgf).

Uma unidade de quilograma-força (1 kgf) é o módulo do peso de um corpo de massa igual a 1 kg ao nível do mar e a uma latitude de 45° . A localização do corpo, nesse caso, estaria submetida a uma aceleração gravitacional de, aproximadamente, $9,8 \text{ m/s}^2$. Nessas condições, um quilograma-força equivale a 9,8 newtons, pois:

$$F_R = ma \Rightarrow F_R = 1 \cdot 9,8 = 9,8 \text{ N}$$

Portanto, 1 kgf = 9,8 N

Exercício resolvido



1.

Considere um bloco de 1 quilograma em repouso sobre uma superfície horizontal. No bloco, atuam-se três forças horizontais de intensidades $F_1 = 1 \text{ N}$; $F_2 = 2 \text{ N}$; $F_3 = 5 \text{ N}$, respectivamente. Determine a intensidade da força resultante que atua sobre o bloco

se:

- a) todas as forças possuem mesmo sentido.
- b) F_3 possui sentido contrário a F_1 e F_2 .

Resolução:

Do enunciado, sabe-se que as três forças atuam horizontalmente no bloco.

Com isso, no caso **a)** todas as forças têm o mesmo sentido. Portanto:

$$F_R = F_1 + F_2 + F_3 = 1 + 2 + 5 = 8 \text{ N}$$

Em **b)** F_1 e F_2 possuem ambas o mesmo sentido, que é contrário ao sentido de F_3 .

Assim, tem-se:

$$F_R = F_1 + F_2 - F_3 = 1 + 2 - 5 = -2 \text{ N}$$

2.

(Mackenzie) Uma força constante age sobre um corpo de 100 quilogramas, e em 5 segundos varia sua velocidade de 10 m/s para 15 m/s. A intensidade mínima dessa força deve ser de:

Resolução:

Primeiro determina-se a aceleração a partir das equações da Cinemática:

$$v = v_0 + at$$

Com os dados do enunciado, tem-se:

$$15 = 10 + 5a \Rightarrow a = 1 \text{ m/s}^2$$

Pela Segunda Lei de Newton:

$$F_R = ma \Rightarrow$$

$$F_R = 100 \cdot 1 = 100 \text{ N}$$

Portanto, 100 N é a força mínima que deve ser aplicada ao corpo. Isso significa que ela está paralela à direção da velocidade.

Agora é com você

**Questão 01**

Decorrido algum tempo após o salto do avião, os paraquedistas, mesmo antes de abrirem o paraquedas, passam a descer com velocidade constante. Nessa situação, a força resultante sobre um paraquedista de peso 700 N tem intensidade, em newtons, igual a:

- (A) zero.
- (B) 350.
- (C) 700.
- (D) 1 050.
- (E) 1 400.

Terceira Lei de Newton: Princípio da Ação e Reação

Tanto a Primeira quanto a Segunda Lei de Newton vistas anteriormente acrescentam poucas informações sobre o conceito de força que Newton apresentou em suas definições. Contudo, a Terceira Lei fornece uma característica importante da força: ela se manifesta em um **aspecto duplo, ação e reação**.

Embora Kepler já tivesse chegado à conclusão de que a força é um conceito que demanda reciprocidade, ele não reconheceu a igualdade das duas forças e seus sentidos opostos. Newton foi quem formulou essa ideia em um princípio quantitativo geral.

A tradução do latim para o português da Terceira Lei de Newton enuncia:

“

A toda ação há sempre oposta uma reação igual ou as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas.

NEWTON, I. *Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* Livro I. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

Modernamente, escreve-se a **Terceira Lei de Newton** como: toda ação aplicada sobre um corpo gera uma reação, de mesma intensidade e direção, porém com sentido oposto e aplicado em corpos diferentes.

Leitura Complementar

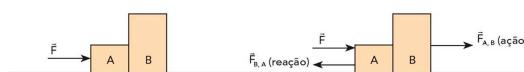


Argumento utilizado por Newton para defender a validade da sua Terceira Lei

Suponhamos que dois corpos, A e B, atraem-se mutuamente; imaginemos então que A, por exemplo, atrai B com uma intensidade maior do que B atrai A; suponhamos também que se interponha um obstáculo para impedir o encontro desses dois corpos; nesse caso, nossa suposição levaria à conclusão de que o sistema inteiro (A-obstáculo-B) se moveria na direção de B para A, pois o obstáculo, no dizer de Newton, "será mais fortemente instigado pela pressão" do corpo B do que pela pressão do corpo A; consequentemente, não permanecerá em equilíbrio, mas se acelerá *ad infinitum*.

JAMMER, M. Conceitos de força: estudo sobre os fundamentos da dinâmica Tradução: Vera Ribeiro e Antônio Mattoso. Rio de Janeiro: Contraponto e Ed. PUC-Rio, 2011.

A Terceira Lei de Newton é uma aplicação do conceito de força à ação de um corpo sobre outro, o que gera alteração no seu estado de movimento ou deformação. Ou seja, quando aplicamos uma força para empurrar uma geladeira, em uma tentativa de alterar seu estado de movimento, ela também aplica uma força sobre nós.



Para toda ação de uma força existe uma força de reação com a mesma direção e sentido contrário.

Reprodução

A Terceira Lei de Newton promove duas conclusões importantes:

1.

Todas as forças têm uma forma de reação, desde o soco dado no saco de areia até a força entre ímãs.

2.

As forças de ação e reação, no contato entre os corpos, têm a **mesma intensidade** e são **simultâneas**, independentemente da inércia dos corpos envolvidos. O que pode ser diferente é a consequência dessas forças: em uma batida de um caminhão com uma moto, a força de ação e reação entre eles será igual, porém, o estrago na moto será muito maior.

Inseto atacando um dedo humano.

xdpsowe / GIPHY

Agora é com você

**Questão 01**

A Terra atrai um pacote de arroz com uma força de 49 N. Pode-se, então, afirmar que o pacote de arroz:

- (A) atrai a Terra com uma força de 49 N.
- (B) atrai a Terra com uma força menor do que 49 N.
- (C) não exerce força nenhuma sobre a Terra.
- (D) repele a Terra com uma força de 49 N.
- (E) repele a Terra com uma força menor do que 49 N.

A Terceira Lei de Newton na prática

Considere dois jovens, A e B, usando patins, inicialmente em repouso em uma pista lisa.

Quando o patinador A empurra o patinador B, ambos entram em movimento: B para a direita e A para a esquerda, conforme a ilustração a seguir.

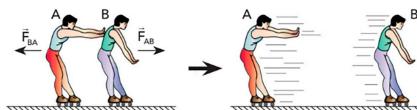


Ilustração da Terceira Lei de Newton no contexto de patinadores no gelo.

Reprodução

De acordo com o exposto, pode-se concluir que a velocidade de B variou e a de A também. Sabe-se, ainda, que a variação de velocidade é causada por uma força. Assim, o fato ocorrido é explicado da seguinte maneira: o patinador B recebeu do patinador A uma força **na horizontal** orientada para a **direita** e o patinador A recebeu do patinador B uma força horizontal orientada para a **esquerda**. Essas forças formam um **par ação e reação**.

Como a ação e a reação sempre estão aplicadas em **corpos diferentes** – nesse caso, nos patinadores A e B –, elas não se anulam. Caso contrário, se elas se anulassem, nenhum dos

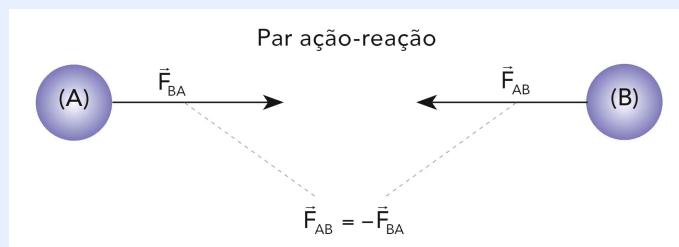
patinadores do exemplo entraria em movimento.

Embora a ação e a reação tenham a mesma intensidade e atuem durante um mesmo intervalo, os módulos das velocidades adquiridas pelos patinadores vão depender de suas massas. De acordo com a Segunda Lei de Newton, o patinador de maior massa adquirirá menos velocidade, pois possuirá uma aceleração menor.

Em qualquer interação, isto é, em qualquer troca de forças, seja ela de contato ou de campo, vale o seguinte princípio, denominado **Princípio da Ação e Reação**:

Quando um corpo A exerce em um corpo B uma força \vec{F}_{AB} , B exerce em A uma força de reação \vec{F}_{BA} , de modo que \vec{F}_{AB} e \vec{F}_{BA} :

- possuem mesma intensidade;
- possuem mesma direção;
- possuem sentidos opostos;
- agem em corpos distintos, por isso não se anulam.

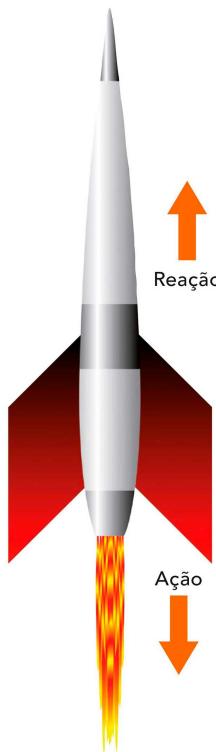


Par ação-reação. A linha de ação das forças passa pelo centro dos corpos.

Reprodução

Saiba mais: o lançamento de foguetes





A força exercida sobre a terra pelos propulsores produz uma força de reação que impulsiona o foguete na subida.

Reprodução

Viagens espaciais, em geral, são tarefas bastante complexas por envolverem diversos fatores, como o gerenciamento do calor, mecânica orbital, detritos do espaço, radiação solar, entre outros. Um dos problemas começa já no lançamento para colocar um foguete em órbita. Seus motores funcionam com base no Princípio da Ação e Reação. Os motores do foguete expelem massa (gases resultantes do processo de combustão) para um sentido, e o foguete como um todo se beneficia da reação que ocorre no sentido oposto como resultado.

Como a Terceira Lei de Newton está presente sempre que há ação de um corpo sobre outro, é possível identificá-la em diferentes contextos.

1.

Quando se **atira com uma espingarda**, especialmente uma grande, sente-se um "coice" bem forte. Esse coice é uma reação. Uma espingarda atira com cerca de 30 gramas de metal em um sentido a, aproximadamente, 1 100 km/h, e o ombro do atirador recebe o impacto da reação. Se a pessoa estivesse usando patins ou *skate* ao atirar com a arma, esta atuaria como um motor de foguete, e a pessoa reagiria movendo-se no sentido oposto.

2.

Para segurar uma **mangueira de incêndio jorrando água**, às vezes são necessários dois ou

três bombeiros. A mangueira está atuando como um motor de foguete. Ela está jogando água em um sentido, e os bombeiros estão usando sua força e inércia para contrabalançar a reação. Se eles soltassem a mangueira, ela ficaria batendo em tudo à sua volta descontroladamente. Se os bombeiros estivessem em *skates*, a mangueira iria empurrá-los para trás facilmente.

3.

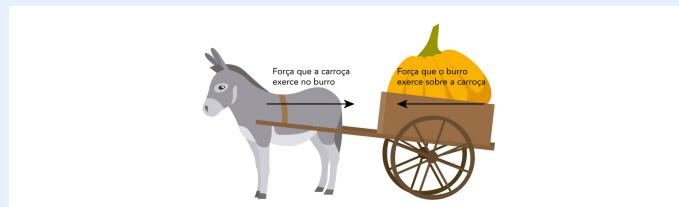
Quando se enche uma **bexiga** e se deixa que ela voe por toda a sala, está se criando um motor de foguete. Nesse caso, o que está sendo jogado são as moléculas de ar que estão dentro da bexiga. Quando elas saem pela boca da bexiga, o resto da bexiga reage no sentido oposto.

Importante: o paradoxo do burro e da carroça



Como o burro consegue puxar a carroça? A força não deveria se cancelar, visto que ela forma um par ação e reação, com mesma intensidade, direção, mas sentidos opostos? Logo, a força resultante seria nula. A carroça e o burro não deveriam sair do repouso.

A solução consiste em perceber que o par ação e reação atuam sobre corpos diferentes. Desse modo, a força que o burro exerce no conjunto corda-carroça atua na carroça puxando, por exemplo, para a esquerda. A reação que o conjunto corda-carroça atua no burro, puxando-o para direita. Como as forças atuam em corpos distintos, elas não podem produzir uma força resultante nula, conforme sugere o paradoxo.



A força que o burro exerce na carroça e a força que a carroça exerce no burro formam um par de ação e reação. Elas atuam em corpos distintos.

shutterstock.com

Agora é com você

**Questão 01**

Uma pessoa está empurrando um caixote. A força que essa pessoa exerce sobre o caixote é igual e contrária à força que o caixote exerce sobre ela. Com relação a essa situação, assinale a alternativa correta.

- (A) A pessoa poderá mover o caixote porque aplica a força sobre este antes de ele poder anular essa força.
- (B) A pessoa poderá mover o caixote porque as forças citadas não atuam no mesmo corpo.
- (C) A pessoa poderá mover o caixote se tiver uma massa maior do que a massa do caixote.
- (D) A pessoa terá grande dificuldade para mover o caixote, pois nunca consegue exercer uma força sobre ele maior do que a força que esse caixote exerce sobre ela.

Força peso

Conforme discutido ao longo do capítulo, todos os corpos possuem a propriedade intrínseca da inércia, que é numericamente igual à massa do corpo. A força peso (\vec{P}) é a força com que os corpos são atraídos à Terra, e sua intensidade é calculada obtendo-se o produto da massa pela aceleração da gravidade. Assim, tem-se matematicamente que:

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

Um corpo em um campo gravitacional sujeito apenas à força peso realiza um movimento uniformemente acelerado, pois, da Segunda Lei de Newton, sabe-se que a força resultante é igual à massa multiplicada pela aceleração: $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$. Além disso, temos que $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$. Como na queda livre os corpos são sujeitos somente à ação da força peso, então a força peso é a própria **força resultante**, de tal modo que:

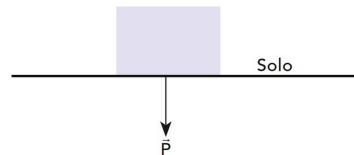
$$\vec{P} = \vec{F} \Rightarrow$$

$$m \cdot \vec{g} = m \cdot \vec{a} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \vec{g} = \vec{a}$$

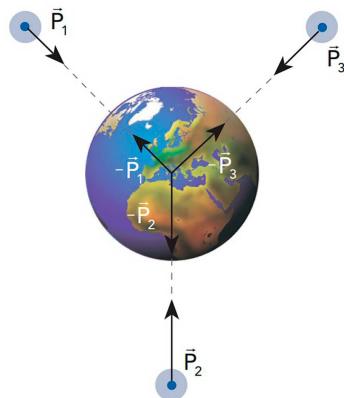
Assumindo a aceleração gravitacional constante, tem-se que o corpo realiza um **movimento uniformemente variado**.

A direção da força peso será sempre dada pela reta que passa pelo centro da Terra e pelo centro do corpo. O sentido do vetor será sempre apontado para o centro da Terra.



A força peso é perpendicular para baixo, apontando para o centro da Terra.

Reprodução



Corpos próximos à superfície terrestre são acelerados devido ao campo gravitacional da Terra. A força peso dos corpos tem direção em sentido para o centro da Terra. Devido à Terceira Lei de Newton, há uma força de reação à força peso, localizada no centro da Terra.

Reprodução

Quando uma pessoa sobe em uma balança e aparece a indicação "70 kg", seria correto ela dizer "peso 70 kg"? Deve-se estar atento(a), pois a unidade de massa é o quilograma, e a unidade de peso é o newton. Considerando que a balança está graduada em unidades de massa, então o peso dessa pessoa, na realidade, é de aproximadamente 700 N.

Para descobrir o peso de um objeto, é necessário multiplicar a massa pela aceleração da gravidade, cujo valor na Terra é aproximadamente constante, próxima a $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Vale lembrar que a massa de uma pessoa na Terra é a mesma na Lua, em Marte, ou em qualquer outro lugar do espaço. No entanto, o seu peso é, aproximadamente, 6 vezes menor na Lua, pois $g_{\text{Lua}} = 1,6 \text{ m/s}^2$.

Assim, um corpo de 50 kg na Terra terá o peso na Terra e na Lua igual a:

$$P_{\text{Terra}} = mg \Rightarrow P_{\text{Terra}} = 50 \cdot 10 = 500 \text{ N}$$

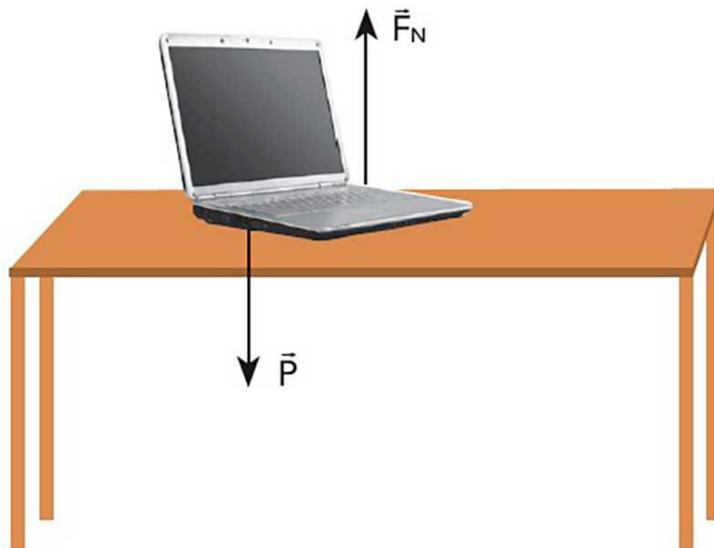
$$P_{\text{Lua}} = mg \Rightarrow P_{\text{Lua}} = 50 \cdot 1,6 = 80 \text{ N}$$

Importante: diferença entre massa e peso



O peso de um corpo é uma grandeza vetorial, uma força. Ele muda de acordo com o local onde o corpo se encontra, pois a aceleração da gravidade sofre alteração em sua intensidade conforme a altitude e a latitude. Na Terra, a aceleração gravitacional aumenta da linha do Equador em direção aos polos. A massa de um corpo, no entanto, é sempre a mesma em qualquer local, seja na Terra ou na Lua, por exemplo.

Força normal



Força peso e força normal atuando em um *notebook* sobre a mesa.

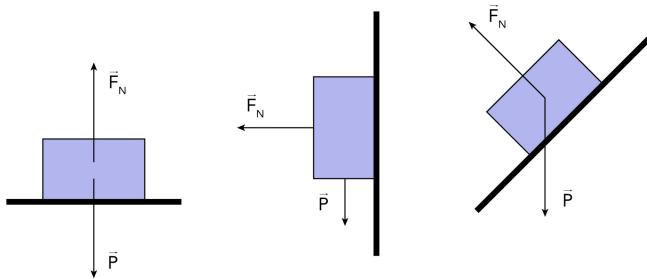
Eles não formam um par ação e reação porque atuam no mesmo corpo, o *notebook*.

Reprodução

Imagine que uma pessoa está utilizando um *notebook* para estudar. O *notebook* dela está apoiado em cima de uma mesa. Nessa situação – ou outras nas quais existe um contato entre dois corpos –, aparecerá o que denominamos **força normal**. O computador exerce uma força de compressão sobre a área de contato da mesa, e a mesa reage com uma força em sentido contrário. As forças \vec{F}_N e $-\vec{F}_N$ constituem um par de forças de ação e reação.

A força normal \vec{N} ocorre quando existe um contato direto entre dois corpos impedindo que eles se atravessem. Essa resistência promovida pelos corpos sempre tem direção perpendicular à superfície de contato e atua no sentido de repulsão entre os corpos.

A força normal é sempre perpendicular à superfície em que o corpo está encostado. A força peso é sempre vertical, em sentido ao centro da Terra.



Representação das forças peso e normal em diferentes situações:
superfície horizontal; superfície vertical; superfície inclinada,
respectivamente.

Reprodução

Importante: força normal e força peso **não** formam um par de ação e reação

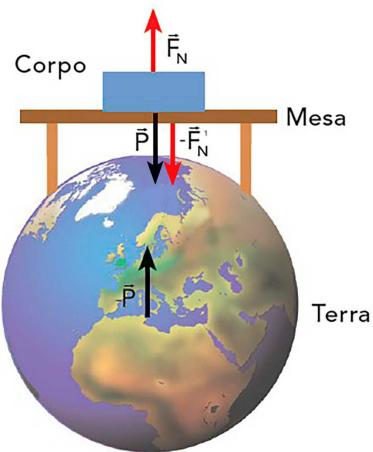


A força normal não forma um par de ação e reação com a força peso. Embora, em uma superfície horizontal a força peso e a força normal que atuam em um corpo equilibrem-se, nem sempre a força peso tem a mesma direção da força normal. Além disso, a força peso é uma força que a Terra exerce sobre um corpo pelo fato de ambos terem massa, e a força normal é uma força que uma superfície exerce sobre um corpo pelo fato de exercerem compressão um sobre o outro. Desse modo, a força peso e a força normal correspondem a interações diferentes, portanto não correspondem a um par ação e reação.

A força normal, assim como qualquer tipo de força medida no SI, possui como unidade o newton (N). No esquema a seguir, é apresentada a interação entre um corpo e uma mesa no campo gravitacional terrestre.

A força da mesa sobre o corpo (\vec{F}_N) apresenta como par ação e reação a força do corpo sobre a mesa ($-\vec{F}_N$).

A interação gravitacional entre a Terra e o conjunto corpo-mesa é obtida pela força peso (\vec{P}), que é a força da Terra sobre o conjunto. A reação a essa força é ($-\vec{P}$), que é a força que o conjunto realiza sobre a Terra.



O módulo das forças envolvidas no esquema é o mesmo. Isso significa que o conjunto corpo e mesa atrai a Terra com a mesma intensidade que a Terra atrai o conjunto. Como o corpo está em equilíbrio, a força normal possui a mesma intensidade da força peso.

(Cores-fantasia; imagem sem escala.)

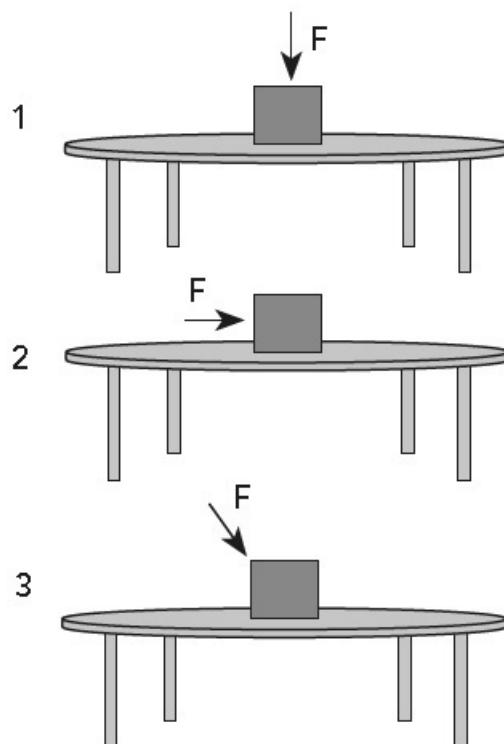
Reprodução

Agora é com você



Questão 01

Um bloco encontra-se sobre uma mesa horizontal sob a ação de uma força F . Compare as situações esboçadas a seguir, em que o módulo de F é sempre o mesmo, mas sua direção varia.



Com relação ao módulo da força normal (N) exercida pela mesa sobre o bloco, é correto afirmar que

- (A) $N_2 > N_1 > N_3$.
- (B) $N_1 > N_2 > N_3$.
- (C) $N_2 > N_3 > N_1$.
- (D) $N_3 > N_2 > N_1$.
- (E) $N_1 > N_3 > N_2$.

Força de tração

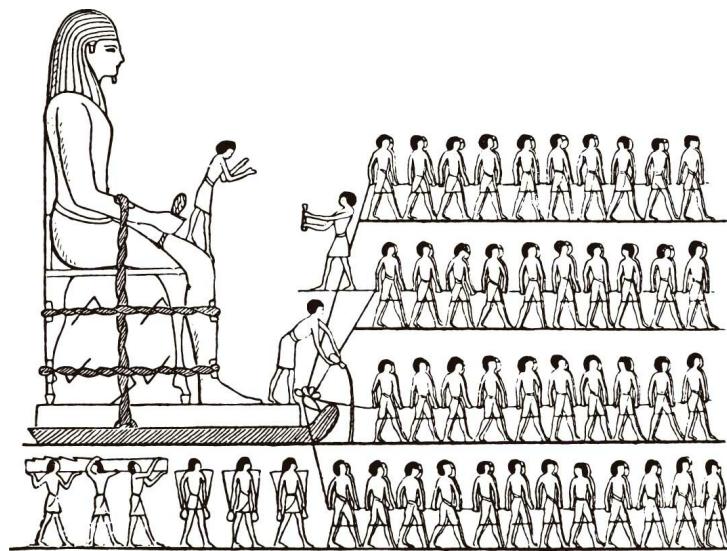


Ilustração do transporte de um monumento que comporia templos e outras construções.

shutterstock.com

A pirâmide de Gizé, no Egito, é considerada uma das 7 maravilhas do mundo antigo. As pirâmides geralmente tinham a função, no Egito Antigo, de preservar o corpo e a imagem do faraó. Algumas pinturas encontradas em papiros ou em murais retrataram a construção dessas pirâmides 25 séculos antes de Cristo.

Um dos mecanismos utilizados para movimentar os blocos era amarrar as pedras e outros objetos que comporiam a arquitetura das construções utilizando **cordas**. Enfileiradas e com o auxílio de diversas cordas e outros recursos, as pessoas eram capazes de carregar tais blocos por grandes distâncias.

Curiosidade



Em 1798, Napoleão Bonaparte (1769-1821) estimou o número de pedras usadas para a construção da Grande Pirâmide. De acordo com suas contas, aquelas pedras dariam para fazer um muro ao redor da França, pois é formada por cerca de 2,3 milhões de blocos de pedra, cada um com aproximadamente 2,5 toneladas.

Ao puxar um objeto por meio de uma corda ou um fio, a força aplicada é transmitida de uma extremidade a outra. Essa **transmissão de força** que ocorre em fios ou mesmo em barras rígidas é chamada de **força de tração** (\vec{T}).

Desse modo, o fio será o agente físico transmissor da força de uma extremidade a outra. Para facilitar a Física e a Matemática envolvidas, são considerados **fios ideais**. Os fios ideais:

- são **inextensíveis**, ou seja, aqueles cujo comprimento não se altera quando são tracionados.
- apresentam **massa desprezível** em relação aos corpos tracionados.
- possuem **flexibilidade**, ou seja, não é possível empurrar um corpo com esse tipo de fio.

Considere uma pessoa que começa a puxar um objeto com uma corda. O movimento é dividido em três partes.

1.

Antes de puxar a corda, a tração é nula.



Reprodução

2.

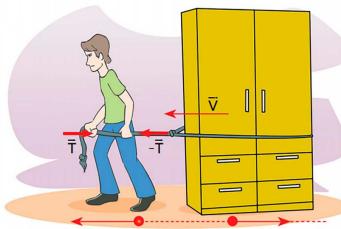
Antes do movimento, a tração é diferente de zero, mas não grande o suficiente para movimentar o corpo.



Reprodução

3.

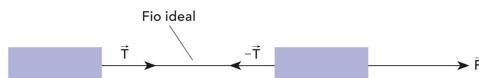
Em movimento, a tração é diferente de zero.



Reprodução

Quando a corda for puxada ou tracionada, ela tentará impedir a separação entre os corpos. Assim, o homem aplicará uma força no objeto, e o objeto aplicará uma força sobre o homem, utilizando um agente transmissor: a corda.

Também é possível ligar mais de um bloco com um fio, conforme ilustrado a seguir.



Dois blocos ligados por um fio. Um deles sofre a ação de uma força (F). Quando o fio é esticado, os dois corpos sofrem a ação da força de tração exercida pelo fio.

Reprodução

Analizando separadamente as trações que atuam nos blocos e no fio, tem-se:



Reprodução

Sendo o fio um fio ideal, logo sua massa é desprezível. Então, pela Segunda Lei de Newton:

$$R_{\text{fio}} = m_{\text{fio}} \cdot a_{\text{fio}}$$

mas $m_{\text{fio}} = 0$, então:

$$R_{\text{fio}} = 0 \cdot a_{\text{fio}}$$

Logo:

$$R_{\text{fio}} = 0$$

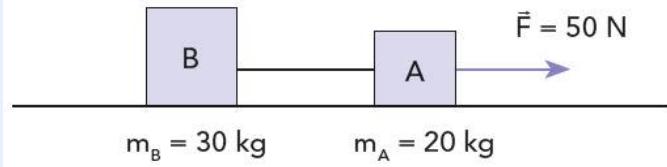
Portanto, não há força resultante nas extremidades do fio. Isso indica que as forças de tração nas extremidades de um fio ideal têm sempre a mesma intensidade. Segundo a imagem anterior: $T'' = T$

Exercício resolvido



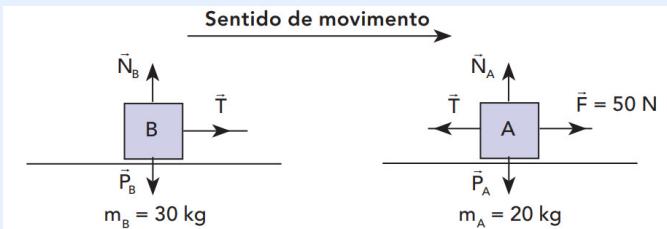
1.

O sistema a seguir é puxado por uma força de 50 N. Sabendo que os blocos A e B têm massas iguais a 20 kg e 30 kg, respectivamente, determine a força de tensão no fio que une os blocos. Despreze efeitos de atrito.



Resolução:

Para visualizar melhor o exercício, deve-se refazer o desenho indicando todas as forças envolvidas e aplicando $F_R = m \cdot a$ para cada bloco.



Sabe-se que as forças peso (P) e normal (N) se equilibram para ambos os blocos.

Da Segunda Lei de Newton no bloco B: $T = m_B \cdot a$

Da Segunda Lei de Newton no bloco A: $F - T = m_A \cdot a$

Resolvendo o sistema de equações anterior:

$$\begin{cases} F - X = m_A \cdot a \\ X = m_B \cdot a \end{cases} +$$

$$\begin{aligned} F &= m_A \cdot a + m_B \cdot a \\ F &= (m_A + m_B) \cdot a \end{aligned}$$

Em seguida, substituem-se os valores na equação:

$$50 = (20 + 30) \cdot a$$

$$50 = 50 \cdot a$$

$$\frac{50}{50} = a$$

$$1 = a$$

$$a = 1 \text{ m/s}^2$$

Para que seja determinada a intensidade da força de tração, basta substituir a aceleração encontrada na equação para o bloco A, ou na equação para o bloco B. Será usada equação para o bloco B.

$$T = m_B \cdot a$$

$$T = 30 \cdot 1$$

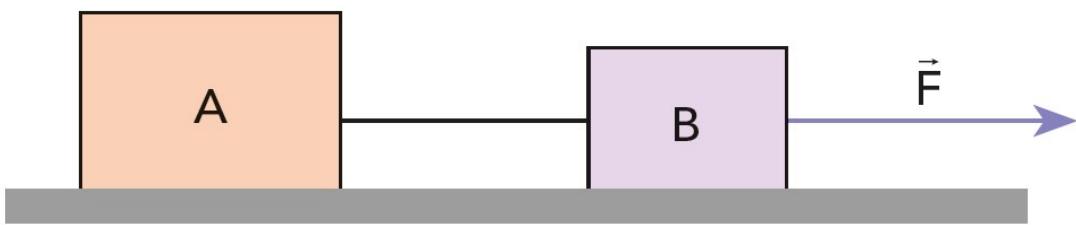
$$T = 30 \text{ N}$$

Agora é com você



Questão 01

Dois corpos, A e B, de massas $m_A = 2,0 \text{ kg}$ e $m_B = 1,0 \text{ kg}$, são presos por um fio inextensível perfeitamente flexível e sem massa (fio ideal). Puxa-se o sistema com uma força de intensidade $F = 6,0 \text{ N}$, conforme a figura abaixo.



Supondo o atrito desprezível, determine a aceleração do sistema e a intensidade da força de tração no fio.

Força de atrito

Na prática, para o trabalho de carregamento de pedras que formaram as pirâmides – bem como outros movimentos em geral –, é necessário levar em conta outra força além da tração: a **força de atrito**.



Homem puxando caixas com uma corda. No objeto puxado, atuam tanto a força de tração como a força de atrito.

Reprodução

A experiência cotidiana vivenciada ou assistida na televisão mostra que corpos sobre superfícies mais lisas, como gelo ou asfalto durante a chuva, tendem a sofrer escorregões e deslizamentos. É o atrito com a superfície (e com o ar) que faz os corpos pararem após terem sido postos em movimento. Caso não houvesse força resultante atuando sobre o

corpo após o momento inicial – por exemplo, uma espaçonave que fica sem combustível –, o corpo se moveria indefinidamente devido à Primeira Lei de Newton.

Essas experiências indicam que a força de atrito está relacionada ao **contato** entre os corpos e as superfícies de tal modo que:

A força de atrito (\vec{F}_{at}) aparece em função das irregularidades presentes nas superfícies de contato dos corpos, impedindo ou dificultando o seu deslizamento. Sua direção é a própria direção do movimento, mas o seu sentido é sempre **contrário** ao movimento ou à tendência de movimento. Quanto menos rugosa for a superfície, menor será a força de atrito.

Saiba mais: o perigo dos pneus gastos



Os pneus não são lisos. Eles possuem sulcos que ajudam a estabilizar o carro em pistas molhadas.

shutterstock.com

Note que os pneus comuns possuem diversas ranhuras. Essas entradas nas borrachas permitem dar mais estabilidade para o automóvel em pistas molhadas. Quando os pneus do carro estão "carecas", isto é, quando os sulcos que permitem o contato com o chão ficam gastos, o contato diminui e, em situações de chuva, isso possibilita que a água ocupe esse lugar, provocando a aquaplanagem. Os sulcos podem ter vários formatos e direções, mas precisam apresentar certa profundidade, sendo limite mínimo estabelecido pelo Código Brasileiro de Trânsito de 1,6 milímetro.

As características das forças de atrito são:

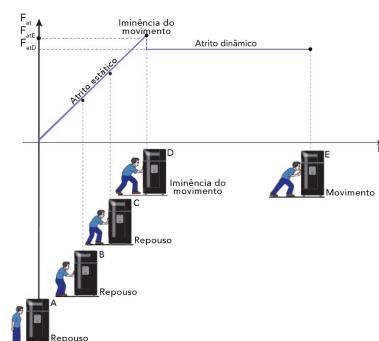
- A força de atrito não depende da **área de contato** entre a superfície do corpo e a superfície em que ele se encontra.
- A força de atrito é **proporcional à força normal** (\vec{F}_N) que a superfície realiza sobre a massa do corpo que ali se encontra.
- A força de atrito **se opõe ao movimento ou à tendência de movimento** de um corpo sobre uma superfície, devendo ser analisada sempre em função do movimento relativo entre ambos.

A força de atrito atua de duas formas: uma antes de ocorrer o movimento, denominada de **atrito estático**, e outra durante o movimento, chamada de **atrito dinâmico** (ou cinético).

Força de atrito estático

A força de atrito estático é aquela causada pelo contato entre superfícies e que se opõe à tendência do movimento. Por exemplo, essa força ocorre quando se empurra um bloco, sem conseguir movimentá-lo. Dessa forma, a força externa aplicada sobre o bloco não é suficiente para movimentá-lo, fazendo com que permaneça em **repouso**.

À medida que a força aumenta, percebe-se um ponto em que o corpo cede e passa a se movimentar. O **valor mínimo** para que ocorra a iminência do movimento é chamado de **atrito estático máximo**, ou de força de atrito de destaque. Nesse ponto, as rugosidades de cada superfície se desencontram e ocorre o deslizamento.



A força de atrito estatico é variável e atua em um corpo em repouso, enquanto está sendo aplicada uma força sobre ele para que seja colocado em movimento, até que atinja seu valor máximo. Depois disso, a força de atrito diminui e passa a ser a força de atrito cinético. No gráfico, esses dois momentos estão separados pela linha pontilhada vertical. O eixo horizontal se refere à força externa aplicada.

Reprodução

Conclui-se que a força de atrito estatico é **variável**, tendo o mesmo valor da força externa aplicada, até chegar ao limite da força de atrito de destaque. A partir desse ponto, ocorre o

movimento do corpo.

A força atrito estático máximo apresenta sua intensidade calculada pela expressão:

$$F_{atE} = \mu_E \cdot N$$

O fator μ_E é o coeficiente de atrito estático. F_N é o módulo da força normal que a superfície exerce sobre o corpo.

Importante: força de atrito estático



A força de atrito estático impede o movimento do corpo, tendo a mesma intensidade da força externa aplicada. O corpo somente vai se movimentar se a força aplicada for maior que a força de atrito estático.

Força de atrito dinâmico

Após vencida a barreira do atrito estático, os corpos passam a deslizar entre si, ocorrendo o movimento. Nesse ponto, passa a agir a força de atrito dinâmico (ou cinético). Diferentemente do atrito estático, ele apresenta um **módulo constante**, calculado pela expressão:

$$F_{atD} = \mu_D \cdot N$$

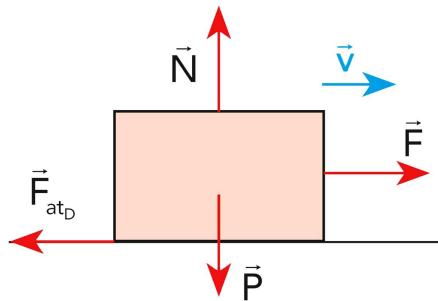
O fator μ_D é o coeficiente de atrito dinâmico entre as superfícies, tendo o mesmo papel e função que o μ_E .

Apesar de as F_{atD} e F_{atE} serem semelhantes, guardam uma relação entre os coeficientes de atrito:

$$\mu_E > \mu_D$$

Assim, é **mais difícil vencer o atrito para iniciar o movimento** do que para mantê-

lo nesse estado de movimento. A força de atrito dinâmico deve ser sempre menor que a força aplicada sobre o corpo (\vec{F}).



Forças que atuam sobre um corpo em movimento horizontal.

Reprodução

A tabela a seguir mostra alguns coeficientes de atrito, dinâmicos e estáticos, entre algumas superfícies muito utilizadas. Note que o coeficiente de atrito estático é sempre maior que o coeficiente de atrito dinâmico ($\mu_E > \mu_D$).

Superfície 1	Superfície 2	$\mu_{\text{estático}}$	$\mu_{\text{dinâmico}}$
Pneu	Asfalto seco	0,55	0,3
Pneu	Asfalto molhado	0,3	0,15
Pneu	Paralelepípedo seco	0,6	0,5
Pneu	Paralelepípedo molhado	0,3	0,2
Madeira	Madeira	0,54	0,34
Gelo	Aço	0,027	0,014
Aço	Aço	0,15	0,12

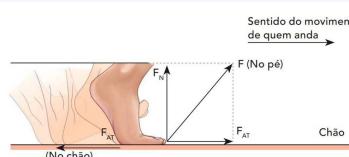
Valores para os coeficientes de atrito entre diferentes superfícies.

Em geral, são grandes as margens de erro associadas aos valores tabelados de coeficientes de atrito, justamente em função das dificuldades de se fabricar objetos com alto grau de homogeneidade superficial.

Reprodução

Saiba mais: a força de atrito ao andar

Às vezes, dizem que a força de atrito que age no pé de uma pessoa tem o mesmo sentido do movimento dela. E isso está correto, pois, quando uma pessoa se desloca para a direita, seu pé empurra para a esquerda em relação ao chão e, como a força de atrito age no sentido contrário ao movimento, ela agirá no pé para a direita. Em outras palavras, a força de atrito age de maneira contrária ao movimento desejado pelo pé e igual ao sentido que a pessoa se movimentará. O pé é que está em contato com o chão, e a pessoa só vai para frente se o pé empurrar o chão para trás.

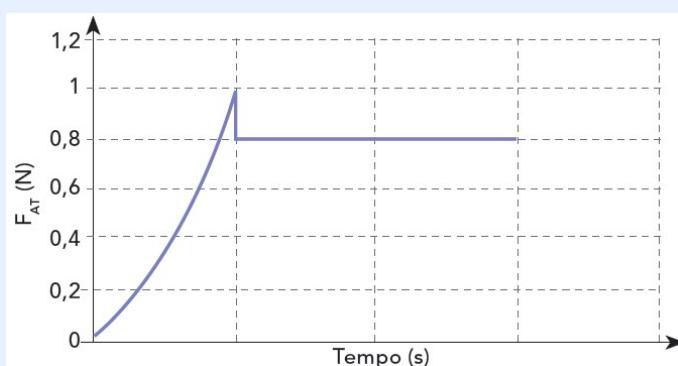


O caminhar só é possível porque as superfícies não são perfeitamente lisas.

Reprodução

Exercício resolvido**1.**

(UDESC) O gráfico a seguir representa a força de atrito (\vec{F}_{at}) entre um cubo de borracha de 100 g e uma superfície horizontal de concreto, quando uma força externa é aplicada ao cubo de borracha.



Assinale a alternativa correta, em relação à situação descrita pelo gráfico anterior.

- a) O coeficiente de atrito cinético é 0,8.
- b) Há movimento relativo entre o cubo e a superfície antes que a força de atrito

alcance o valor de 1,0 N.

- c) O coeficiente de atrito estático é 0,8.
- d) O coeficiente de atrito cinético é 1,0.
- e) Há movimento relativo entre o cubo e a superfície para qualquer valor da força de atrito.

Resolução:

Pelo diagrama, o cubo estava em repouso e, a partir do instante $t = 0$, passa a sofrer a ação de uma força de intensidade variável. O cubo permanece em repouso até a força de atrito estática atingir seu valor máximo de 1 N, o que invalida as alternativas B e E. A força externa continua atuando sobre o cubo até que este entre em movimento e a força de atrito passa a ser a cinética, cujo coeficiente é menor que o estático.

A força de atrito cinética é dada por $F_{at} = \mu_c \cdot F_N$. Como a superfície é horizontal, $F_N = \mu_c \cdot m \cdot g$.

Então: $F_{at} = \mu_c \cdot m \cdot g \Rightarrow$

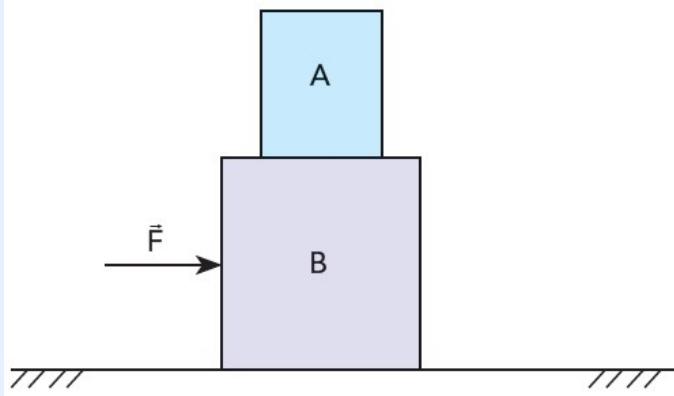
$$0,8 = \mu_c \cdot 0,1 \cdot 10 \Rightarrow \mu_c = 0,8.$$

Portanto, a alternativa correta é a) o coeficiente de atrito cinético é 0,8.

2.

(UFRJ) A figura seguinte mostra um bloco A, de 3 kg, apoiado sobre um bloco B, de 4 kg. O bloco B, por sua vez, está apoiado sobre uma superfície horizontal muito lisa, de modo que o atrito entre eles é desprezível. O conjunto é acelerado para a direita por uma força horizontal \vec{F} , de módulo igual a 14 N, aplicada no bloco B.

- a) Determine a direção e o sentido da força de atrito (\vec{F}_{at}) exercida pelo bloco B sobre o bloco A e calcule seu módulo.
- b) Determine a direção e o sentido da reação \vec{F}_{at} , calcule seu módulo e indique em que corpo está aplicada.

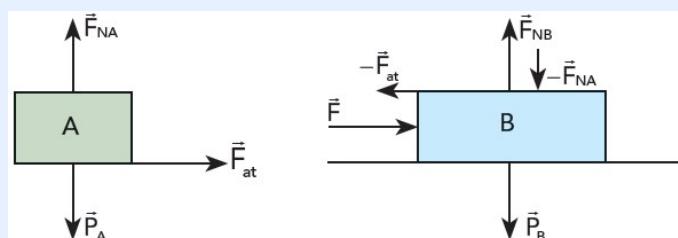


Resolução:

O corpo B, ao ser empurrado pela força \vec{F} , exercerá sobre A uma força de atrito \vec{F}_{at} para frente, o que fará A ser levado junto com o bloco B. Pela Terceira Lei de Newton, pode-se afirmar que A exercerá sobre B uma força de atrito $-\vec{F}_{at}$ de mesmo módulo, de mesma direção, mas de sentido contrário ao de \vec{F}_{at} .

Uma **outra maneira** de compreender a direção e o sentido da força de atrito é reconhecer que, quando o bloco B é empurrado, o bloco A tende, por inércia, a permanecer em repouso. Portanto, a tendência de movimento relativo entre A e B ocorre com B tendendo a ir para a direita de A, e com A tendendo a ir para a esquerda de B. Como a força de atrito é oposta à tendência de movimento, a força de atrito sobre A é para a direita e sobre B, para a esquerda.

a) Esquematizando as forças em cada bloco:



$$F_{at} = m_A \cdot a \therefore a = \frac{F_{at}}{m_A} \therefore a = \frac{F_{at}}{3}$$

$$F - F_{at} = m_B \cdot a \therefore 14 - F_{at} = 4 \cdot \frac{F_{at}}{3}$$

$$\therefore 4 \cdot F_{at} = 3 \cdot (14 - F_{at})$$

$$\therefore 4 \cdot F_{at} = 42 - 3 \cdot F_{at}$$

$$\therefore 4 \cdot F_{at} + 3 \cdot F_{at} = 42$$

$$\therefore 7F_{at} = 42$$

$$\therefore F_{at} = \frac{42}{7}$$

$$\therefore F_{at} = 6 \text{ N}$$

Essa força exercida por B em A é horizontal e para a direita.

b) Pelo que foi comentado no início desta resolução, o atrito exercido por A em B tem mesmo módulo (6 N), mesma direção, mas sentido contrário ao do atrito exercido por B em A. Logo, a reação é horizontal e para a esquerda. Ela é aplicada em B e vale 6 N.

Agora é com você



Questão 01

Um estudante analisou uma criança brincando em um escorregador com uma leve inclinação. A velocidade foi constante em determinado trecho do escorregador em razão de o(a)

- A aceleração ter sido maior que zero.
- B atrito estático ter sido igual a zero.
- C atrito estático ter sido menor que o atrito cinético.
- D atrito estático ter sido igual ao atrito cinético.
- E aceleração ter sido igual a zero.

Questão 02

Um bloco de 20 kg é puxado por uma força \vec{F} , horizontal e constante, cuja intensidade é de 180 N. Sabe-se que a aceleração adquirida pelo bloco é constante e tem módulo 2 m/s^2 . Sendo $g = 10 \text{ m/s}^2$, determine o valor do coeficiente de atrito entre o bloco e a superfície de apoio.



Força elástica

A invenção da pólvora deu-se no século IX, na China, e as primeiras armas de fogo, muito rudimentares, surgiram pouco depois. Contudo, seria somente no século XVI, com o surgimento do mosquete, que as armas de fogo ganhariam amplo espaço nos campos de batalha. Até essa época, enquanto o conceito de força ainda era entendido como estando sediado no próprio corpo, soldados e gladiadores utilizavam arco e flecha além de espadas.



A corda do arco exerce uma força sobre a flecha que a impulsiona, fazendo-a entrar em movimento.

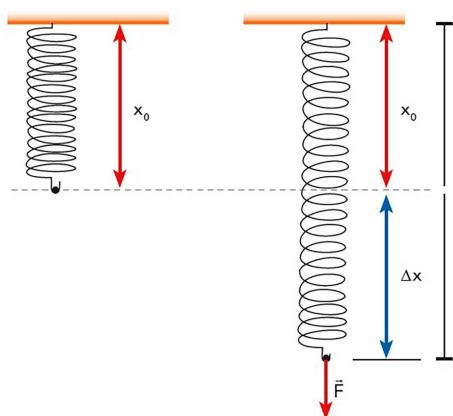
Reprodução

O arco e flecha funciona devido à ação da força elástica (\vec{F}_{EL}). Ao puxar a corda, o arqueiro a deforma. Quando a corda, por meio das propriedades elásticas, volta ao seu estado inicial, ela aplica na flecha uma força elástica proporcional à deformação causada pelo arqueiro. Esse processo lança a flecha com alta velocidade.

Desse modo, a força elástica é a força responsável pela **restauração elástica** de corpos como as ligas e as molas.

Um sistema físico importante para as situações do cotidiano se dá com a utilização de **molas**. As molas constituem um sistema elástico fundamental, usado para diversas finalidades, que vão desde o mecanismo de canetas a amortecedores em automóveis.

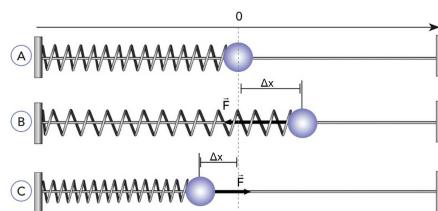
O cientista inglês Robert Hooke (1635-1703) notou experimentalmente que, quando uma força é aplicada em uma mola de forma longitudinal, esta sofrerá uma deformação Δx em seu comprimento. A deformação depende do tipo de material usado, como também da sua espessura. Todas essas características do corpo serão representadas pela letra k , que corresponde à **constante elástica**.



À esquerda, tem-se uma mola em seu estado natural. À direita, tem-se a mesma mola deformada de Δx devido à ação de um agente externo F .

Reprodução

De maneira geral, uma mola sempre terá três estados possíveis: **normal, esticada ou comprimida**.



Nota-se que
 \vec{F} ,
 força realizada pelo agente externo, e
 Δx
 não são iguais nos casos A e B.

Reprodução

- (A) representa a mola em seu estado natural.
- (B) representa a mola esticada de um certo Δx .
- (C) representa a mola comprimida de um certo Δx .

Observe que a força que a mola faz no corpo é sempre restauradora, ou seja, a mola tende a agir fazendo com que seu estado original seja retomado. A essa característica dá-se o nome de **resiliência**.

As deformações da mola são chamadas elásticas quando não ultrapassam um certo limite, denominado limite de elasticidade da mola. Nesse caso, quando a força elástica deixa de atuar, as deformações desaparecem por completo. Verifica-se experimentalmente que as deformações elásticas de uma mola são **proporcionais à intensidade** da força elástica.

Matematicamente, a força elástica é determinada pela **Lei de Hooke**:

$$\vec{F}_{EL} = -k \cdot \Delta \vec{x}$$

O sinal negativo na expressão vetorial deve-se ao fato de que o sentido da força elástica é sempre contrário ao sentido da deformação.

O módulo da força elástica será:

$$F_{EL} = k \cdot \Delta x$$

Para determinar a deformação Δx do corpo, subtrai-se o comprimento final (x) da mola pelo seu comprimento inicial (x_0): $\Delta x = x - x_0$

A constante elástica k de um corpo pode ser determinada por meio de um gráfico do módulo da força elástica em função da deformação Δx sofrida pelo corpo, como representado a seguir.

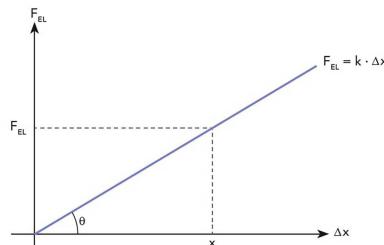


Gráfico em linha reta que relaciona a força elástica
 F_{EL}
 e a deformação
 Δx
 sofrida pelo corpo.

Reprodução

A constante da mola pode ser encontrada a partir da tangente do ângulo formado pela reta em um gráfico de força elástica pela deformação da mola:

$$\text{Sendo } \operatorname{tg} \theta = \frac{\text{Cateto oposto}}{\text{Cateto adjacente}} \Rightarrow \operatorname{tg} \theta = \frac{F_{EL}}{x}$$

Como $F_{EL} = k \cdot x$, na qual $k = \frac{F_{EL}}{x}$, então:

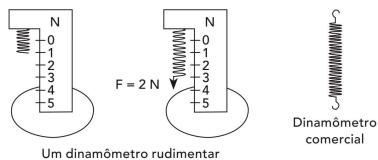
$$\operatorname{tg} \theta \stackrel{N}{=} k.$$

A unidade para medir a força elástica, no SI, é o newton (N).

Saiba mais: dinamômetro

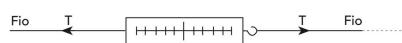


O dinamômetro é o instrumento que mede a intensidade de uma força. Nos dinamômetros mais simples, uma mola é deformada elasticamente pela força cuja intensidade se quer medir. A intensidade da força aplicada é proporcional à deformação causada.



Reprodução

O dinamômetro marca o valor da força feita no lado "móvel". Geralmente são utilizados fios para prender os corpos nos dinamômetros. Dessa forma, é muito comum dizer que o dinamômetro marca o valor da tração no fio esticado que está preso ao aparelho.



Esquema de um dinamômetro e dos fios utilizados para dar sustentação ao instrumento e para prender o corpo cujo peso se deseja mensurar.

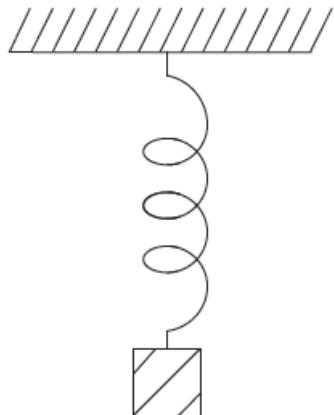
Reprodução

Agora é com você



Questão 01

Uma mola está sustentando um corpo, conforme mostra a figura a seguir.



O corpo tem peso P . Sobre essa situação, considere as seguintes proposições.

- I. A mola apresenta um alongamento porque a Terra exerce uma força P no extremo inferior da mola.
- II. Pela Lei de Ação e Reação, a mola atrai a Terra com força P .
- III. A mola apresenta deformação dupla da que apresentaria se só estivesse presa ao corpo e não ao teto.

Analizando a situação e as proposições, podemos afirmar que:

- (A) apenas I é verdadeira.
- (B) apenas II é verdadeira.
- (C) apenas III é verdadeira.
- (D) I, II e III são verdadeiras.
- (E) I, II e III são falsas.

Força centrípeta



Durante a curva, o que segura o carro na trajetória da pista é a ação da força de atrito da pista com os pneus do carro.

shutterstock.com

A inércia de um corpo faz com que ele, quando em movimento, permaneça sempre com a mesma velocidade e em linha reta, a menos que uma força modifique esse movimento. Por isso, os motoristas sabem tacitamente que não é possível realizar uma curva em alta velocidade, sob o risco de o automóvel derrapar, fazendo o veículo escorregar para fora da curva.

É possível mudar apenas a direção da velocidade de um corpo a partir da ação de uma força perpendicular à trajetória. Essa força – que pode ser gravitacional, de atrito, de tração, magnética, entre outras – fará o corpo descrever uma **trajetória curvilínea**.

Newton apresentou a **força centrípeta** em sua Definição V:

“

Uma força centrípeta é aquela pela qual os corpos são dirigidos ou impelidos, ou tendem, de qualquer maneira, para um ponto ou centro.

NEWTON, I. *Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural* Livro I. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

Modernamente a força centrípeta é definida como uma **força resultante** que atua sobre corpos em trajetórias curvilíneas, apontando para o centro da trajetória. As forças estudadas no capítulo (peso, normal, tração, atrito e elástica) são forças físicas. Por outro lado, a força centrípeta não é uma força física, mas apenas uma resultante numa direção específica ao considerar a trajetória curvilínea.

Relembre: aceleração centrípeta

O corpo que descreve uma trajetória circular possui uma velocidade linear \vec{v} constante em módulo, mas variável em direção e sentido. Tem-se, aplicada ao corpo, uma aceleração na direção radial, denominada **aceleração centrípeta** (\vec{a}_{CP}). Essa aceleração tem por função variar a direção do vetor velocidade \vec{v} , mantendo o corpo em sua trajetória circular. O módulo da aceleração centrípeta é $a_{CP} = \frac{v^2}{R}$, em função da velocidade angular, $a_{CP} = \omega^2 R$.

No movimento circular uniforme (MCU), não há alteração no módulo da velocidade, porém ocorre a mudança de direção e sentido do vetor velocidade ao longo da trajetória. Isso ocorre em virtude da ação de uma força denominada **resultante centrípeta** (às vezes chamada apenas de força centrípeta), pelo fato de puxar o corpo para o centro.

Como o módulo da aceleração centrípeta é dado por $a_{cp} = \frac{v^2}{R}$, pode-se utilizar a Segunda Lei de Newton para chegar a uma expressão para a força centrípeta:

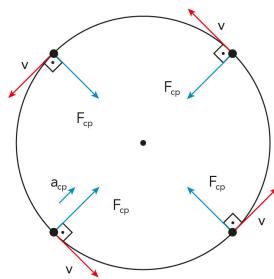
$$F_R = ma \Rightarrow F_{cp} = ma_{cp}$$

Logo,

$$F_{cp} = m \frac{v^2}{R}$$

A expressão da força centrípeta descrita acima não deve ser incluída como uma força a mais nos cálculos, mas, sim, como resultado da ação de outras forças sobre um corpo, cujo efeito é manter o movimento circular.

Como a resultante centrípeta não altera o valor da velocidade tangencial, deve-se ter como restrição que estes vetores são perpendiculares entre si. O vetor aceleração centrípeta tem a mesma orientação que a resultante centrípeta.



Nos movimentos circulares uniformes, o vetor velocidade tangencial e a aceleração centrípeta são perpendiculares em todos os pontos da trajetória.

Reprodução

Saiba mais: força centrífuga



É comum ver pessoas relacionarem a força centrípeta com a "força centrífuga" falando que ambas formam um par de ação e reação. Isso está incorreto.

Caso existisse uma força orientada para fora da curva, tal como a força centrífuga, com o intuito de equilibrar a força centrípeta, que aponta para o centro da trajetória, então a força resultante do movimento circular seria nula e o corpo tenderia a se mover em linha reta. Contudo, isso não é o que acontece, pois forças que formam par de ação e reação não atuam sobre o mesmo corpo. Sabe-se que a força resultante no movimento circular é diferente de zero, pois no movimento circular há a aceleração centrípeta.

Além disso, é necessário atenção ao utilizar o termo "força centrípeta", pois a força centrípeta é, na verdade, uma força resultante que aponta para o centro da trajetória. Diferentes forças podem atuar como resultante centrípeta: força de atração gravitacional, força de tração, força magnética, entre outras.

Agora é com você

**Questão 01**

Um homem, pilotando uma moto, faz uma curva circular horizontal de raio igual a 6,4 m, com determinada velocidade constante de módulo v . Sabendo que a força centrípeta atuante no conjunto (homem + moto) tem módulo igual ao peso total deles e considerando que a aceleração da gravidade g vale 10 m/s², o valor da velocidade v é:

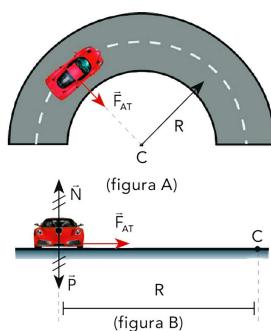
- (A) 4 m/s.
- (B) 8 m/s.
- (C) 12 m/s.
- (D) 16 m/s.
- (E) 20 m/s.

Força centrípeta em exemplos

A resultante centrípeta é obtida de diferentes maneiras a depender do exercício. Desse modo, é importante reconhecer o raciocínio de resolução e algumas particularidades de cada caso.

Curva plana e horizontal

Quando um móvel realiza uma curva, o atrito entre o solo e o pneu do carro faz o papel da força centrípeta (\vec{F}_{cp}).



Quando um carro entra em uma curva, uma força puxa o carro para o centro da trajetória.

Reprodução

Na imagem anterior, pode-se analisar as figuras A e B e obter a resultante centrípeta (\vec{F}_{cp}).

As forças que atuam no automóvel são o peso \vec{P} , a força normal \vec{N} e a força de atrito

(\vec{F}_{at}) . Por inércia, a tendência do automóvel é seguir uma linha reta, mas a força de atrito estático impede que isso ocorra; na vertical, a força normal e o peso se equilibram, visto que possuem módulos iguais ($|N| = |P|$).

Assim, a força resultante é a **força de atrito**, a qual aponta para o centro (C) da circunferência. Matematicamente:

$$F_{cp} = F_{at}$$

Pela Segunda Lei de Newton:

$$F_{at} = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow \mu \cdot N = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

Mas $N = mg$, então:

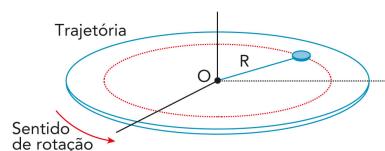
$$\mu \cdot g = \frac{v^2}{R}$$

Isolando μ na expressão anterior:

$$\mu = \frac{v^2}{R \cdot g}$$

Corpo preso a um fio girando na horizontal

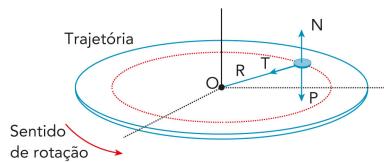
Considere a situação de um corpo preso a um fio, em movimento circular em um plano horizontal, conforme o esquema a seguir. Despreze o atrito entre o corpo e a superfície.



Esquema de um corpo em movimento circular sobre uma superfície horizontal.

Reprodução

Reconhecendo as forças envolvidas, tem-se:



Forças que atuam sobre um corpo que descreve um movimento circular na horizontal.

Reprodução

Nesse caso, apenas a força de tração (T) faz o papel da resultante centrípeta, já que a força peso e a força normal são ortogonais a ela e não contribuem para a realização do movimento. Assim, o módulo da tração será dado por:

$$F_{cp} = T$$

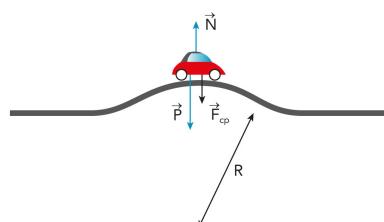
Pela Segunda Lei de Newton e sabendo que $a_{CP} = \frac{v^2}{R}$,

$$T = m \frac{v^2}{R}$$

Note que a tração T é diretamente proporcional à velocidade com a qual o corpo gira. Para uma dada massa m e um dado tamanho de fio, representado por R, quanto mais rápido o corpo girar, maior será a tração no fio.

Móvel passando por lombada

Considere um veículo passando por um trecho de lombada. Ao reconhecer as forças que atuam no móvel nessa situação, tem-se:



Situação na qual o móvel passa por uma lombada.

Reprodução

No ponto mais alto da trajetória, a força normal da superfície se contrapõe à força peso do carro. Como a proposta é realizar o traçado da lombada, a resultante centrípeta está direcionada ao centro da lombada.

Convencionase que as forças na direção da resultante centrípeta são positivas, ao passo que as contrárias são negativas. Pelo desenho, temos que:

$$F_{cp} = P - N$$

Pela Segunda Lei de Newton:

$$P - N = m \frac{v^2}{R}$$

Mas $P = mg$, logo

$$mg - N = m \frac{v^2}{R}$$

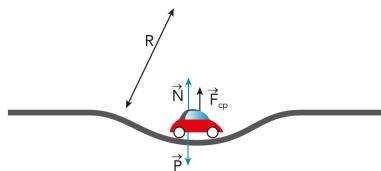
Isolando N na expressão anterior:

$$N = m \left(g - \frac{v^2}{R} \right)$$

Note que a força normal diminui quanto maior for a velocidade do móvel. Por isso, tem-se a situação de "flutuação" dos passageiros de um carro ao passar por uma lombada.

Móvel passando por vale

Outra situação análoga à lombada é o vale. Considere um veículo passando por um trecho de vale. Ao reconhecer as forças que atuam no móvel nessa situação, tem-se:



Situação na qual o móvel passa por um vale.

Reprodução

Para o ponto mais baixo, temos que a força normal da superfície é oposta à força peso. Nesse caso, porém, a resultante centrípeta deve estar direcionada para o centro do vale. Assim, tem-se:

$$F_{cp} = N - P$$

Pela Segunda Lei de Newton:

$$N - P = m \frac{v^2}{R}$$

Mas $P = mg$, logo

$$N - mg = m \frac{v^2}{R}$$

Isolando N na expressão anterior:

$$N = m \left(g + \frac{v^2}{R} \right)$$

Exercício resolvido



1.

Um automóvel percorre um trecho curvo de uma estrada plana e horizontal. Sabe-se que o raio de curvatura desse trecho é $R = 25\text{ m}$, a aceleração da gravidade tem módulo $g = 10\text{ m/s}^2$ e o coeficiente de atrito estático entre os pneus e a estrada é $\mu_e = 0,40$. Calcule o módulo da velocidade máxima que esse automóvel pode ter nesse trecho, sem derrapar.

Resolução:

As forças que atuam no automóvel são o peso (\vec{P}), a força normal (\vec{F}_N) e a força de atrito (\vec{F}_{at}). Na vertical, a força peso e a força normal se equilibram. Assim, a força que atua como resultante centrípeta é a força de atrito. Portanto, tem-se:

$$F_{at} = F_{cp} \Rightarrow$$

$$\mu \cdot N = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

Substituindo N por mg e cancelando os termos:

$$\mu \cdot \cancel{m} \cdot g = \frac{\cancel{m} \cdot v^2}{R}$$

Isolando v^2 na expressão anterior:

$$v^2 = \mu \cdot R \cdot g \Rightarrow$$

$$v = \sqrt{\mu \cdot R \cdot g}$$

Substituindo os dados do enunciado:

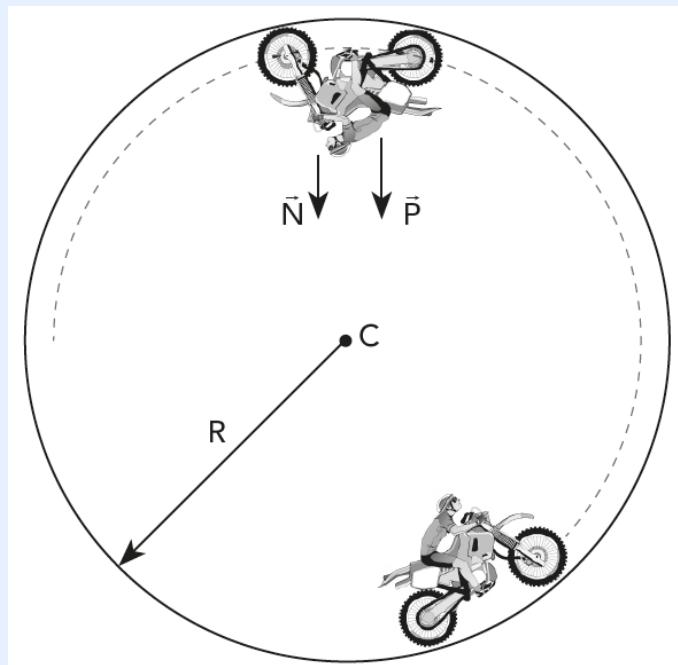
$$v = \sqrt{0,4 \cdot 25 \cdot 10}$$

Portanto, o módulo da velocidade máxima é:

$$v = \sqrt{(100)} = 10 \text{ m/s}$$

2.

Em alguns circos, existe um espetáculo conhecido como "globo da morte". No "globo da morte", um ou mais motociclistas movem-se dentro de uma gaiola esférica descrevendo múltiplas trajetórias sem colidirem entre si. Na figura abaixo, é mostrado um corte de maneira que a trajetória descrita pelo motociclista seja visualizada em duas dimensões. Suponha que a massa da moto, juntamente com o motociclista, seja $m = 300 \text{ kg}$, que o raio do globo seja $R = 4,9 \text{ m}$ e que a aceleração da gravidade tenha módulo 10 m/s^2 . Calcule a menor velocidade com que o motociclista possa passar pelo ponto mais alto sem perder o contato com o globo.



Resolução:

Na parte mais alta, atuam no conjunto (moto + motociclista) a força normal mais a força peso, na mesma direção e sentido. Logo, a resultante será a soma dessas forças.

$$N + P = F_{cp} \Rightarrow N + P = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

Observando essa equação, vê-se que, à medida que v diminui, o valor de N também diminui. Portanto, a velocidade mínima corresponde a $N = 0$. Assim, quando a

velocidade for mínima: $N = 0$. Uma outra maneira de interpretar esse resultado é reconhecer que, na situação limite, "basta" a força peso como resultante centrípeta, já que, por inércia, no ponto superior a velocidade instantânea é horizontal.

Portanto:

$$P = \frac{m \cdot v^2}{R} \Rightarrow m \cdot g = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

Isolando v na expressão anterior:

$$v^2 = g \cdot R \Rightarrow v = \sqrt{R \cdot g}$$

Substituindo os dados do enunciado:

$$v = \sqrt{4,9 \cdot 10} \Rightarrow v = \sqrt{49}$$

Assim, a menor velocidade com que o motociclista passa pelo ponto mais alto sem perder o contato com o globo é:

$$v = 7 \text{ m/s}$$

Agora é com você

**Questão 01**

Um garoto gira sobre sua cabeça, na horizontal, um corpo de massa $m = 0,5\text{ kg}$ preso a um fio de 1 m de comprimento. Desprezando-se a massa do fio, qual é o módulo da força F que traciona o fio quando a velocidade escalar do corpo é $v = 10\text{ m/s}$?

- (A) $F = 25\text{ N}$
- (B) $F = 50\text{ N}$
- (C) $F = 100\text{ N}$
- (D) $F = 2500\text{ N}$
- (E) $F = 5000\text{ N}$

Questão 02

Em uma estrada em um plano horizontal, existe uma curva circular, de raio $R = 1,5 \cdot 10^2\text{ m}$. Devido a uma invasão de lama na pista, o coeficiente de atrito entre o pavimento e os pneus dos automóveis ficou reduzido a $\mu = 0,15$. Calcule a maior velocidade com que um automóvel pode percorrer a curva sem derrapar.

Dado: $g = 10\text{ m/s}^2$.

Questão 03

Um caminhão transporta, em sua carroceria, uma carga de $2,0$ toneladas. Determine, em newton, a intensidade da força normal exercida pela carga sobre o piso da carroceria quando o veículo, a 30 m/s , passa pelo ponto mais baixo de uma depressão com 300 m de raio.

Dado: $g = 10\text{ m/s}^2$.

- (A) $2,0 \cdot 10^4$
- (B) $2,6 \cdot 10^4$
- (C) $3,0 \cdot 10^4$
- (D) $2,0 \cdot 10^3$
- (E) $3,0 \cdot 10^3$

Investigação sobre forças mecânicas

Durante o estudo do capítulo, percebemos que as Leis de Newton são construídas a partir de conceitos como inércia, massa, força e aceleração. Combinadas, tais leis podem ser aplicadas em diferentes contextos (força de atrito, força elástica, força tensora etc.), possibilitando diversas práticas experimentais e investigativas. Assim, nesse momento, será realizada uma atividade para compreender na prática esses conceitos.

Investigando: forças mecânicas

★ PRÁTICA ATIVA



O objetivo desta atividade é fazer um experimento que relate os conceitos de força de atrito e força elástica. Neste momento, você utilizará os conhecimentos adquiridos ao longo do capítulo para realizar a investigação.

Reúnam-se em pequenos grupos de três ou quatro colegas e resolvam o seguinte problema: **evidenciem as relações entre a força de atrito e a força elástica de uma mola simples (helicoidal de metal) a partir da criação de um experimento.** Utilizem os materiais que julgarem necessário.

A Mecânica após Newton

Ao longo do capítulo, foram estudadas as diferentes concepções de conceitos da Mecânica, principalmente a força, no decorrer da história documentada. Enquanto a Física aristotélica era, sobretudo, um sistema essencialmente cinemático, a Física newtoniana introduziu interpretações dinâmicas aos movimentos dos corpos.

É evidente a importância da contribuição de Newton para o edifício conceitual da Física no geral, e da Mecânica em particular. Porém, a história da Mecânica não terminou com a síntese newtoniana, e debates a respeito do papel do conceito de força continuaram.

Junto de Galileu – mas diferente de muitos outros –, Newton evitou considerações sobre **o que é** a força de fato. Sua posição filosófica era pautada e respaldada pela experiência (com alguma influência de Deus em certos aspectos). Desse modo, Newton tratou a força como sendo algo **matemático** e nada mais.

Essa maneira de tratar a força fez adeptos. O professor de Astronomia da Universidade de Oxford John Keill (1671-1721) sintetizou o que estava em jogo: "podemos manejar, medir ou computar os aspectos quantitativos das forças sem saber o que elas realmente são".

Certamente, essa posição de "utilizar algo sem saber o que é" foi um terreno fértil para pensadores. Com isso, outros filósofos, como George Berkeley (1685-1753) e David Hume (1711-1776), entraram para o debate.

Para Hume, tanto a força como a atuação a distância ou por contato sofriam de dificuldades lógicas e metafísicas. Para ele, era **indiferente** a escolha – atuar a distância ou por contato –, pois ambos eram apenas **nomes** para caracterizar relações empíricas e mensuráveis.

Para outros protagonistas contemporâneos a Newton, como Henry More (1614-1687) e Andrew Baxter (1686-1750), força, na verdade, tem **origem em Deus**. Essa defesa de Deus como a origem última da força continuaria até o início do século XIX com Immanuel Kant (1724-1804) e outros.

O cientista e pensador Pierre L. M. de Maupertuis (1698-1759) resumiu em seu livro *Ensaio de Cosmologia* o sentimento geral da época em relação ao conceito de força:

”

Não há nenhuma palavra mais repetida do que essa e nenhuma que seja definida com tão pouca exatidão. Sua obscuridade tornou-a tão cômoda que não limitamos seu uso aos corpos que conhecemos.

JAMMER, M. Conceitos de força: estudo sobre os fundamentos da dinâmica Tradução: Vera Ribeiro e Antônio Mattoso. Rio de Janeiro: Contraponto e Ed. PUC-Rio, 2011.

Nos séculos XVII e XVIII, houve grandes questionamentos de como interpretar conceitos da Mecânica. Na época, não era clara a distinção entre o que é Física e o que é Filosofia, tal como é mais claro nos dias atuais.

Por fim, a força tornou-se um nome

Com o tempo, a estrutura conceitual proposta por Newton ficou cara demais para se sustentar. Havia fortes críticas em relação aos conceitos básicos de sua teoria, como força, causalidade, tempo e espaço.

Assim, no século XIX, obtiveram sucesso outras teorias da Mecânica que adotaram um

ponto de vista **funcional** para os principais conceitos. Para físicos e matemáticos como Ernst Mach (1838-1916), Gustav Kirchhoff (1824-1887), Heinrich Hertz (1857-1894), William Clifford (1845-1879) e Henri Poincaré (1854-1912), o conceito de força não tinha qualquer relação temporal, teológica ou causal. Força era apenas um nome que expressa o produto da massa pela aceleração, uma relação pura.

Com a corrente de diversos pensadores no século XIX, a força na Mecânica ganhou a sua forma contemporânea: uma **relação**, um nome que poderia ser qualquer outro, que permite discutir as leis dos movimentos independentemente das condições físicas a que estão relacionados.

Leitura Complementar



A força com a obra de Einstein

Newton sabia dos pontos fracos conceituais da sua teoria, e isso era motivo de admiração por Albert Einstein (1879-1955). Reconhecendo lacunas conceituais na teoria newtoniana, Einstein se dedicou a reinterpretar o conceito de força.

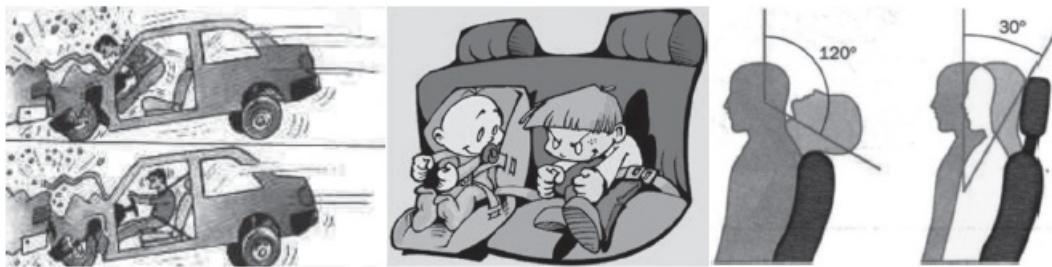
Na teoria newtoniana, o símbolo F em $F = ma$ se refere à causa da aceleração do corpo. Força, então, é um agente externo que age na matéria com massa inercial m , fazendo com que ela acelere com a . Na teoria da relatividade geral de Einstein, contudo, não há força externa.

De fato, Einstein foi capaz de derivar a equação de Newton $F = ma$ de considerações apenas geométricas. Ele viu a possibilidade de que toda força "externa" seja apenas aparente – ou seja, que o "efeito" de outra matéria possa ser representada pela generalização da geometria do espaço-tempo que descreve movimentos.

STINNER, A. The story of force: from Aristotle to Einstein. *Physics Education*, v. 29, n. 2, p. 77-85, 1994.
(tradução nossa).

Pratique: grandezas mecânicas nas Leis de Newton

Questão 01



Em diversas situações do cotidiano, nota-se a predominância das leis de Newton. Nas figuras, estão representados os usos do cinto de segurança, da cadeirinha para crianças e do encosto de cabeça, que são artifícios utilizados para se atenuarem os efeitos da

- (A) inércia.
 - (B) ação e reação.
 - (C) Segunda Lei de Newton.
 - (D) Terceira Lei de Newton.
-

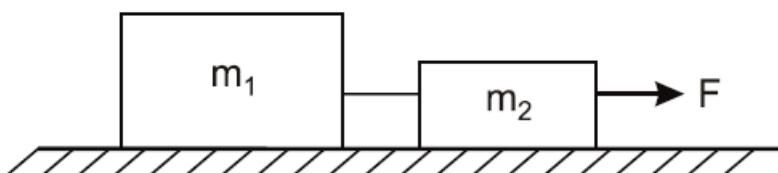
Questão 02

Apesar das modernas teorias da Física, a Teoria da Mecânica Clássica, devido ao gênio criativo de Newton, que relaciona os movimentos às suas causas, continua válida para descrever os fenômenos do cotidiano. Assim, um caminhão de massa 10 toneladas, a 36 km/h, que pode parar em 5,0 s, está, neste intervalo, sob a ação de uma força resultante, cuja intensidade, em newtons, vale:

- (A) $2,0 \cdot 10^2$.
 - (B) $5,0 \cdot 10^2$.
 - (C) $2,0 \cdot 10^3$.
 - (D) $5,0 \cdot 10^3$.
 - (E) $2,0 \cdot 10^4$.
-

Questão 03

Dois blocos, de massas $m_1 = 3\text{ kg}$ e $m_2 = 1,0\text{ kg}$, ligados por um fio inextensível, podem deslizar sem atrito sobre um plano horizontal. Esses blocos são puxados por uma força horizontal F , de módulo $F = 6\text{ N}$, conforme a figura a seguir. (Desconsidere a massa do fio.)

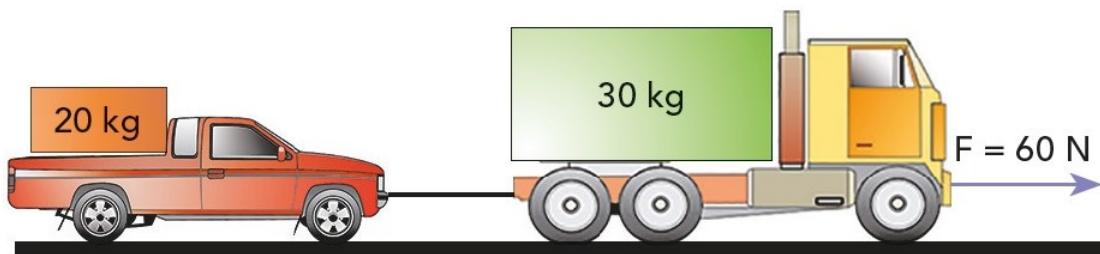


A tensão no fio que liga os dois blocos é

- (A) zero.
 - (B) 2,0 N.
 - (C) 3,0 N.
 - (D) 4,5 N.
 - (E) 6,0 N.
-

Questão 04

No sistema da figura a seguir, despreze dissipação, inércia das rodas e resistência do ar. Os veículos são interligados por um fio leve, flexível e inextensível.



Determine:

- a aceleração do carro maior.
 - a intensidade da força de tração no fio de ligação.
-

Questão 05

Em 13 de janeiro de 1920, o jornal *New York Times* publicou um editorial atacando o cientista Robert Goddard por propor que foguetes poderiam ser usados em viagens espaciais. O editorial dizia:

“É de se estranhar que o prof. Goddard, apesar de sua reputação científica internacional, não conheça a relação entre as forças de ação e reação e a necessidade de ter alguma coisa melhor que o vácuo contra a qual o foguete possa reagir. É claro que falta a ele o conhecimento dado diariamente no colégio.”

Comente o editorial anterior, indicando quem tem razão e por quê, baseando sua resposta em algum princípio físico fundamental.

Questão 06

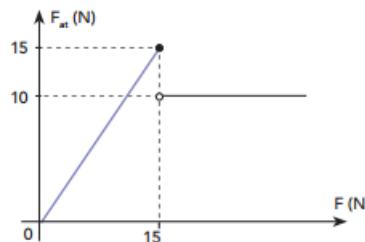
Um jogador de tênis, ao acertar a bola com a raquete, devolve-a para o campo do adversário.

Sobre essa situação, é correto afirmar que, de acordo com:

- (A) a Terceira Lei de Newton, a raquete adquire, em módulo, a mesma aceleração que a bola.
 - (B) a Primeira Lei de Newton, a bola teve o seu movimento alterado devido à força exercida pela raquete.
 - (C) a Primeira Lei de Newton, após o impacto com a raquete, a aceleração da bola é grande, porque a sua massa é pequena.
 - (D) a Terceira Lei de Newton, a força que a bola exerce sobre a raquete é igual, em módulo, à força que a raquete exerce sobre a bola.
-

Questão 07

Um bloco de borracha de massa 5,0 kg está em repouso sobre uma superfície plana e horizontal. O gráfico representa como varia a força de atrito sobre o bloco quando sobre ele atua uma força F de intensidade variável paralela à superfície.

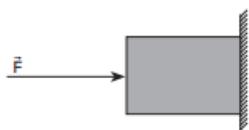


O coeficiente de atrito estático entre a borracha e a superfície, e a aceleração adquirida pelo bloco quando a intensidade da força F atinge 30 N são, respectivamente, iguais a:

- (A) 0,3 e $4,0 \text{ m/s}^2$.
 - (B) 0,2 e $6,0 \text{ m/s}^2$.
 - (C) 0,3 e $6,0 \text{ m/s}^2$.
 - (D) 0,5 e $4,0 \text{ m/s}^2$.
 - (E) 0,2 e $3,0 \text{ m/s}^2$.
-

Questão 08

Na figura a seguir, está representado um bloco de 2,0 kg sendo pressionado contra a parede por uma força \vec{F} . O coeficiente de atrito estático entre esses corpos vale 0,5, e o cinético vale 0,3. Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$.



Se $F = 50 \text{ N}$, então a reação normal e a força de atrito que atuam sobre o bloco valem, respectivamente,

- (A) 20 N e 6,0 N.
 - (B) 20 N e 10 N.
 - (C) 50 N e 20 N.
 - (D) 50 N e 25 N.
 - (E) 70 N e 35 N.
-

Questão 09

Dois blocos A e B de massas $m_A = 6 \text{ kg}$ e $m_B = 4 \text{ kg}$, respectivamente, estão apoiados sobre uma mesa horizontal e movem-se sob a ação de uma força \vec{F} de módulo 60 N, conforme representação na figura a seguir. Considere que o coeficiente de atrito dinâmico entre o corpo A e a mesa é $\mu_A = 0,2$ e que o coeficiente entre o corpo B e a mesa é $\mu_B = 0,3$.

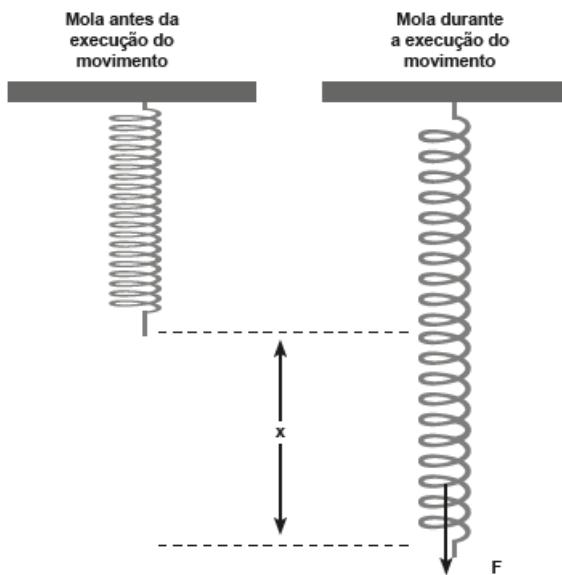
Com base nesses dados, o módulo da força exercida pelo bloco A sobre o bloco B é:



- (A) 26,4 N.
 - (B) 28,5 N.
 - (C) 32,4 N.
 - (D) 39,2 N.
 - (E) 48,4 N.
-

Questão 10

Para fazer exercícios de fisioterapia, uma pessoa deve puxar e manter esticada uma mola. Uma das pontas da mola está fixa em uma parede, e a outra é puxada pela pessoa para que a elongação da mola com relação ao seu comprimento inicial seja x , conforme mostrado na figura a seguir.

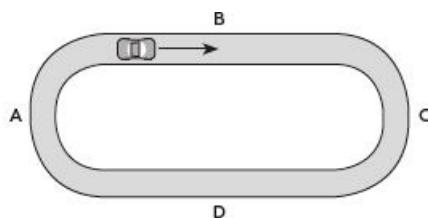


Após a pessoa variar o comprimento da mola em x , ela mantém a mola nessa posição, aplicando-lhe uma força de módulo F . Sabendo que x é igual a 0,2 m e que a constante elástica da mola k é igual a 200 N/m, qual é o valor do módulo da força F ?

- (A) 10 N.
- (B) 20 N.
- (C) 30 N.
- (D) 40 N.
- (E) 50 N.

Questão 11

Uma pista de corridas de brinquedo é constituída de uma trajetória composta de dois segmentos retilíneos, B e D, e dois segmentos semicirculares, A e C. Um garoto, que prepara seu carrinho para uma competição, faz, com ajuda do controle remoto, o carrinho percorrer os segmentos B e C, mantendo o módulo da velocidade constante, e, nos segmentos D e A, aciona o controle de forma a aumentar gradativamente a velocidade do carrinho.



Dessa forma, a resultante das forças sobre o carrinho é nula no segmento

- (A) B e no C.
- (B) B e no D.
- (C) C, mas não é nula no segmento D.

- D B, mas não é nula no segmento C.
 E A, mas não é nula no segmento B.
-

Questão 12

Coloca-se um corpo de massa m sobre um disco, na horizontal. O conjunto gira com velocidade angular $\omega = 10 \text{ rad/s}$. O coeficiente de atrito entre ambos é 0,2. Determine a maior distância, em relação ao centro do disco, a que se pode colocar o corpo para que ele não deslize.

Pratique: Vestibulares e Enem

Questão 01

Segundo Aristóteles, uma vez deslocados de seu local natural, os elementos tendem espontaneamente a retornar a ele, realizando movimentos chamados de naturais. Já em um movimento denominado forçado, um corpo só permaneceria em movimento enquanto houvesse uma causa para que esse movimento ocorresse. Cessada essa causa, o referido elemento entraria em repouso ou adquiriria um movimento natural.

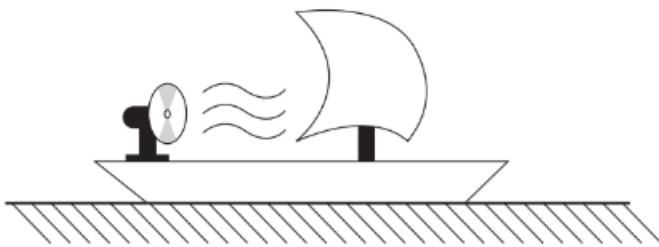
PORTO, Claudio Maia. A física de Aristóteles: uma construção ingênua? *Revista Brasileira de Ensino de Física*. v. 31, n. 4. (adaptado)

Posteriormente, Newton confrontou a ideia de Aristóteles sobre o movimento forçado por meio da Lei da:

- A Inércia.
 B Ação e Reação.
 C Gravitação Universal.
 D Conservação da Massa.
 E Conservação da Energia.
-

Questão 02

A figura a seguir representa um ventilador fixado em um pequeno barco, em águas calmas de certo lago. A vela se encontra em uma posição fixa, e todo o vento soprado pelo ventilador atinge a vela.



Nesse contexto e com base nas leis de Newton, é correto afirmar que o funcionamento do ventilador:

- (A) aumenta a velocidade do barco.
 - (B) diminui a velocidade do barco.
 - (C) provoca a parada do barco.
 - (D) não altera o movimento do barco.
 - (E) produz um movimento circular do barco.
-

Questão 03

A imagem mostra um garoto sobre um *skate* em movimento com velocidade constante que, em seguida, choca-se com um obstáculo e cai.



A queda do garoto justifica-se devido à(ao):

- (A) Princípio da Inércia.
 - (B) pequena massa do garoto.
 - (C) Princípio da Ação e Reação.
 - (D) força de atrito exercida pelo obstáculo.
 - (E) impulso feito pelos pés do garoto no obstáculo.
-

Questão 04

Um automóvel, com uma massa de 1 200 kg, tem uma velocidade de 72 km/h quando os freios são acionados, provocando uma desaceleração constante e fazendo com que o carro pare em 10 s. A força aplicada ao carro pelos freios vale, em newtons,

- (A) 3 600.
2 400.

- (B) 1 800.
 (C) 900.
 (D)
-

Questão 05

No estudo das leis do movimento, ao tentar identificar pares de forças de ação-reação, são feitas as seguintes afirmações.

I. Ação: a Terra atrai a Lua.

Reação: a Lua atrai a Terra.

II. Ação: o pulso do boxeador golpeia o adversário.

Reação: o adversário cai.

III. Ação: o pé chuta a bola.

Reação: a bola adquire velocidade.

IV. Ação: sentados em uma cadeira, empurramos o assento para baixo.

Reação: o assento nos empurra para cima.

O Princípio da Ação e Reação é corretamente aplicado

- (A) somente na afirmativa I.
 - (B) somente na afirmativa II.
 - (C) somente nas afirmativas I, II e III.
 - (D) somente nas afirmativas I e IV.
 - (E) nas afirmativas I, II, III e IV.
-

Questão 06

É frequente observar, em espetáculos ao ar livre, pessoas sentarem nos ombros de outras para tentar ver melhor o palco. Suponha que Maria esteja sentada nos ombros de João, que, por sua vez, está em pé sobre um banquinho colocado no chão.

Com relação à Terceira Lei de Newton, a reação ao peso de Maria está localizada no

- (A) chão.
- (B) banquinho.
- (C) centro da Terra.
- (D) ombro de João.

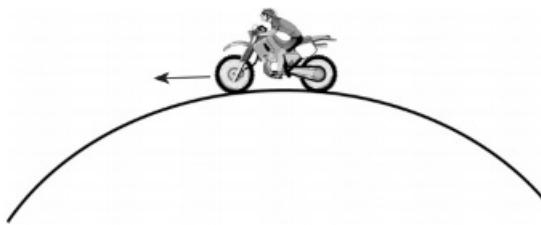
Questão 07

Certo carro nacional demora 30 s para acelerar de 0 a 108 km/h. Supondo sua massa igual a 1 200 kg, qual o módulo da força resultante que atua no veículo durante esse intervalo de tempo, em N?

- (A) Zero.
 - (B) 1 200.
 - (C) 3 600.
 - (D) 4 320.
 - (E) 36 000.
-

Questão 08

Um motoqueiro contou para o amigo que subiu, em alta velocidade, um viaduto e, quando chegou ao ponto mais alto deste, sentiu-se muito leve e por pouco a moto não perdeu o contato com o chão (veja figura a seguir).



Pode-se afirmar que

- (A) isso aconteceu em função de sua alta velocidade, que fez com que seu peso diminuisse um pouco naquele momento.
 - (B) o fato pode ser mais bem explicado levando-se em consideração que a força normal, exercida pela pista sobre os pneus da moto, teve intensidade maior que o peso naquele momento.
 - (C) isso aconteceu porque seu peso, mas não sua massa, aumentou um pouco naquele momento.
 - (D) este é o famoso "efeito inercial", que diz que peso e força normal são forças de ação e reação.
 - (E) o motoqueiro se sentiu muito leve porque a intensidade da força normal exercida sobre ele chegou a um valor muito pequeno naquele momento.
-

Questão 09

Em um parque de diversões, uma das atrações que geram sempre muita expectativa é a montanha-russa, principalmente no momento do *loop*, em que se percebe que o passageiro não cai quando um dos carrinhos atinge o ponto mais alto, conforme se observa na figura seguinte.



Considerando-se a aceleração da gravidade de 10 m/s^2 e o raio R de 10 metros, pode-se afirmar que isso ocorre porque

- (A) o módulo do peso do conjunto (carrinho-passageiro) é maior que o módulo da força centrípeta.
- (B) a força centrípeta sobre o conjunto (carrinho-passageiro) é nula.
- (C) a velocidade mínima do carrinho é de 8 m/s , e independe do peso do passageiro.
- (D) o módulo do peso do conjunto (carrinho-passageiro) é menor ou igual ao módulo da força centrípeta.
- (E) o conjunto (carrinho-passageiro) está em equilíbrio dinâmico.

Questão 10

A imagem abaixo mostra um trecho curvilíneo da ponte Rio-Niterói, cujo raio médio é de aproximadamente 1 200 metros.



Disponível em: google.com.

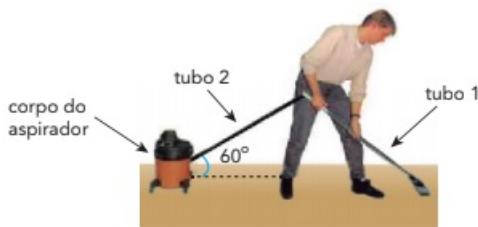
Considere um veículo com massa de 2 000 kg que percorre o trecho indicado com uma

velocidade constante de 64,8 km/h.

Estime, em newtons, o módulo da força centrípeta que atua sobre esse veículo.

Questão 11

O corpo de um aspirador de pó tem massa igual a 2,0 kg. Ao utilizá-lo, durante um dado intervalo de tempo, uma pessoa faz um esforço sobre o tubo 1 que resulta em uma força de intensidade constante igual a 4,0 N aplicada ao corpo do aspirador. A direção dessa força é paralela ao tubo 2, cuja inclinação em relação ao solo é igual a 60° , e puxa o corpo do aspirador para perto da pessoa.



Considere $\sin 60^\circ = 0,87$, $\cos 60^\circ = 0,5$ e também que o corpo do aspirador se move sem atrito.

Durante esse intervalo de tempo, a aceleração do corpo do aspirador, em m/s^2 , equivale a:

- (A) 0,5.
 - (B) 1,0.
 - (C) 1,5.
 - (D) 2,0.
-

Questão 12

Para um observador inercial, um corpo que parte do repouso, sob ação exclusiva de uma força F constante, adquire a velocidade v de módulo 5 m/s após certo intervalo de tempo. Qual seria, para o mesmo observador, o módulo da velocidade adquirida pelo corpo, após o mesmo intervalo de tempo, supondo que ele já tivesse inicialmente a velocidade v e que a força exercida sobre ele fosse $4F$?

- (A) 1,50 m/s.
- (B) 20 m/s.

- (C) 25 m/s.
 (D) 40 m/s.
 (E) 80 m/s.
-

Questão 13

A massa de um veículo em repouso é 900 kg. Esse veículo entra em movimento em uma estrada pavimentada e é acelerado até sua velocidade atingir 100 km/h. Considerando-se $g = 10 \text{ m/s}^2$, é correto afirmar que:

- (A) à medida que a velocidade do veículo aumenta, o seu peso diminui e, a 100 km/h, seu peso é mínimo.
 - (B) à medida que a velocidade do veículo aumenta, aumenta também sua aderência ao solo, fazendo com que seu peso aumente.
 - (C) até a velocidade de 100 km/h, o peso do veículo não se altera; porém, para velocidades muito maiores que 100 km/h, o peso do veículo vai reduzindo de maneira muito acentuada.
 - (D) o peso do veículo é o mesmo, estando ele em repouso ou em alta velocidade.
-

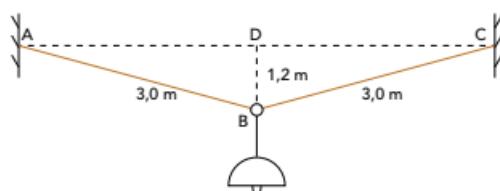
Questão 14

Um reboque de 16 toneladas é puxado por um caminhão através de um cabo de aço. Sabe-se que a aceleração do conjunto caminhão-reboque corresponde a 200 cm/s^2 e que a massa do cabo de aço é desprezível em relação às massas do caminhão e do reboque.

Estime, em newtons, a tração no cabo de aço.

Questão 15

Uma luminária com peso de 76 N está suspensa por um aro e por dois fios ideais. No esquema, as retas AB e BC representam os fios, cada um medindo 3 m, e D corresponde ao ponto médio entre A e C.



Sendo $BD = 1,2 \text{ m}$ e A, C e D pontos situados na mesma horizontal, a tração no fio AB, em

newtons, equivale a:

- (A) 47,5.
 - (B) 68,0.
 - (C) 95,0.
 - (D) 102,5.
-

Resumo

- Um dos pilares da Dinâmica, o conceito de força, passou por diversas interpretações antes, durante e após Newton. A tabela a seguir apresenta um resumo das posições apresentadas no capítulo.

	Antiguidade	Século IV a.C.	Século XIII	Século XIV	Século XVII	Século XVII - XVIII	Século XVIII	Século XIX - XXI
Força é intrínseca à matéria	Força é uma propriedade de seres humanos, divinos e deuses	Platão, Aristóteles	Jean de Jandun, Duns Scot					
Força atua por contato físico		Aristóteles						
Força atua por ação contígua			Roger Bacon, Pierre Olivi					
Força atua a distância				Wilhelm von Ockham				
Força é algo incorpóreo		Aristóteles			Leonardo da Vinci			
Força é algo corpóreo					Johannes Kepler			
Força tem origem em Deus					Henry More	Andrew Baxter	Immanuel Kant	
Força é um conceito matemático					Johannes Kepler	Iacobus Novius, John Keill, George Berkeley		
Força é uma sequência de impulsos instantâneos					Galileu Galilei			
Força é apenas um nome, seu conceito (um agente que move a matéria, acelerando-a) não é estritamente necessário para a Dinâmica.					René Descartes, Christian Huygen, Blaise Pascal, Pierre Varignon, Joseph Saitin		Ernest Mach, Gustav Kirschhoff, Hermann Helmholtz, William Clifford, Henri Poincaré, Albert Einstein	

Uma síntese, não excludente, das concepções do conceito de força para alguns pensadores e cientistas. Mesmo que os nomes compartilhem da mesma célula, há diferenças em alguns detalhes de como cada um conceitualizava a força.

Reprodução

- Modernamente, entende-se massa como uma **grandeza física escalar** que representa a quantidade de matéria apresentada por um corpo quando este ocupa lugar no espaço.
- Na Mecânica newtoniana, **força é uma grandeza vetorial** que provoca variação na velocidade dos movimentos apresentados pelos corpos, deformações em suas estruturas físicas ou mudanças em suas trajetórias. A unidade de força no SI é o newton (N) e pode ser medida por um aparelho chamado **dinamômetro**.
- Em nível macroscópio, as forças podem ser classificadas em dois tipos. A **força de contato**, como a força de atrito, normal e tração, e a **força de campo**, à qual não é necessário contato entre os corpos, como a força gravitacional, a magnética, a elétrica entre outras.
- A **Primeira Lei de Newton** afirma que um corpo tende a manter seu estado de

movimento, seja em repouso ou em velocidade constante, até que uma força altere seu estado. Ela também é conhecida como Lei da Inércia, visto que **inércia** é a tendência de oferecer resistência à mudança de estado de movimento.

- A **Segunda Lei de Newton** afirma que a aceleração de um corpo é diretamente proporcional à força a que foi submetido e inversamente proporcional à sua massa. Matematicamente ela é expressa por $\vec{F}_R = m\vec{a}$. Ressalta-se que a força nessa expressão é a **força resultante**, isto é, a soma vetorial de todas as forças aplicadas sobre um corpo, considerando módulo, direção e sentido.
 - A **Terceira Lei de Newton** afirma que toda ação aplicada por um agente sobre um corpo implica uma reação simultânea (de mesma intensidade e direção, porém, com sentido oposto) sobre o agente. Um exemplo desta lei é o lançamento do foguete, no qual as turbinas expelem combustível em um sentido para movimentarem o foguete no outro.
-
- A direção da **força peso** \vec{P} será sempre dada pela reta que passa pelo centro da Terra e pelo centro do corpo. O sentido do vetor será sempre apontado para o centro da Terra. A **reação da força peso está no centro da Terra**.
 - A **força normal** \vec{N} ocorre quando existe um contato direto entre dois corpos impedindo que eles se atravessem. Essa resistência promovida pelos corpos sempre tem direção perpendicular à superfície de contato e atua no sentido de repelir os corpos.
 - Quando se puxa um objeto por meio de uma corda ou um fio, a força aplicada se transmite de uma extremidade a outra. Essa **transmissão de força** que ocorre em fios ou mesmo em barras rígidas é chamada de **força de tração** (\vec{T}).
 - A **força de atrito** \vec{F}_{AT} aparece em função das irregularidades presentes nas **superfícies de contato dos corpos**, impedindo ou dificultando o seu deslizamento. Sua direção é a própria direção do movimento, mas o seu sentido é **sempre contrário** ao movimento ou à tendência de movimento. Quanto menos rugosa for a superfície, menor será a força de atrito.
 - A força de atrito pode ser dividida em duas: a força de atrito estático e a força de atrito dinâmico. A **força de atrito estático** é **variável**, tendo o mesmo valor da força externa aplicada, até chegar ao limite da força de atrito. Matematicamente a força atrito estático máximo é calculada por $F_{atE_{max}} = \mu_E \cdot N$. Após vencida a barreira do atrito estático, os corpos passam a deslizar-se entre si, ocorrendo o movimento. Nesse ponto, passa a agir a **força de atrito dinâmico** (ou cinético). Diferentemente do atrito estático, o dinâmico apresenta um **módulo constante**, calculado pela expressão: $F_{atD} = \mu_D \cdot N$.
 - A **força elástica** \vec{F}_{EL} é responsável pela **restauração** dos corpos elásticos deformados, como as ligas e as molas. Matematicamente, a força elástica é determinada pela **Lei de Hooke**

Hooke: $\vec{F}_{EL} = -k \cdot \Delta \vec{x}$. O sinal negativo na expressão vetorial deve-se ao fato de que o sentido da força elástica é sempre contrário ao sentido da deformação. O módulo da força elástica é expressa por $F_{EL} = k \cdot \Delta x$. O k na fórmula indica a constante elástica da mola.

- A **força centrípeta** \vec{F}_{CP} é definida como uma **força resultante** que atua sobre corpos em trajetórias curvilíneas, apontando para o centro da trajetória. Seu módulo é expresso por $F_{CP} = m \frac{v^2}{R}$.