



# ***Física***

## **Eletricidade e Magnetismo**

Organizadores

**Maurício Pietrocola**

**Nobuko Ueta**

Elaboradores

**Luis Paulo Piassi**

**Maxwell Roger da P. Siqueira**

**Maurício Pietrocola**

# 4

## **módulo**

*Nome do Aluno* \_\_\_\_\_

**GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO**

Governador: *Geraldo Alckmin*

**Secretaria de Estado da Educação de São Paulo**

Secretário: *Gabriel Benedito Issac Chalita*

**Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas – CENP**

Coordenadora: *Sonia Maria Silva*

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

Reitor: *Adolpho José Melfi*

**Pró-Reitora de Graduação**

*Sonia Teresinha de Sousa Penin*

**Pró-Reitor de Cultura e Extensão Universitária**

*Adilson Avansi Abreu*

**FUNDAÇÃO DE APOIO À FACULDADE DE EDUCAÇÃO – FAFE**

Presidente do Conselho Curador: *Selma Garrido Pimenta*

Diretoria Administrativa: *Anna Maria Pessoa de Carvalho*

Diretoria Financeira: *Sílvia Luzia Frateschi Trivelato*

**PROGRAMA PRÓ-UNIVERSITÁRIO**

Coordenadora Geral: *Eleny Mitrulis*

Vice-coordenadora Geral: *Sonia Maria Vanzella Castellar*

Coordenadora Pedagógica: *Helena Coharik Chamlian*

**Coordenadores de Área**

**Biologia:**

*Paulo Takeo Sano – Lyria Mori*

**Física:**

*Maurício Pietrocola – Nobuko Ueta*

**Geografia:**

*Sonia Maria Vanzella Castellar – Elvio Rodrigues Martins*

**História:**

*Kátia Maria Abud – Raquel Glezer*

**Língua Inglesa:**

*Anna Maria Carmagnani – Walkyria Monte Mór*

**Língua Portuguesa:**

*Maria Lúcia Victório de Oliveira Andrade – Neide Luzia de Rezende – Valdir Heitor Barzotto*

**Matemática:**

*Antônio Carlos Brolezzi – Elvia Mureb Sallum – Martha S. Monteiro*

**Química:**

*Maria Eunice Ribeiro Marcondes – Marcelo Giordan*

**Produção Editorial**

*Dreampix Comunicação*

Revisão, diagramação, capa e projeto gráfico: *André Jun Nishizawa, Eduardo Higa Sokei, José Muniz Jr. Mariana Pimenta Coan, Mario Guimarães Mucida e Wagner Shimabukuro*



# ***Cartas ao Aluno***



## Carta da

---

# *Pró-Reitoria de Graduação*

Caro aluno,

Com muita alegria, a Universidade de São Paulo, por meio de seus estudantes e de seus professores, participa dessa parceria com a Secretaria de Estado da Educação, oferecendo a você o que temos de melhor: conhecimento.

Conhecimento é a chave para o desenvolvimento das pessoas e das nações e freqüentar o ensino superior é a maneira mais efetiva de ampliar conhecimentos de forma sistemática e de se preparar para uma profissão.

Ingressar numa universidade de reconhecida qualidade e gratuita é o desejo de tantos jovens como você. Por isso, a USP, assim como outras universidades públicas, possui um vestibular tão concorrido. Para enfrentar tal concorrência, muitos alunos do ensino médio, inclusive os que estudam em escolas particulares de reconhecida qualidade, fazem cursinhos preparatórios, em geral de alto custo e inacessíveis à maioria dos alunos da escola pública.

O presente programa oferece a você a possibilidade de se preparar para enfrentar com melhores condições um vestibular, retomando aspectos fundamentais da programação do ensino médio. Espera-se, também, que essa revisão, orientada por objetivos educacionais, o auxilie a perceber com clareza o desenvolvimento pessoal que adquiriu ao longo da educação básica. Tomar posse da própria formação certamente lhe dará a segurança necessária para enfrentar qualquer situação de vida e de trabalho.

Enfrente com garra esse programa. Os próximos meses, até os exames em novembro, exigirão de sua parte muita disciplina e estudo diário. Os monitores e os professores da USP, em parceria com os professores de sua escola, estão se dedicando muito para ajudá-lo nessa travessia.

Em nome da comunidade USP, desejo-lhe, meu caro aluno, disposição e vigor para o presente desafio.

Sonia Teresinha de Sousa Penin.

Pró-Reitora de Graduação.



Carta da

---

## *Secretaria de Estado da Educação*

Caro aluno,

Com a efetiva expansão e a crescente melhoria do ensino médio estadual, os desafios vivenciados por todos os jovens matriculados nas escolas da rede estadual de ensino, no momento de ingressar nas universidades públicas, vêm se inserindo, ao longo dos anos, num contexto aparentemente contraditório.

Se de um lado nota-se um gradual aumento no percentual dos jovens aprovados nos exames vestibulares da Fuvest — o que, indubitavelmente, comprova a qualidade dos estudos públicos oferecidos —, de outro mostra quão desiguais têm sido as condições apresentadas pelos alunos ao concluírem a última etapa da educação básica.

Diante dessa realidade, e com o objetivo de assegurar a esses alunos o patamar de formação básica necessário ao restabelecimento da igualdade de direitos demandados pela continuidade de estudos em nível superior, a Secretaria de Estado da Educação assumiu, em 2004, o compromisso de abrir, no programa denominado Pró-Universitário, 5.000 vagas para alunos matriculados na terceira série do curso regular do ensino médio. É uma proposta de trabalho que busca ampliar e diversificar as oportunidades de aprendizagem de novos conhecimentos e conteúdos de modo a instrumentalizar o aluno para uma efetiva inserção no mundo acadêmico. Tal proposta pedagógica buscará contemplar as diferentes disciplinas do currículo do ensino médio mediante material didático especialmente construído para esse fim.

O Programa não só quer encorajar você, aluno da escola pública, a participar do exame seletivo de ingresso no ensino público superior, como espera se constituir em um efetivo canal interativo entre a escola de ensino médio e a universidade. Num processo de contribuições mútuas, rico e diversificado em subsídios, essa parceria poderá, no caso da estadual paulista, contribuir para o aperfeiçoamento de seu currículo, organização e formação de docentes.

Prof. Sonia Maria Silva

Coordenadora da Coordenadoria de Estudos e Normas Pedagógicas





# *Apresentação da área*

A Física é tida pelos estudantes como uma área de conhecimento de difícil entendimento. Por exigir nível de raciocínio elevado e grande poder de abstração para entender seus conceitos, acaba-se acreditando que o conhecimento físico está distante do cotidiano das pessoas. No entanto, se olharmos para o mundo que nos cerca com um pouco de cuidado, é possível perceber que a Física está muito perto: a imagem no tubo de televisão só existe porque a tecnologia moderna é capaz de lidar com elétrons e ondas eletromagnéticas. Nossos veículos automotores são máquinas térmicas que funcionam em ciclos, os quais conhecemos e a partir deles produzimos energia mecânica necessária para nos locomovermos. O Sol é na verdade uma grande fonte de emissão de radiação eletromagnética de diferentes frequências, algumas visíveis e outras não, sendo que muitas delas podem fazer mal à nossa saúde.

Assim, o que pretendemos neste curso de Física é despertar em vocês a sensibilidade para re-visitar o mundo com um “olhar” físico, de forma a ser capaz entendê-lo através de suas teorias.

Serão seis módulos, cada qual tratando de um tema pertencente às seguintes áreas da Física: Luz e Som; Calor; Eletromagnetismo, Mecânica, Energia e Física Moderna. Esses módulos abordarão os conteúdos físicos, tratando aspectos teóricos, experimentais, históricos e suas relações com a tecnologia e sociedade.

A Física pode ser interessante e prazerosa quando se consegue utilizar seus conceitos para estabelecer uma nova relação com a realidade.

Bom estudo para todos!

A coordenação



# *Apresentação do módulo*

É incontestável o fato de que os fenômenos eletromagnéticos são necessários em nosso dia-a-dia. Basta pensar como seria sua vida sem o aparelho de celular, o computador, a internet, o microondas, o DVD, a TV, o videocassete, o chuveiro, a geladeira, o rádio e o telefone. Como imaginar um mundo sem esses aparelhos, que nos trazem tanto conforto e praticidade?

Apesar disso, não nos questionamos sobre como todas essas máquinas funcionam. Como a energia elétrica chega até nossas casas? Como, em um aparelho de celular ou um telefone fixo, uma pessoa escuta a minha voz a quilômetros de distância? Ou como o chuveiro esquentar a água do banho que tomo todos os dias?

A resposta para essas questões irá motivar a discussão desse módulo. Nele, vamos tentar explicar de forma simples e prática os fenômenos eletromagnéticos para assim poderemos ter uma visão melhor dos objetos ao nosso redor que fazem parte de nosso cotidiano.



## Unidade 1

# Circuitos elétricos e instalações

**Organizadores**  
Maurício Pietrocola  
Nobuko Ueta

**Elaboradores**  
Luis Paulo Piassi  
Maxwell Roger da P. Siqueira  
Maurício Pietrocola

### O QUE SÃO CIRCUITOS ELÉTRICOS?

Se você observar em sua residência, perceberá que aparelhos como TV, calculadora, rádio, geladeira, walkman e outros, só funcionam enquanto estão sendo conectados a uma fonte de **energia elétrica**, que pode ser uma pilha, uma bateria ou uma tomada.

No caso do walkman, temos um **interruptor**, que tem a função de ligar e desligar o aparelho, e uma **placa com molas** (conexões metálicas), que conecta as pilhas ao motor que gira a fita para leitura da música. Esses são os componentes que formam um circuito elétrico.

Quando o walkman está funcionando (ligado), dizemos que o circuito está **fechado**, pois forma um caminho por onde a energia elétrica pode “fluir”, estabelecendo uma **corrente elétrica**. No caso do aparelho se apresentar desligado, temos um **circuito aberto**.

Tanto para a TV como para o rádio temos o mesmo esquema: a tomada liga a TV ou o rádio à fonte de energia e o botão liga/desliga faz com que o circuito se feche ou se abra.

Desta forma, podemos concluir que em um circuito elétrico simples sempre temos uma **fonte de energia elétrica**, um **aparelho elétrico**, **fios** ou **placas de ligação** e um **interruptor** para abrir e fechar (liga/desliga) o circuito.

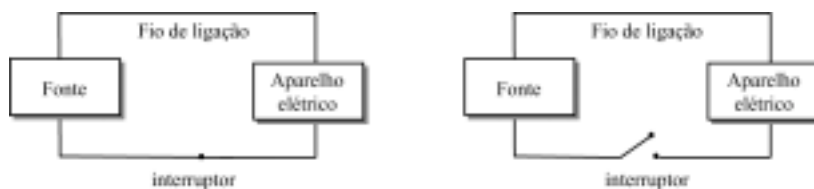


Figura representando um circuito FECHADO      Figura representando um circuito ABERTO

### O QUE DIFERENCIA UM APARELHO ELÉTRICO DE OUTRO? TODOS OS APARELHOS SÃO IGUAIS?

Todos os dias, utilizamos diversos aparelhos elétricos como o chuveiro, a TV, o ferro de passar roupas, o liquidificador, o telefone, a batedeira, o rádio, entre outros. O que faz um aparelho ser diferente do outro é o modo como ele converte (transforma) a energia elétrica em outra forma de energia.

Por exemplo, aparelhos como chuveiro, ferro de passar e torradeira transformam a energia elétrica que recebem da fonte em energia térmica (aqueci-



Representação do resistor

**Tensão elétrica:** a tensão elétrica está associada a outro conceito físico, a **ddp (diferença de potencial)**. Em muitas situações podemos usar tensão e ddp de forma indiscriminada; na eletricidade residencial, o termo tensão é mais adequado. É comum ouvirmos também o termo **voltagem**, que equivale a tensão. A unidade da tensão é o **volt (V)**, criado em homenagem ao cientista italiano Alessandro Volta, inventor da pilha.

Fonte: PEC- Módulo2, p.14, 2003

## Atividade

Compare o consumo de energia do chuveiro de sua casa com o consumo das lâmpadas durante um dia. Veja qual irá consumir mais. Depois faça essas comparações com os outros aparelhos elétricos como TV, geladeira, ferro de passar e rádio. Por fim, faça uma classificação dos aparelhos pelo consumo de energia elétrica.

Não se esqueça: para medir o consumo do aparelho você deve pegar sua potência e multiplicar pelo tempo (em horas) que ele permanece em funcionamento. Bom trabalho!

mento). Para isso, esses aparelhos possuem um elemento (componente) chamado **resistor**, responsável pelo aquecimento. Por isso, esses aparelhos são chamados **resistivos**. Para representar os aparelhos resistivos utilizamos o símbolo ao lado para o resistor:

No caso da TV, do liquidificador, da batedeira, do rádio e de outros aparelhos que, além de aquecerem, produzem outros tipos de energia, como a energia mecânica (rotação do motor), a sonora, a luminosa, tendo assim funções diferentes dos resistivos. Por isso são denominados **receptores**.

Na lâmpada incandescente a maior parte da energia elétrica é transformada em energia térmica, apesar de também haver transformação em energia luminosa. A lâmpada é, portanto, além de receptor, também é considerada também um aparelho **resistivo**. Todo receptor elétrico acaba sendo também resistivo, pois ele é constituído por fios e conectores.

## COMO MEDIR A ENERGIA ELÉTRICA CONSUMIDA PELO APARELHO?

Quando fazemos essa pergunta, estamos querendo saber a quantidade de energia elétrica que o aparelho transforma em outras formas de energia. Isso está ligado diretamente ao tempo em que o aparelho permanece ligado e à característica denominada **potência**, que geralmente é fornecida pelo fabricante.

A potência mede a quantidade de energia elétrica transformada pelo aparelho elétrico por unidade de tempo. Assim, para um chuveiro de 4 400 Watts (W), temos uma transformação de 4 400 Joules (J) de energia elétrica a cada segundo (s)

### UNIDADE DE MEDIDA

A potência é dada em Watt (W), que é definida como:

$$1 \text{ watt} = \frac{1 \text{ joule}}{1 \text{ segundo}}$$

Desta forma, quanto maior a potência de um aparelho, maior será a “capacidade” dele em transformar energia elétrica a cada segundo.

$$P_{ot} = \frac{E}{t} \text{ [W]} \quad \longrightarrow \quad E = P_{ot} \cdot t \text{ [J]}$$

Como a quantidade de energia elétrica consumida em nossas residências é muito grande, é comum medi-la em **quilowatt-hora (kWh)** e não em **Joule (J)**. Assim, temos a seguinte relação:

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$$

É por esse motivo que aparelhos como chuveiro, ferro de passar, torradeira, secador de cabelo, que possuem potências elevadas, muitas vezes consomem a maior parte da energia elétrica de uma residência.

Mas não é somente a **potência** que caracteriza um aparelho elétrico, existe também a **tensão elétrica** ou **voltagem (U)**. Para que o aparelho funcione bem, a tensão que vem indicada nele deve ser respeitada.

Por exemplo, uma lâmpada de 127 V/60 W, para que possa funcionar corretamente, deverá ser alimentada com uma tensão de 127 V. Caso essa tensão

seja maior, como 220 V, a lâmpada irá queimar; por outro lado, se for menor, como 12 V, ela irá iluminar (brilhar) pouco, podendo até não acender. Por esse motivo, é importante que, além do aparelho, as fontes tenham suas tensões muito bem especificadas para que assim possamos ligar os aparelhos em fontes corretas.

#### ENTENDENDO A CONTA DE ENERGIA

Muitas vezes, as contas de luz são difíceis de entender. Nelas aparecem valores medidos, médias mensais e siglas diferentes, como o kWh. É interessante analisarmos e decifrarmos um pouco isso.

O consumo representa a quantidade de energia consumida ou utilizada por sua residência no período de um mês. Ela é medida em **kWh** (quilowatt-hora). O quilo é o mesmo do quilograma, quilômetro, e significa 1 000 vezes. Já watt-hora representa a medida de energia elétrica. Embora possa parecer estranho que watt-hora seja uma unidade de energia, lembre-se que o produto da potência (watt) pelo tempo (hora) resulta em energia (watt-hora). Assim, 1 kWh é igual a 1 000 watts-hora.

Essa unidade é a medida da quantidade de energia elétrica utilizada pelas casas porque a potência dos aparelhos é medida em watts e o tempo de funcionamento em horas.

O valor pago por cada kWh normalmente vem descrito na conta, mas algumas companhias de energia adotam valores diferenciados para algumas faixas de consumo. Assim, para saber o valor médio de cada kWh, basta pegar o valor a ser pago e dividir pelo consumo do mês, e então você terá esse valor.

A quantidade de energia que você utiliza em casa depende de dois fatores básicos: a potência dos aparelhos e o tempo de funcionamento. Os dois fatores, ao contrário do que se imagina, são igualmente importantes quando se pensa no custo a pagar pela energia elétrica utilizada. Um aparelho de baixa potência mas que funcione durante muito tempo pode gastar tanto ou mais energia que um aparelho de maior potência que funcione durante pouco tempo.

O valor indicado na conta como consumo de energia elétrica representa a soma do produto da potência de cada aparelho elétrico pelo tempo de funcionamento entre uma medida e outra.

www.eletropaulo.com.br

Informações de Leitura						Dados de Faturamento		Valor R\$
Anterior	Atual	Próxima	Entrega da Conta	Leitura	IRR	CONSUMO	TARIFA	
26 MAI	25 JUN	27 JUL	30 JUN	640	000	210 KWH X	0,27173000	57,06
						ICMS		19,80
						COSIP LEI 13.479/02		3,50
						ECE		1,78
Sua Instalação								
Medidor	Fator Multiplicador		Classe	Faturamento				
6675427	00010		Residencial	Bifásico				
Conjunto Elétrico CENTRO - JARDINS								
	DEC	FEC	DIC	FIC	DMIC			
Limite Permitido	2,50	2,00	13,00	8,00	11,00			
Verificado em	0,13	0,25	*	*	*			
ABR 04	(*)							
Histórico de Consumo kWh								
MAI/2004	190					Tensão Nominal		
ABR/2004	200					120/205 V		
MAR/2004	190							
FEV/2004	190					Tensão Mínima		
JAN/2004	140					113/195 V		
DEZ/2003	190							
NOV/2003	170					Tensão Máxima		
OUT/2003	130					132/229 V		
SET/2003	130							
AGO/2003	90							
JUL/2003	120							
JUN/2003	100							
						Total		
						81,94		
Informações do Faturamento								
O PAGAMENTO DESTA CONTA NÃO QUITA DÉBITO ANTERIORES. SOBRE A CONTA PAGA APÓS O VENCIMENTO INCIDIRÃO MULTA DE 2%, JUROS DE MORA DE 3,033% AO DIA (LEI 10.438 DE 26/04/2002) E ATUALIZAÇÃO FINANCEIRA A SEREM INCLuíDOS EM CONTA FUTURA.								
ECE - ENCARGO DE CAPACIDADE EMERGENCIAL								
UNIDADE CONSUMIDORA FATURADA PELA TARIFA RESIDENCIAL PLENA								
Reservado ao Fisco								

**Corrente elétrica:** é a quantificação do fluxo ordenado de cargas elétricas. Ela é simbolizada pela letra  $i$  e seu valor é obtido pela proporção entre a quantidade de carga efetiva deslocada e o tempo gasto para que isso ocorra:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

A unidade resultante dessa proporção é o **Coulomb/segundo**, batizado de **ampère (A)**, em homenagem ao cientista francês André Marie Ampère (1775-1836), por seus estudos relacionados à área.

Fonte: PEC – Módulo 2, p.13, 2003.

## Saiba mais

### Fusível e Disjuntor

Fusível é um dispositivo de segurança usado em circuitos elétricos. Sem ele a sobrecarga no circuito pode danificar os aparelhos.

Seu funcionamento é baseado na passagem da corrente elétrica por um fio de baixo ponto de fusão. Quando a corrente excede o valor estabelecido, o fio se aquece e se funde, abrindo o circuito e deixando de funcionar. Nesse caso, ele deve ser substituído depois que o defeito for reparado.

Em residências é muito comum o uso de **disjuntores**, que são protetores de rede elétrica feitos, em geral, de barras bimetálicas, que se dilatam, interrompendo a passagem da corrente, quando esta ultrapassa o valor estabelecido.

O valor máximo da corrente suportada pelo disjuntor ou fusível é sempre menor do que o valor da corrente máxima suportada pelos fios da instalação ou circuito elétrico.

## Exercícios

1) (Fuvest) No medidor de energia elétrica usado na medição do consumo de residências, há um disco, visível externamente, que pode girar. Cada rotação completa do disco corresponde a um consumo de energia elétrica de 3,6 watt-hora. Mantendo-se, em uma residência, apenas um equipamento ligado, observa-se que o disco executa uma volta a cada 40 segundos. Nesse caso, a potência “consumida” por esse equipamento é de, aproximadamente: (A quantidade de energia elétrica de 3,6 watt-hora é definida como aquela que um equipamento de 3,6W consumiria se permanecesse ligado durante 1 hora)

- a) 36 W    b) 90 W    c) 144 W    d) 324 W    e) 1000 W

## PORQUE O BRILHO DA LÂMPADA SE MODIFICA QUANDO MODIFICAMOS A TENSÃO?

Vimos que a potência elétrica mede a quantidade de energia elétrica transformada pelo aparelho a cada segundo e que essa transformação só é feita quando o circuito estiver fechado.

Nos aparelhos resistivos, essa transformação é feita no resistor o qual é percorrido por uma **corrente elétrica  $i$** . Nesse caso, a potência do aparelho é denominada **potência dissipada**, que é praticamente a mesma fornecida pela fonte.

A corrente elétrica serve para diferenciar os aparelhos que possuem potências diferentes mas que são ligados à mesma tensão, como é o caso dos aparelhos que temos em casa. Todos eles são ligados na mesma tensão (110 V), mas transformam quantidades de energia diferentes. Assim, podemos determinar a potência como:

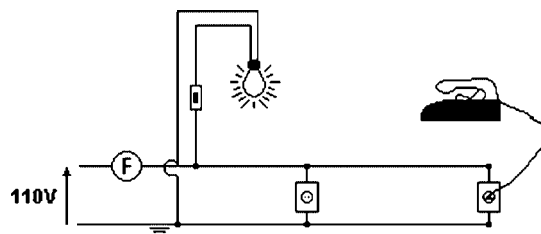
$$i = \frac{P}{U} \quad [\text{A}]$$

## Exercícios

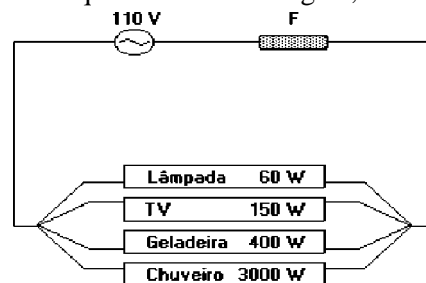
2) (Fuvest) Um circuito doméstico simples, ligado à rede de 110 V e protegido por um fusível F de 15 A, está esquematizado adiante.

A potência máxima de um ferro de passar roupa que pode ser ligado, simultaneamente, a uma lâmpada de 150 W, sem que o fusível interrompa o circuito, é aproximadamente de

- a) 1100 W  
b) 1500 W  
c) 1650 W  
d) 2250 W  
e) 2500 W



3) (Fuvest) No circuito elétrico residencial esquematizado a seguir, estão indicadas, em watts, as potências dissipadas pelos seus diversos equipamentos. O circuito está protegido por um fusível F, que se funde quando a corrente ultrapassa 30 A, interrompendo o circuito. Que outros aparelhos podem estar ligados ao mesmo tempo que o chuveiro elétrico sem “queimar” o fusível?





- a) Geladeira, lâmpada e TV.
- b) Geladeira e TV.
- c) Geladeira e lâmpada.
- d) Geladeira.
- e) Lâmpada e TV.

## COMO OS APARELHOS RESISTIVOS PODEM TER DIFERENTES CORRENTES ?

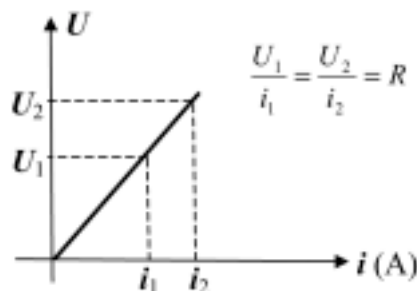
No inverno, para se obter um aquecimento maior da água, você muda de posição uma chave do chuveiro. Pelo que dissemos anteriormente, é o aumento da corrente elétrica o responsável pelo maior aquecimento. Mas por que isso acontece?

Ao mudar a chave para a posição “inverno”, você diminui a resistência elétrica. É ela que limita a passagem da corrente elétrica no circuito. Essa limitação, que depende do tipo de material utilizado no fio, das dimensões (espessura e comprimento) e da temperatura, é denominada **resistência elétrica (R)**. No caso do chuveiro, a regulação aumenta ou diminui o comprimento do fio enrolado, o qual é percorrido pela corrente elétrica.

Assim, podemos concluir que tanto a variação da **tensão elétrica (U)** como a variação da **resistência elétrica (R)** podem alterar a intensidade da **corrente elétrica (i)**.

Normalmente, a resistência elétrica dos aparelhos é constante, mas pode ser alterada modificando-se uma das características mencionadas acima.

Para alguns resistores podemos traçar um gráfico da tensão em função da corrente ( $U \times i$ ). Notaremos que os pontos estão praticamente alinhados, o que



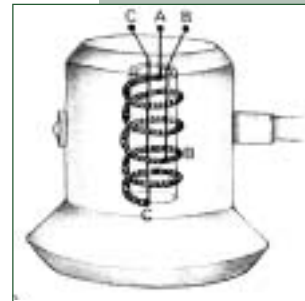
Curva característica de uma resistência ôhmica

resulta numa resistência constante para determinado intervalo de tensão. Nesse caso, a intensidade da corrente é diretamente proporcional a tensão. Quando isso ocorre, dizemos que se trata de uma resistência **ôhmica**. A resistência elétrica é dada pela razão entre a tensão aplicada no aparelho e a intensidade da corrente elétrica percorrida no circuito. Essa relação é chamada 1ª Lei de Ohm.

$$R = \frac{U}{i} \quad [\Omega]$$

Pode-se alterar a resistência mudando a **espessura do fio**. Um fio grosso oferece menor resistência a passagem de corrente elétrica do que um fio mais fino. Isso quer dizer que quanto maior a **área da secção transversal (A)** menor será a resistência.

Além desses dois fatores, temos também a influência do material que constitui o fio. Existem materiais que oferecem maior resistência a passagem da corrente elétrica do que outros, essa característica é traduzida pela grandeza denominada **resistividade (ρ)**. A tabela a seguir apresenta a resistividade de alguns materiais.



**Resistência elétrica:** está associada à dificuldade que as cargas elétricas encontram para se deslocar no interior dos condutores devido aos sucessivos choques entre os elétrons de condução (responsáveis pelo fluxo de cargas) com as demais cargas elétricas presentes nas substâncias (elétrons fixos, núcleos atômicos etc.). A resistência elétrica é medida em **ohm (Ω)**, em homenagem ao cientista alemão Georg Simon Ohm.

Fonte: PEC- Módulo2, p.14, 2003.

Essa expressão é denominada **2ª Lei de Ohm** (a resistência elétrica é dada pelo produto da resistividade pelo comprimento do fio, dividido por sua área da seção transversal).

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad [\Omega]$$

Material	$\rho(\Omega \times m)$
borracha	$1,0 \times 10^{15}$
vidro	$1,0 \times 10^{12}$
Níquel-cromo	$1,1 \times 10^{-6}$
chumbo	$2,1 \times 10^{-7}$
ferro	$1,0 \times 10^{-7}$
tungstênio	$5,6 \times 10^{-8}$
alumínio	$2,7 \times 10^{-8}$
ouro	$2,4 \times 10^{-8}$
cobre	$1,7 \times 10^{-8}$
prata	$1,6 \times 10^{-8}$

### Exercícios

4) (Unesp) Uma lâmpada incandescente (de filamento) apresenta em seu rótulo as seguintes especificações: 60 W e 120 V. Determine:

- a corrente elétrica  $I$  que deverá circular pela lâmpada, se ela for conectada a uma fonte de 120 V.
- a resistência elétrica  $R$  apresentada pela Lâmpada, supondo que ela esteja funcionando de acordo com as especificações.

#### CHOQUE ELÉTRICO E SUAS CONSEQUÊNCIAS

O choque elétrico, como provavelmente é de seu conhecimento, é causado por uma corrente elétrica que passa através do corpo humano ou de um animal qualquer. Vários efeitos do choque podem ser observados, dependendo de fatores como, por exemplo, a região do corpo que é atravessada pela corrente.

Entretanto, a intensidade da corrente é o fator mais relevante nas sensações e consequências do choque. Estudos cuidadosos desse fenômeno permitiram chegar aos seguintes valores:

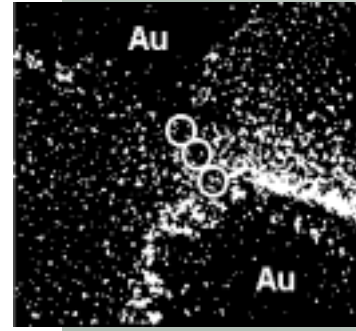
- entre 1 mA e 10 mA: provoca apenas sensação de formigamento;
- entre 10 mA e 20 mA: já causa sensação dolorosa;
- entre 20 mA e 100 mA: causam, em geral, grandes dificuldades respiratórias;
- superiores a 100 mA: são extremamente perigosas, podendo causar a morte da pessoa por provocar contrações rápidas e irregulares do coração (fibrilação cardíaca);
- superiores a 200 mA: não causam fibrilação, porém dão origem a graves queimaduras e conduzem à parada cardíaca.

Por outro lado, a voltagem não é determinante nesse fenômeno. Por exemplo, em situações de eletricidade estática, embora ocorram voltagens muito elevadas, as cargas elétricas envolvidas são, em geral, muito pequenas e os choques produzidos não apresentam, normalmente, nenhum risco.

Entretanto, voltagens relativamente pequenas podem causar graves danos, dependendo da resistência do corpo humano. O valor dessa resistência pode variar entre, aproximadamente, 100 000 W para a pele seca e cerca de 1 000 W para a pele molhada. Assim, se uma pessoa com a pele seca tocar os dois pólos de uma tomada de 120 V, seu corpo será atravessado por uma corrente bem menor do que com a pele molhada.

Fonte: ALVARENGA & MÁXIMO, Curso de Física, V.3, p. 135.

5) (Unicamp) O tamanho dos componentes eletrônicos vem diminuindo de forma impressionante. Hoje podemos imaginar componentes formados por apenas alguns átomos. Seria esta a última fronteira? A imagem a seguir mostra dois pedaços microscópicos de ouro (manchas escuras) conectados por um fio formado somente por três átomos de ouro. Esta imagem, obtida recentemente em um microscópio eletrônico por pesquisadores do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, localizado em Campinas, demonstra que é possível atingir essa fronteira.



a) Calcule a resistência  $R$  desse fio microscópico, considerando-o como um cilindro com três diâmetros atômicos de comprimento. Lembre-se que, na Física tradicional, a resistência de um cilindro é dada por  $R = \rho(L/A)$ , onde  $\rho$  é a resistividade,  $L$  é o comprimento do cilindro e  $A$  é a área da sua seção transversal. Considere a resistividade do ouro  $\rho = 1,6 \times 10^{-8} \, \Omega\text{m}$ , o raio de um átomo de ouro  $2,0 \times 10^{-10} \, \text{m}$  e aproxime  $\pi = 3,2$ .

b) Quando se aplica uma diferença de potencial de  $0,1\text{V}$  nas extremidades desse fio microscópico, mede-se uma corrente de  $8,0 \times 10^{-6} \, \text{A}$ . Determine o valor experimental da resistência do fio. A discrepância entre esse valor e aquele determinado anteriormente deve-se ao fato de que as leis da Física do mundo macroscópico precisam ser modificadas para descrever corretamente objetos de dimensão atômica.

## COMO PODEMOS MEDIR A TRANSFORMAÇÃO DE ENERGIA EM UM RESISTOR?

Vimos que em um circuito que possui um resistor, quando se estabelece uma corrente elétrica a energia elétrica é transformada em energia térmica (energia dissipada). Essa transformação é denominada **efeito Joule**. Esse efeito pode ser visto no aquecimento da água no chuveiro, do ar no secador de cabelo, do pão na torradeira e outros aparelhos que são utilizados para aquecimento.

Se colocarmos um ebulidor em um recipiente contendo uma certa **massa** de água  $m$  de **calor específico**  $c$ , depois de um certo tempo haverá uma variação de **temperatura**  $\Delta T$ . Considerando o sistema isolado e que toda a energia elétrica transformada em energia térmica (calor) serviu para aquecer a água, logo, pela conservação de energia, temos:

$$mc\Delta T = P\Delta t$$

Ou seja, todo calor (em Joule) recebido pela água foi cedido pelo ebulidor.

A potência dissipada no efeito Joule, pode ser calculada das seguintes formas:

$$P = U \cdot i$$

$$P = R \cdot i^2$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

A maneira que será calculada dependerá das informações e dos dados disponíveis.

## ***POR QUE QUANDO UMA LÂMPADA DO PISCA-PISCA DE UMA ÁRVORE DE NATAL SE QUEIMA AS OUTRAS NÃO FUNCIONAM E COM AS LÂMPADAS DAS RESIDÊNCIAS ISSO NÃO ACONTECE?***

Como vimos no item *O que diferencia um aparelho elétrico do outro?*, as lâmpadas são aparelhos resistivos, assim como outros encontrados em nossas casas, podemos então representar apenas seus resistores. O que diferencia um esquema do outro é a maneira como eles estão ligados.

Basicamente, existem duas maneiras de fazermos essas ligações: **em série** ou **em paralelo**. Essas ligações servem tanto para aparelhos quanto para fontes elétricas. Mas aqui iremos discutir somente os aparelhos resistivos.

### ***Associação em série***

Neste tipo de associação, temos um único caminho para a passagem da corrente elétrica. Por isso, quando temos lâmpadas associadas em série (pisca-pisca) e uma delas se queima ou é retirada, as outras se apagam, pois teremos um circuito aberto, ou seja, o caminho é interrompido.

Como temos somente um caminho para a corrente elétrica percorrer, todas as lâmpadas são percorridas pela mesma corrente, ou seja:  $i = i_1 = i_2 = i_3$ .

Já a tensão ( $U$ ) será dividida entre elas e essa divisão dependerá das resistências de cada lâmpada, quem tiver maior resistência terá maior tensão. Assim, podemos escrever:  $U = U_1 + U_2 + U_3$ .

Podemos ainda substituir o circuito de lâmpadas por um mais simples, com uma única lâmpada, ou seja, vamos substituir as resistências do circuito por uma única, que irá fazer com que o circuito tenha as mesmas características. Esse único resistor é denominado resistor equivalente e é dado por:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$



### ***Associação em paralelo***

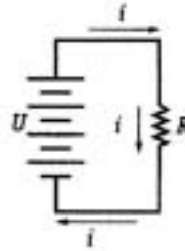
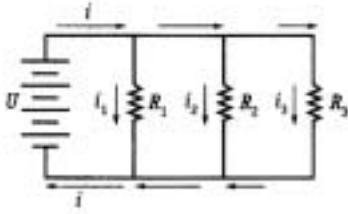
Ao contrário da anterior, aqui a corrente elétrica terá mais de um caminho para percorrer, ou seja, teremos pequenos circuitos dentro de um maior. Por isso, quando uma lâmpada queima ou é retirada em uma residência, nada acontece com as outras, pois estão associadas em paralelo.

Assim como as lâmpadas, os aparelhos em uma residência estão ligados a uma mesma tensão, ou seja, todos os resistores associados estarão submetidos à mesma tensão. Então, temos:  $U = U_1 = U_2 = U_3$ .

Já a corrente será dividida nos diversos caminhos, ou seja:  $i = i_1 + i_2 + i_3$ .

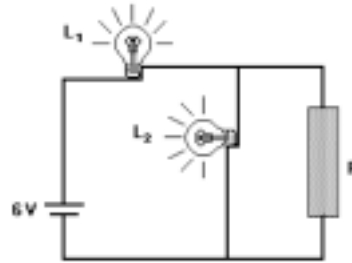
De tal modo como na associação em série, na associação em paralelo podemos substituir os resistores do circuito por um só (resistor equivalente), sem o circuito perder suas características. Na associação em paralelo o resistor equivalente é dado por:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$



### Exercício

6) (Fuvest) Um circuito é formado por duas lâmpadas  $L_1$  e  $L_2$ , uma fonte de 6 V e uma resistência  $R$ , conforme desenhado na figura. As lâmpadas estão acesas e funcionando em seus valores nominais ( $L_1 = 0,6 \text{ W e } 3 \text{ V}$  e  $L_2 = 0,3 \text{ W e } 3 \text{ V}$ ). Determine o valor da resistência  $R$ .



## COMO PODEMOS MEDIR A CORRENTE E A TENSÃO ELÉTRICA EM UM RESISTOR?

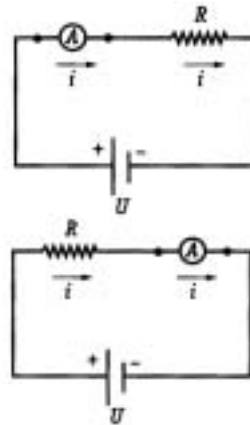
Para medir essas grandezas necessitamos de instrumentos específicos. Para medir a tensão usamos o voltímetro e para medir a corrente utilizamos o amperímetro. É muito comum encontrarmos um aparelho de medição que pode ser utilizado como voltímetro e amperímetro, além de poder ser também um ohmímetro, que mede a resistência do circuito. Esse instrumento é o multímetro.



### Medindo a corrente elétrica

Para medir a corrente elétrica, o amperímetro deve ser colocado em série ao circuito (ou resistor).

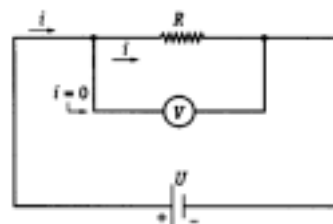
O amperímetro, por ser um instrumento de medida, não deve influenciar a corrente do circuito, por isso a resistência interna dele deve ser a menor possível, assim terá um desempenho melhor pois irá produzir uma queda de tensão insignificante.



### Medindo a tensão elétrica

Para medir a tensão elétrica em um circuito (ou resistor), o voltímetro deve ser colocado em paralelo a ele.

Da mesma forma que o amperímetro, o voltímetro não deve influenciar no circuito, assim, deve possuir a maior resistência possível, fazendo com que a corrente seja insignificante, alterando em praticamente nada a corrente do circuito.



## O QUE É CURTO-CIRCUITO?

O nome já é bem sugestivo, significa um circuito mais curto, fazendo com que a corrente que passa por ele seja elevada, pois há pouca resistência nele.

Dessa forma, quando temos um curto-circuito em um trecho, a corrente elétrica fica restrita a esse trecho, ficando o restante do circuito sem ser percorrido por ela, ou seja, os aparelhos localizados após o curto não serão percorridos pela corrente elétrica.

Na prática, o curto circuito pode causar incêndios em residências ou até mesmo na própria fiação devido ao grande aquecimento produzido pelo efeito Joule, causado pelo aumento da corrente elétrica no trecho do curto circuito.

## COMO DIFERENCIAMOS UM GERADOR DE UM RECEPTOR NUM CIRCUITO?

Vimos que o funcionamento de um aparelho elétrico só é possível quando este é alimentado por uma fonte de energia elétrica, denominada de **gerador** de energia elétrica. Os aparelhos que estão recebendo são os **receptores** (como vimos antes) de energia elétrica.

Todos os geradores possuem uma resistência interna ( $r$ ), que faz com que a energia fornecida pelo gerador seja menor do que a nominal (que vem especificada nele).

Por exemplo, uma pilha pequena tem tensão nominal de 1,5 V, mas por possuir resistência interna  $r$ , a tensão aplicada  $U$  ao circuito será menor. Dessa forma podemos escrever:

$$U = \varepsilon - ri \quad (\text{equação do Gerador})$$

Quando o circuito está aberto não há corrente no circuito, assim  $U = \varepsilon$ . No curto circuito a corrente é máxima e a tensão da fonte é igual a zero ( $U = 0$ ),

$$\text{então: } i_{\max} = \frac{\varepsilon}{r}$$

**Obs:** A tensão gerada ( $\varepsilon$ ) também é chamada força eletromotriz ( $f_{em}$ ), apesar de não ser uma força.

Como o receptor desempenha papel contrário ao do gerador, ele será denominado de força contra-eletromotriz ( $f_{cem}$ ). A tensão em seus terminais é dada pela expressão:

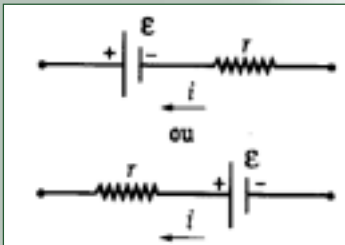
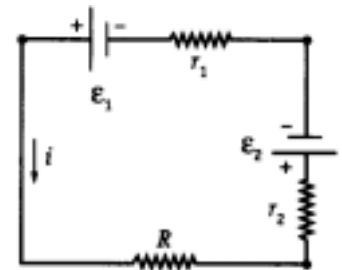
$$U = \varepsilon + ri \quad (\text{equação do Receptor})$$

Tendo  $U$  como a tensão fornecida pela fonte;  $\varepsilon'$ , a tensão no gerador;  $r'$ , a resistência interna do receptor; e  $i$ , a corrente estabelecida no circuito.

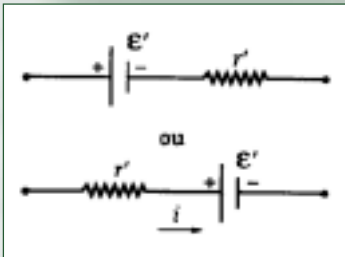
Na prática, um gerador e um receptor aparecem no mesmo circuito:

Sendo possível calcular a corrente no circuito utilizando a conservação de energia:

$$\varepsilon_1 = r_1 i + r_2 i + \varepsilon_2 + Ri \quad \text{ou} \quad i = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{r_1 + r_2 + R}$$



Esquema do GERADOR



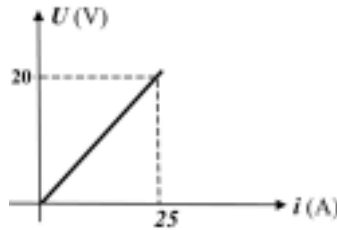
Esquema do RECEPTOR



**Exercícios**

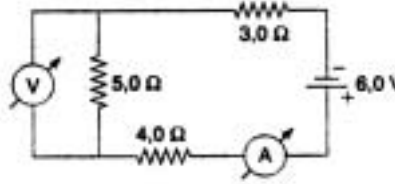
7) (Fatec-SP) Por um resistor faz-se passar uma corrente elétrica  $i$  e mede-se a diferença de potencial  $U$ . Sua representação gráfica está esquematizada ao lado. A resistência elétrica, em ohms, do resistor é:

- a) 0,8
- b) 1,25
- c) 800
- d) 1 250
- e) 80

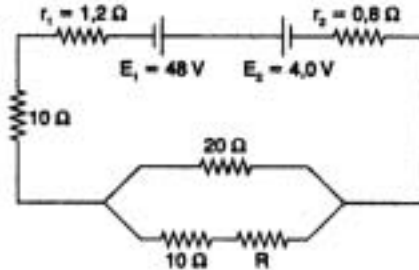


8) (PUC-SP) No circuito da figura abaixo, A é um amperímetro e V um voltímetro, supostos ideais, cujas leituras são, respectivamente:

- a) 6,0 A e 0,5 V
- b) 3,0 A e 1,0 V
- c) 2,0 A e 1,5 V
- d) 1,0 A e 2,0 V
- e) 0,5 A e 2,5 V

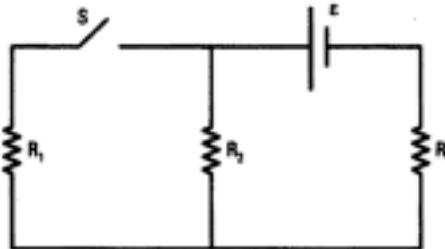


9) No circuito, determine o valor de R a fim de que a corrente total tenha intensidade 2,0 A.



10) (Fuvest) No circuito a seguir, quando se fecha a chave S, provoca-se:

- a) aumento da corrente que passa por  $R_2$ .
- b) diminuição do valor da resistência  $R_3$ .
- c) aumento da corrente em  $R_3$ .
- d) aumento da voltagem em  $R_2$ .
- e) aumento da resistência total do circuito.



11) (Fuvest) O circuito elétrico do enfeite de uma árvore de Natal é constituído de 60 lâmpadas idênticas (cada uma com 6 V de tensão e resistência de  $30\ \Omega$ ) e uma fonte de tensão de 6 V e potência de 18 W, que liga uma conjunto de lâmpadas de cada vez, para produzir o efeito pisca-pisca. Considere que as lâmpadas e a fonte funcionam de acordo com as especificações fornecidas, calcule:

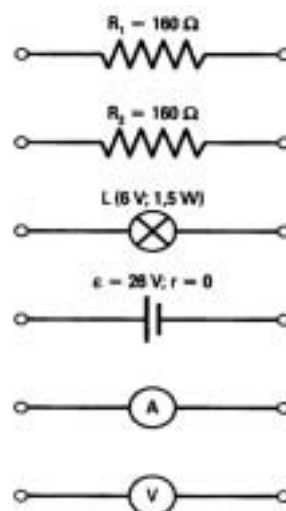
- a) a corrente que circula através de cada lâmpada quando acesa.
- b) o número máximo de lâmpadas que podem ser acesas simultaneamente.

12) (PUC-SP) Encontram-se a disposição os seguintes elementos:

De posse desses elementos, monte um circuito de tal forma que:

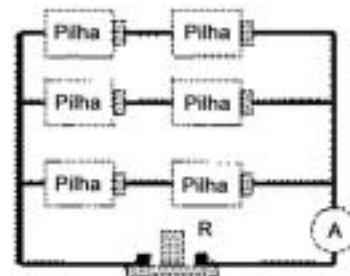
- a lâmpada funcione de acordo com suas especificações;
- o amperímetro ideal registre a corrente que passa pela lâmpada;
- o voltímetro ideal indique a queda de potencial na resistência equivalente à associação de  $R$ .

É importante que você comente e justifique a montagem de um circuito através de uma sequência de idéias. Desenvolva todos os cálculos necessários. Não se esqueça de justificar o posicionamento dos aparelhos, bem como suas leituras.



13) Seis pilhas iguais, cada uma com diferença de potencial  $V$ , estão ligadas a uma aparelho de resistência  $R$  na forma esquematizada na figura. Nessas condições a corrente medida no amperímetro  $A$ , colocado na posição indicada é igual a:

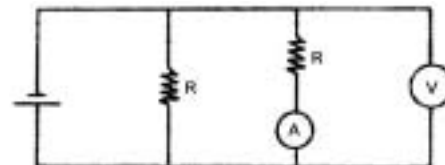
- $V/R$
- $2V/R$
- $2V/3R$
- $3V/R$
- $6V/R$



14) (Fatec/2004) No circuito esquematizado, o amperímetro  $A$  e o voltímetro  $V$  são ideais, e a resistência  $R$  é igual a  $10\Omega$ .

Se a marcação em  $A$  é de  $2,0\text{ A}$ , a marcação em  $V$  é igual a

- $2,0\text{ V}$ .
- $4,0\text{ V}$ .
- $10\text{ V}$ .
- $20\text{ V}$ .
- $40\text{ V}$ .



15) (Fatec/2004) Um fio de extensão está ligado numa tomada de  $110\text{V}$ . Esse fio de extensão tem três saídas, nas quais estão ligados um aquecedor de  $500\text{ W}$ , uma lâmpada de  $100\text{ W}$  e um secador de cabelos de  $200\text{ W}$ . Esses aparelhos estão ligados em paralelo e permanecem funcionando por  $5,0$  minutos. O valor aproximado da corrente elétrica que passa pelo fio e o gasto de energia com esses três aparelhos, quando funcionando simultaneamente, após  $5,0$  minutos, são, respectivamente:

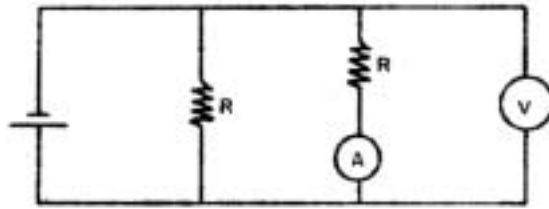
- $1\text{ A}$  e  $8,3 \cdot 10^5\text{ J}$
- $2\text{ A}$  e  $7,2 \cdot 10^5\text{ J}$
- $4\text{ A}$  e  $5,4 \cdot 10^5\text{ J}$
- $7\text{ A}$  e  $2,4 \cdot 10^5\text{ J}$
- $10\text{ A}$  e  $1,2 \cdot 10^5\text{ J}$



16) (Fatec/2002) No circuito representado no esquema, F é uma fonte de tensão que fornece uma diferença de potencial constante de 9,0 V.

De acordo com as indicações do esquema, os resistores  $R_1$  e  $R_2$  valem, respectivamente, em ohms,

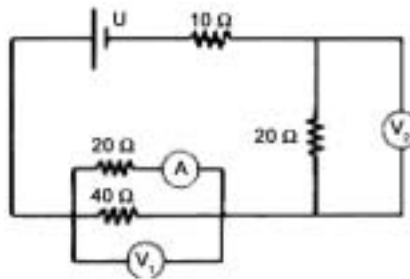
- a) 3,0 e 6,0
- b) 3,0 e 9,0
- c) 6,0 e 3,0
- d) 6,0 e 6,0
- e) 6,0 e 12



17) (Fatec/2003) No circuito abaixo os aparelhos de medida são ideais. O voltímetro  $V_1$  indica 24V.

As indicações do amperímetro A e do voltímetro  $V_2$  são, respectivamente:

- a) 1,0 A e 24 V
- b) 1,2 A e 36 V
- c) 1,2 A e 24 V
- d) 2,4 A e 36 V
- e) 1,0 A e 36 V



18) (Fatec/2003) Um chuveiro elétrico não está aquecendo satisfatoriamente a água. Para resolver esse problema, fecha-se um pouco a torneira. Com esse procedimento estamos

- a) aumentando a corrente elétrica que atravessa o chuveiro.
- b) aumentando a diferença de potencial nos terminais do chuveiro.
- c) diminuindo a resistência elétrica do chuveiro.
- d) diminuindo a massa de água que será aquecida por unidade de tempo.
- e) economizando energia elétrica.

## Unidade 2

# *Campos, cargas e seus fenômenos*

### Organizadores

Maurício Pietrocola

Nobuko Ueta

### Elaboradores

Luis Paulo Piassi

Maxwell Roger da P.  
Siqueira

Maurício Pietrocola

### *ENTENDENDO OS CHOQUES*

Um dia você estava passeando ou brincando sossegadamente e de repente tomou um belo choque, não sabe como nem por quê. Isso já aconteceu com você? Se não aconteceu, parabéns, porque a maioria de nós já teve esses momentos “chocantes” em escorregadores, camas elásticas, carrinhos de supermercado, no ônibus, na porta do carro e em inúmeras outras situações. O problema é: por quê?

Você pode pensar de onde vem a eletricidade nesses casos. Talvez um fio escondido ou algo do gênero. Mas não é nada disso. A eletricidade não veio de lugar algum: ela já estava lá, no escorregador, no carro e em todo o resto. Isso porque a eletricidade está em tudo, em mim, em você, neste papel que você está lendo, no chão onde você está. Ela está em toda a matéria que você possa imaginar.

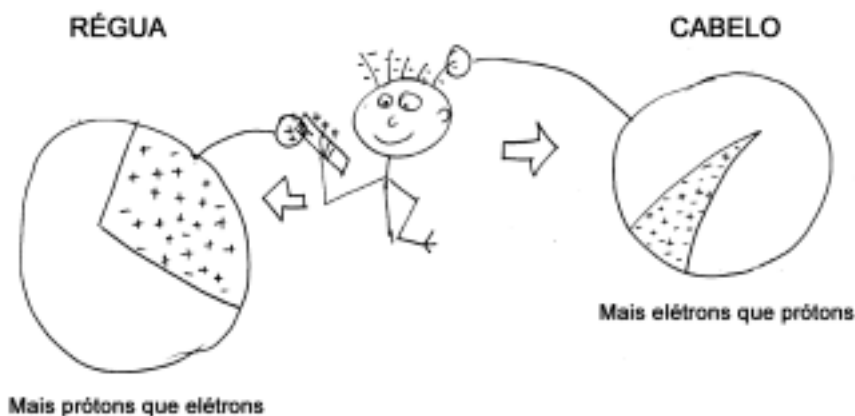
Aí você me pergunta: Por que então não estou tomando um choque agora? E como é possível a eletricidade estar em tudo? Se fosse assim as tomadas e os fios não seriam necessários... Colamos a lâmpada no teto e ela acende, afinal a eletricidade está na lâmpada também, não é? Calma, calma... Não é tão simples assim!

Você já deve ter visto uma experiência muito simples que consiste em esfregar nos cabelos um objeto de plástico – uma régua, por exemplo – e aproximá-lo de pedacinhos de papel. Os papezinhos grudam na régua, como se uma força de atração mágica estivesse atuando. Mas não é uma força de atração mágica e sim uma força de atração elétrica.

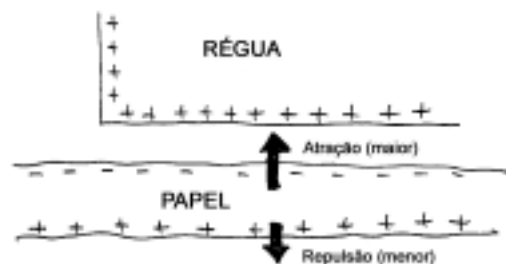
Acontece que a régua, seu cabelo e toda a matéria que existe possuem dois tipos de eletricidade: a positiva e a negativa. Toda a matéria é formada por partículas muito pequenas, realmente pequenas, inacreditavelmente pequenas, pequenas mesmo. Essas partículas formam os famosos átomos e suas queridas moléculas, os quais serão explicados com detalhes no último volume desta série. Por enquanto, basta saber que algumas dessas partículas conhecidas como elétrons são dotadas de eletricidade negativa. E que outras, dotadas de eletricidade positiva, são chamadas de prótons. Os átomos têm prótons e elétrons, além dos (só) aparentemente inúteis nêutrons que, vistos de fora, não possuem eletricidade. Os nêutrons e prótons ficam no centro do átomo em uma região chamada núcleo. Os elétrons preferem ficar por fora, dando voltas incríveis ao redor do núcleo.

Bom, agora que já complicamos, que tal começar a explicar? Primeiro o fato que explica tudo: eletricidade positiva atrai negativa e a negativa atrai a positiva. E eletricidades de mesmo tipo se repelem, ou seja, se afastam uma da outra. Normalmente, as cargas negativas, elétrons, vão se agrupar perto das positivas, pela forte atração que há entre elas. Quando há um equilíbrio, ou seja, quantidades iguais de carga positiva e negativa, o corpo está neutro. Ele pode ter, e certamente tem, muita, muita carga, mas quando o total de positivas e negativas se compensam, nada acontece.

Muito bem. Com essa idéia, você já imagina o que acontece à régua e ao cabelo? Vamos lá. No início régua e cabelo estão neutros, com quantidades iguais de cargas positivas e negativas. Depois você esfrega a régua no cabelo. Nesse esfrega-esfrega, muitos elétrons são violentamente arrancados da régua, por exemplo. Assim sua régua fica com mais prótons do que elétrons, e o seu cabelo com mais elétrons do que prótons.



Dizemos que sua régua e seu cabelo foram eletrizados através do atrito. Se a régua ficar com excesso de prótons estará com carga positiva. Neste caso, o cabelo estará negativamente carregado. O que acontece então quando aproximamos a régua dos pedacinhos de papel? Muito simples: o papel também tem suas cargas positivas e negativas. Claro que as negativas serão atraídas pela régua, que está positiva. E as cargas positivas do papel serão repelidas. A princípio teríamos uma atração e uma repulsão, uma espécie de “braço de ferro” ou “cabo de guerra” sem vencedores: um puxa de cá, outro empurra de lá e tudo fica por isso mesmo. Mas não é assim. Os elétrons são relativamente móveis e, ao serem atraídos, se concentram na região mais próxima à régua. O lado oposto, por sua vez, com falta de elétrons, fica positivo. Assim ficamos com a situação mostrada na figura:



Repare na figura que a região negativa que se forma no papel está próxima da régua e a positiva, que se forma no lado oposto, está mais afastada. Isso faz com que a atração seja superior à repulsão, e assim o papelzinho como um todo é atraído pela régua. Muito bem, se você entendeu isso, vamos aos choques.

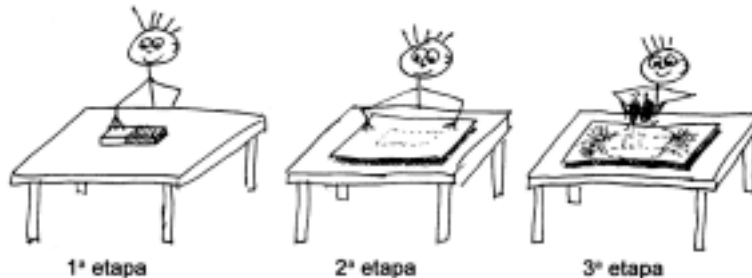
Você sabe que ao se colocar o dedo na tomada a chance de se levar um choque é bem grande. Mas o que é o choque? Na verdade, a sensação é provocada pela passagem de cargas elétricas em nosso organismo, ou seja, quando uma corrente elétrica nos percorre. Como você já sabe, a corrente elétrica também produz calor e assim o choque, dependendo de sua intensidade, pode provocar queimaduras graves. E por que às vezes tomamos choques inesperados, em objetos que não estão ligados à rede elétrica? Isso acontece porque de alguma forma esses objetos se eletrizaram ao entrar em atrito com outros, da mesma forma que o cabelo e a régua do nosso exemplo. Uma criança, ao escorregar em um escorregador de plástico, está provocando atrito entre sua calça e o plástico do escorregador. Ambos ficam carregados, um deles com excesso de cargas negativas, outro com excesso de cargas positivas. Na primeira oportunidade, as cargas em excesso do corpo da criança irão gerar uma corrente que é sentida como choque. Muitos objetos só não ficam permanentemente eletrizados porque estão em contato com o ar, que também contém átomos com excesso e falta de elétrons (íons) que ao atingir objetos eletrizados vai aos poucos os levando novamente à neutralidade.

## CONVERSANDO SOBRE ÍMÃS

Agora vamos mudar um pouco de assunto, vamos falar de ímãs e bússolas. Até hoje não conheci ninguém que não goste de brincar com ímãs e bússolas. São objetos realmente muito curiosos que têm um comportamento aparentemente mágico. O ímã atrai diversos objetos metálicos e gruda na porta da geladeira. A bússola aponta sempre na direção norte-sul, não deixando você se perder. Mas um ímã interfere muito na bússola. Quando aproximamos um ímã de uma bússola, ela pára de apontar para o norte da Terra e passa a apontar para um pólo do ímã. E por falar em pólo, aí está mais uma coisa engraçada: o ímã tem dois pólos, que são as regiões do ímã que possuem maior poder de atração.

### EXPERIMENTE VOCÊ MESMO

Para identificar os pólos de um ímã você pode fazer uma experiência simples. Coloque um ímã sobre a mesa e sobre ele coloque uma folha de papel. Pegue duas esponjas de aço (bombril, assolan, etc) e esfregue uma na outra, sobre a folha de papel. Ião se formar inúmeros "pelinhos" de aço. Se você observar bem irá notar que as fibras de aço formam um padrão curioso sobre o papel e que na região dos pólos dos ímãs haverá um acúmulo maior dessas fibras.



Os pólos dos ímãs têm propriedades interessantes. Uma delas é o fato de que se você aproximar os pólos iguais de dois ímãs terá muita dificuldade em uni-los pois uma forte repulsão aparece. Por outro lado, se você aproximar os pólos opostos, os ímãs têm uma forte atração. Uma bússola nada mais é do que um pequeno ímã em forma de agulha que pode girar livremente em um

eixo. Nessas condições, os pólos do ímã apontarão na direção dos pólos geográficos da Terra.

O pólo de um ímã que aponta para o norte geográfico da Terra é chamado de pólo norte do ímã, o mesmo valendo para o pólo sul. Essa denominação foi dada antes de se imaginar que a própria Terra se comportava como um ímã e assim ficou. Mas, considerando que a própria Terra tem um efeito magnético similar ao de um ímã, o pólo da Terra que atrai o pólo norte do ímã deveria ser chamado de pólo sul. Isso parece muito confuso... Mas na verdade é simples: os pólos magnéticos da Terra têm os nomes invertidos em relação aos pólos geográficos. Observe o esquema:

Uma pergunta interessante é: afinal, que tipo de metais são atraídos por ímãs? Na verdade são bem poucos. O mais comum de todos e o de maior poder de atração é o ferro e provavelmente todos os objetos que você já viu serem atraídos por ímãs contêm ferro em sua composição. Dependendo da condição do material, ele pode ficar inclusive magnetizado (imantado) após permanecer um certo tempo em contato com ímãs. Isso pode ser observado às vezes em tesouras e chaves de fenda que atraem alfinetes e parafusos. Você pode magnetizar um clipe de aço com um ímã e usá-lo para atrair outros objetos pequenos ou mesmo pendurá-lo com uma linha e usá-lo como bússola. Esse fenômeno é utilizado para se gravar som e imagem em fitas magnéticas de vídeo cassete, números e códigos em cartões de banco, bilhetes de ônibus e programas em disquetes e disco rígidos de computador. Se você gosta de usar a internet saiba que praticamente todo o seu conteúdo está gravado magneticamente em milhões de computadores espalhados pelo mundo através do mesmo processo que faz um alfinete ficar imantado.

## CONHECENDO OS CAMPOS

Agora que já falamos um pouco sobre choques e ímãs, ou seja, sobre eletricidade e magnetismo, podemos parar um pouquinho e pensar: será que esses dois fenômenos estão relacionados? Na verdade, desde a antiguidade se imaginava que sim, mas somente no século XIX se conseguiu comprovar essa relação. Vejamos algumas semelhanças e diferenças:

	Eletricidade	Magnetismo
Atração de objetos a uma certa distância	SIM	SIM
Apresenta situações de atração e de repulsão	SIM	SIM
Precisa de atrito para ocorrer	SIM	NÃO
Pode causar choques	SIM	NÃO
Atrai apenas um reduzido número de metais	NÃO	SIM
Pode ser usado como bússola	NÃO	SIM

Embora algumas similaridades possam ser encontradas, podemos ver que há mais diferenças do que semelhanças. Então por que muita gente achava (e agora tem certeza) de que esses fenômenos têm uma origem em comum? Provavelmente porque em suas semelhanças estejam fatos dos mais incríveis: atrair coisas de uma certa distância e repelir objetos em certas condições. Diante desses curiosos fatos, as diferenças parecem meros detalhes.

Alguém pode pensar o seguinte: como o ímã “sabe” que o alfinete está perto dele para atrair-lo? E como a bússola “sabe” para que lado é o norte?

Para responder isso, podemos começar de uma questão mais simples: como é que você sabe quando o seu vizinho está fazendo churrasco? Há várias maneiras, é claro: ele pode contar a você, você pode ver, ouvir ou sentir o cheirinho... De qualquer modo a informação chega até você de alguma maneira. Se você não sentir o cheiro, não ouvir nem ver nada e seu vizinho ficar “na moita”, não ficará sabendo do churrasco, o que pode ser uma tragédia. Mas o que isso tem a ver com o ímã e todo o resto? Será que o ímã sente o cheiro do ferro? É claro que não. Mas de alguma forma a presença do ferro é sentida pelo ímã e vice-versa. É aí que entra a idéia de campo.

O campo seria algo invisível e imperceptível para nós, mas que está realmente ao redor de um ímã. Não seria um cheiro, pois os odores são provocados por substâncias e o campo não é uma substância. Se fosse um cheiro, possivelmente nós sentiríamos. Mas há algumas semelhanças com a idéia de cheiro. Ao observar um jogador tirar a chuteira após 90 minutos de partida, você certamente ficará aliviado por estar distante da cena, pois você sabe que os odores não muito agradáveis produzidos nessa situação serão muito mais intensos nas proximidades de sua origem: o pé do jogador. Da mesma forma, um pedaço de ferro é atraído com facilidade apenas nas proximidades dos ímãs. Um ímã muito forte talvez possa ser sentido mais longe, da mesma forma que um cheiro forte.

Na semelhança entre campos e cheiros, outro fator também tem que ser levado em conta: o “olfato”. Imagine que seu vizinho esteja fazendo aquele churrasco e você está sentindo o cheirinho. Você sente o cheiro porque a distância de sua casa até a do vizinho é pequena. Se você morasse dois quarteirões adiante talvez não ficasse sabendo do churrasco. Mas agora imagine o que sente o Rex, seu cãozinho querido. Com seu olfato canino, ele sentiria o cheiro do churrasco até mais longe do que dois quarteirões. O mesmo ocorre com os campos. Um ímã tem ao seu redor um campo que influi em outros ímãs e em objetos contendo ferro. Mas um segundo ímã será mais influenciado à distância quanto maior for sua intensidade. Por exemplo, se você mover um ímã a 20 centímetros de uma mesa com vários objetos sobre ela, verá que alguns objetos são mais influenciados do que outros. Suas capacidades de sentir os campos são diferentes, assim como nosso olfato e o olfato dos cães.

O campo de um ímã é chamado de campo magnético e embora nós não possamos senti-lo diretamente, trata-se de algo bem real. O planeta Terra possui um campo magnético. Este campo faz com que as bússolas apontem todas na mesma direção e nos proteja de partículas nocivas provenientes do Sol. Esse campo também auxilia animais migratórios, como aves e lagostas, a encontrar seu caminho. Ao contrário de nós, esses animais possuem órgãos sensoriais capazes de detectar os campos magnéticos. Um ímã colocado na proximidade deles pode desorientá-los.

Mas há outros tipos de campo além do magnético. Como vimos, o fenômeno da atração à distância não se restringe aos ímãs, mas está também associado à eletricidade. Uma pergunta similar à que fizemos antes pode ser formulada: como os pedacinhos de papel “sabem” que uma régua eletrizada está por perto e saem voando em sua direção? A resposta é que a régua, com seu excesso de cargas positivas ou negativas, apresenta em torno de si um campo elétrico. As cargas existentes no papel “sentem” este campo e a partir disso sofrem uma força que as arrasta de encontro à régua. Assim, existem pelo menos dois campos diferentes: o campo magnético, relacionado aos ímãs, e o campo elétrico, associado à eletricidade.



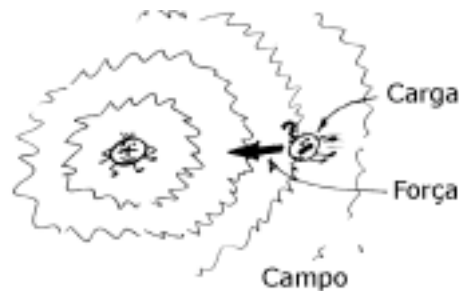
O fato mais interessante sobre os campos é que eles provocam efeitos em locais onde aparentemente não há nada. Isso pode parecer surpreendente, mas não é tão mágico assim. Se o ser humano não fosse dotado de tato, por exemplo, não sentiria o vento. Mesmo assim, perceberíamos seus efeitos onde aparentemente não há nada: folhas de árvore voando, cabelos esvoaçados e muitas outras coisas. Para os campos elétrico e magnético não temos “tato” ou outro sentido, mas podemos observar seus efeitos. E esses efeitos são muito parecidos com o efeito do vento: mover e empurrar coisas. Ou seja, os campos produzem forças e essas forças provocam movimentos ou alterações de movimentos.

Imagine que sobre uma mesa horizontal há um carrinho de metal parado que começa a se mover sozinho, de repente. Você pode pensar: será que foi o vento? Ou então é um carrinho a pilha, movido por controle remoto? Ou quem sabe há alguém com um ímã por baixo da mesa. Em todos os casos, é uma força que está agindo.

## *Campos elétricos*

Os campos elétricos e os campos magnéticos provocam o surgimento de forças que, por sua vez, provocam outros efeitos, como o início de um movimento. As cargas elétricas, por exemplo, quando imersas em um campo elétrico, são puxadas na direção deste campo e é isso que faz o papelzinho grudar na régua eletrizada. Há uma forma matemática muito simpática de se expressar essa idéia. Vamos indicar pela letra  $E$  a intensidade do campo elétrico e por  $q$  a quantidade de carga. Quando a quantidade de carga  $q$  for colocada no campo  $E$ , surgirá uma força, que podemos indicar pela letra  $F$ . A equação matemática é assim:

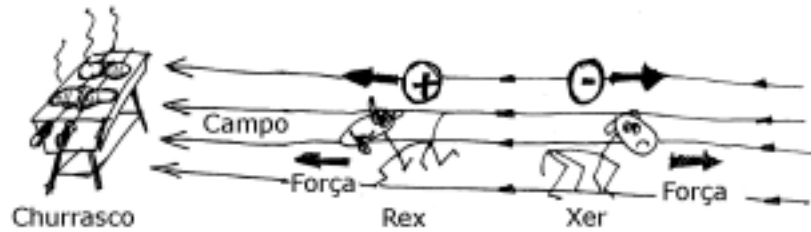
$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$



Essa fórmula mostra os fatos: se uma carga forte está num campo forte aparece uma grande força. Se o campo ou a carga são muito fraquinhos, o resultado será uma força menor. Se não houver o campo ou não houver a carga, não há força. Retomando nosso exemplo canino, o campo seria o cheiro, a carga seria o olfato do cão. Se o olfato for bom e o cheiro de churrasco for forte o cãozinho ficará muito faminto e latirá desvairadamente. Se não houver cheiro, ou se o cão estiver sem olfato, nada demais acontecerá: o cãozinho continuará nas suas cachorradas costumeiras de sempre.

A fórmula  $F = q \cdot E$  é vetorial, o que significa que existe uma informação sobre direções envolvida. Quando você ouve um som é possível saber de que direção está vindo porque temos dois ouvidos. Já a carga elétrica “percebe” a direção do campo, pois o campo é uma grandeza vetorial e provocará uma força em sua direção. Vale lembrar que uma direção tem dois sentidos. Nosso amigo Rex, sendo um canino normal, ao sentir o cheiro da carne irá se mover no sentido de se aproximar da carne. Eu conheço um cão “do contra”, vegetariano, chamado Xer e que detesta carne. Nessa situação, ele seguiria no

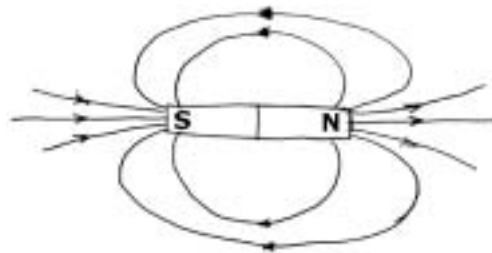
sentido oposto, procurando se afastar. É um cão “negativo”. O mesmo acontece com as cargas. As positivas vão no sentido que o campo elétrico aponta. As negativas seguem a mesma linha, mas no sentido oposto.



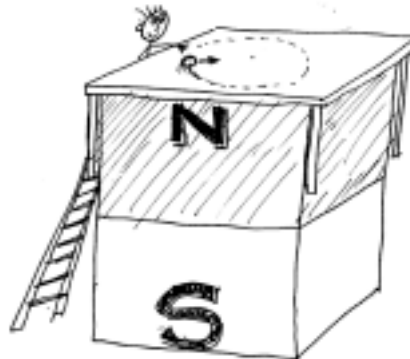
### *Campo magnético*

O campo magnético, assim como o elétrico, pode ser representado por linhas. Em um ímã comum as linhas adquirem o seguinte aspecto:

Note que as linhas de campo saem do pólo norte e entram no pólo sul. Um bússola, colocada em um campo magnético, apontará na direção do campo. O pólo norte da bússola, que aponta para o norte geográfico (sul magnético) da Terra, sempre aponta no sentido do campo.

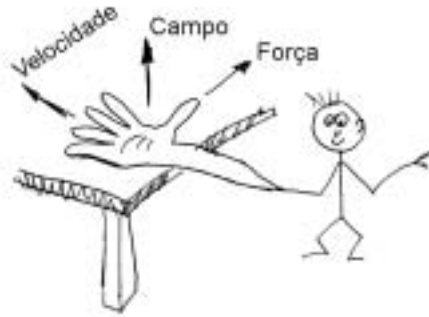


Os campos magnéticos também agem sobre as cargas, mas para isso elas devem estar em um movimento perpendicular a ele. Os campos magnéticos não fazem nada com cargas paradas, nem com cargas em movimento que acompanhem a sua direção, mas quando uma carga tem ao menos parte de seu movimento perpendicular ao campo, estranhos desvios em seu movimento começam a acontecer, podendo provocar movimentos circulares ou até mais complicados. Ao contrário do campo elétrico, o campo magnético não desvia a carga no sentido do campo, mas numa direção perpendicular a ele. Imagine a seguinte situação: um ímã grande, muito forte, com o pólo norte colocado sob a mesa. Se você coloca uma bolinha com carga positiva sobre a mesa, nada acontece, porque o campo magnético não atua em carga paradas. Mas se você a coloca em movimento ela irá sempre se desviar para a direita. Como o desvio é contínuo a bolinha acaba realizando um movimento circular.





O desvio sofrido por cargas em um campo magnético segue uma regra simples. Imagine o exemplo anterior. O campo magnético estava apontando para cima, saindo do tampo da mesa. Coloque sua mão direita aberta sobre a mesa, com a palma apontando para o sentido do campo, isto é, para cima. Seus dedos estarão apontando para a frente: este é o sentido do movimento da carga. Mas o seu dedão estará apontando para a direita! É para lá que a carga será desviada. Agora vá até a parede mais próxima e coloque sua mão com a palma voltada para a parede. Isso é um campo magnético “entrando” na parede. Seus dedos estão apontando para cima e o dedão para a esquerda? Isso quer dizer que se você movesse uma carga positiva para cima nesse campo ele seria desviada para a esquerda. No caso de cargas negativas, use a mão esquerda, ao invés da direita. Veja a figura:



## CAMPOS E CARGAS

Até este ponto, vimos o significado de três idéias:

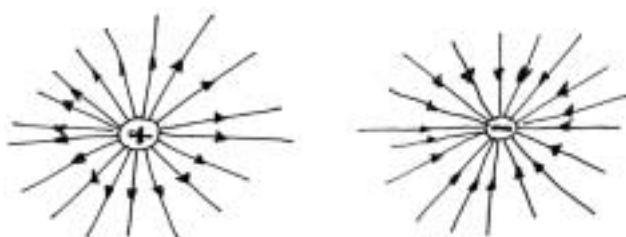
- Campo Elétrico.
- Campo Magnético.
- Cargas Elétricas.

Essas três idéias formam a base do que chamamos de Eletromagnetismo. Este é o ramo da Física que explica todos os fenômenos elétricos e magnéticos e que permitiu a invenção de inúmeros aparelhos elétricos e a compreensão do comportamento da matéria de uma forma muito profunda. Após muitas experiências e teorias, os físicos descobriram que apenas com essas três idéias é possível formular algumas regras que, transformadas em equações matemáticas, nos tornam capazes de prever uma inúmera quantidade de fenômenos interessantes. Essas equações são chamadas de “Equações de Maxwell” em homenagem ao cientista que as colocou em sua forma final.

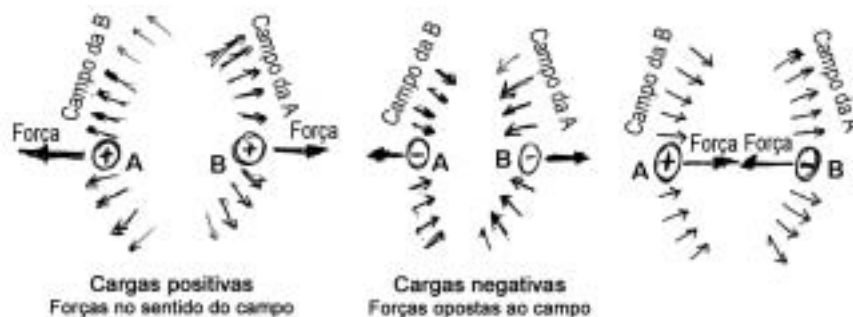
Os cálculos com as equações de Maxwell são complexos demais para o nível de ensino médio, mas podemos compreender seu significado sem entrar diretamente nesses cálculos, colocando-as em formas de leis e discutindo suas conseqüências:

## Lei de Gauss da Eletricidade

Basicamente esta lei diz que cargas elétricas têm campos elétricos ao seu redor. Uma representação muito usada para os campos elétricos é através de linhas “saindo” ou entrando nas “cargas”, como na figura:



Nas cargas positivas o sentido do campo é para fora e nas negativas, para dentro. Lembrando que os campos provocam forças nas cargas e que o sentido da força depende do sinal da carga, podemos entender a repulsão e a atração de cargas de mesmo sinal e sinais opostos:



A intensidade do campo de uma carga vai diminuindo conforme nos afastamos dela. A equação da lei de Gauss da eletricidade nos dá uma fórmula para isso, que é a seguinte:

$$E = K \cdot \frac{q}{d^2}$$

Nessa fórmula, E representa a intensidade do campo, q é quantidade de carga e d é a distância. O valor K é chamado de constante dielétrica do vácuo e representa a intensidade da força elétrica existente na natureza. Seu valor é sempre o mesmo  $K = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$ . A quantidade de carga é medida em uma unidade chamada coulomb, abreviada por C, em homenagem a um cientista francês do século XIX. O elétron que possui a menor carga livre conhecida no universo possui uma carga de

$$- 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Note que é um valor negativo, pois a carga do elétron é negativa.

Se você colocar uma carga no campo de uma outra carga, ela sofrerá uma força que, como já dissemos, será calculada pela fórmula  $F = q \cdot E$ . Combinando as duas fórmulas teremos o seguinte resultado:

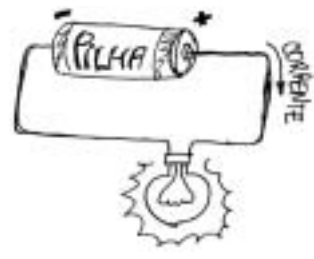
$$F = K \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

Essa fórmula também é conhecida como lei de Coulomb e mostra que a atração ou a repulsão entre duas cargas depende dos seus valores e vai diminuindo com o quadrado da distância entre elas.

O fato de as cargas elétricas possuírem campos elétricos e de os campos elétricos provocarem o surgimento de forças é que faz com que ocorra a repulsão e a atração. Vejamos alguns fenômenos ligados a esse fato.

#### CAMPOS NOS CIRCUITOS

Pilhas e baterias produzem corrente elétrica. Quando você liga uma lanterna ou um brinquedo a pilha, ele funciona graças à corrente elétrica que passa nos seus fios internos. Como essa corrente é produzida? A corrente elétrica nada mais é do que o movimento de cargas elétricas em um material. Nos metais, há muitos elétrons que podem se mover livremente. Um campo elétrico dentro de um me-



tal faz com que esses elétrons comecem um percurso, produzindo uma corrente. Assim, se conseguirmos produzir um campo elétrico contínuo dentro de um metal, produziremos corrente elétrica. As pilhas e baterias fazem justamente isso. Por um processo químico, as baterias e as pilhas fazem com que cargas positivas fiquem acumuladas em uma região e negativas em outra. Essas regiões são chamadas pólos. Isso cria um campo elétrico permanente enquanto a pilha estiver carregada. Ao colocar um fio unindo os pólos positivo e negativo da pilha, você terá uma corrente elétrica e seu aparelho irá funcionar.

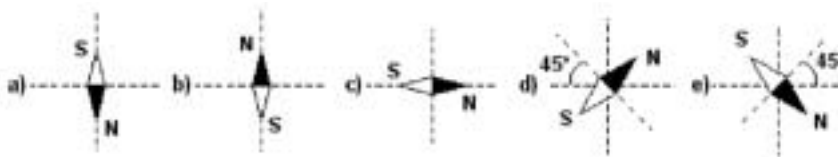
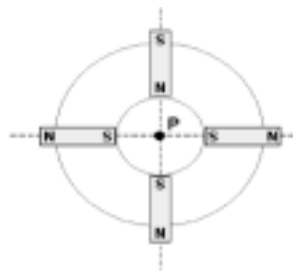
#### CAMPOS NOS PROCESSOS DE IMPRESSÃO

Impressoras. Nas impressoras a jato de tinta usadas na maior parte dos computadores, minúsculas gotinhas de tinta são carregadas com cargas elétricas e repelidas por um campo elétrico em direção ao papel. Nas impressoras laser e nas fotocopiadoras, uma tinta em pó chamada toner é atraída ao papel por um campo elétrico.

#### CAMPOS NO INTERIOR DA TV

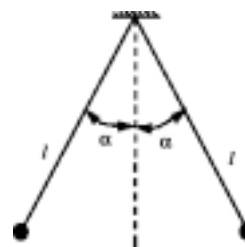
Televisores. A imagem da sua TV é formada pelo impacto de elétrons no vidro. Os elétrons são empurrados violentamente contra a tela através do tubo da TV utilizando-se um fortíssimo campo elétrico. Ao atingir uma substância colocada sob a tela de vidro os elétrons provocam a emissão de luz. As lâmpadas fluorescentes e os aparelhos de raios X seguem um princípio semelhante. Nas lâmpadas, os elétrons atingem átomos no interior das lâmpadas que produzem raios ultravioleta. Estes ao atingir o vidro recoberto de substâncias similares aos da tela da TV, produzem luz. Já os raios X são gerados quando os elétrons atingem uma anteparo de metal. O que muda de um aparelho para outro é a energia com que os elétrons são lançados. Essa energia está ligada à tensão elétrica, que estudamos no primeiro capítulo. Um televisor pode trabalhar com 10.000 V, o que significa que ele fornece 10.000 J de energia para cada coulomb de carga que o atravessa. Podemos resumir isso em uma fórmula simples:  $E = q.V$ , ou seja, a energia é o produto da quantidade de carga pela tensão elétrica.

1) (Fuvest - 2002) Quatro ímãs iguais em forma de barra, com as polaridades indicadas, estão apoiados sobre uma mesa horizontal, como na figura, vistos de cima. Uma pequena bússola é também colocada na mesa, no ponto central P, equidistante dos ímãs, indicando a direção e o sentido do campo magnético dos ímãs em P. Não levando em conta o efeito do campo magnético terrestre, a figura que melhor representa a orientação da agulha da bússola é



2) (Unifesp - 2002) Na figura, estão representadas duas pequenas esferas de mesma massa,  $m = 0,0048 \text{ kg}$ , eletrizadas com cargas de mesmo sinal, repelindo-se, no ar. Elas estão penduradas por fios isolantes muito leves, inexten-

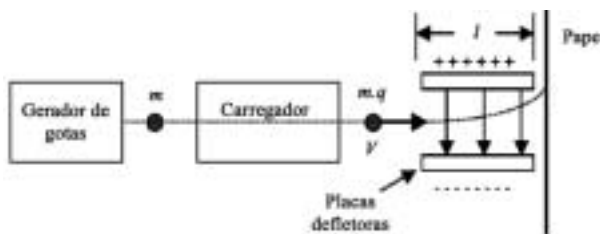
síveis, de mesmo comprimento,  $L = 0,090$  m. Observe-se que, com o tempo, essas esferas se aproximam e os fios tendem a tornar-se verticais.



a) O que causa a aproximação dessas esferas? Durante essa aproximação, os ângulos que os fios formam com a vertical são sempre iguais ou podem tornar-se diferentes um do outro? Justifique.

b) Suponha que, na situação da figura, o ângulo  $\alpha$  é tal que  $\sin \alpha = 0,60$ ;  $\cos \alpha = 0,80$ ;  $\tan \alpha = 0,75$  e as esferas têm cargas iguais. Qual é, nesse caso, a carga elétrica de cada esfera? (Admitir  $g = 10$  m/s<sup>2</sup> e  $k = 9,0 \cdot 10^9$  N.m<sup>2</sup>/C<sup>2</sup>.)

3) (Unicamp - 2001) Nas impressoras a jato de tinta, os caracteres são feitos a partir de minúsculas gotas de tinta que são arremessadas contra a folha de papel. O ponto no qual as gotas atingem o papel é determinado eletrostaticamente. As gotas são inicialmente formadas, e depois carregadas eletricamente. Em seguida, elas são lançadas com velocidade constante  $v$  em uma região onde existe um campo elétrico uniforme entre duas pequenas placas metálicas. O campo deflete as gotas conforme a figura abaixo. O controle da trajetória é feito escolhendo-se convenientemente a carga de cada gota. Considere uma gota típica com massa  $m = 1,0 \times 10^{-10}$  kg, carga elétrica  $q = -2,0 \times 10^{-13}$  C, velocidade horizontal  $v = 6,0$  m/s atravessando uma região de comprimento  $L = 8,0 \times 10^{-3}$  m onde há um campo elétrico  $E = 1,5 \times 10^6$  N/C.



a) Determine a razão FE/FP entre os módulos da força elétrica e da força peso que atuam sobre a gota de tinta.

b) Calcule a componente vertical da velocidade da gota após atravessar a região com campo elétrico.

4) (UFMG - 2001) Em um tipo de tubo de raios X, elétrons acelerados por uma diferença de potencial de  $2,0 \times 10^4$  V atingem um alvo de metal, onde são violentamente desacelerados. Ao atingir o metal, toda a energia cinética dos elétrons é transformada em raios X.

1. CALCULE a energia cinética que um elétron adquire ao ser acelerado pela diferença de potencial.

2. CALCULE o menor comprimento de onda possível para raios X produzidos por esse tubo.

### Lei de Gauss do Magnetismo

Essa lei diz que não podemos separar os pólos de um ímã. Se pudéssemos fazer isso existiria uma espécie diferente de carga: a carga magnética. Mas só existem cargas elétricas. Duas perguntas então se colocam:

Como não podemos separar os pólos do ímã? Não é só quebrá-lo ao meio? A resposta é não. Se você quebra um ímã ao meio, cada pedaço passará a ter

um pólo norte e um pólo sul. A outra pergunta é a seguinte: se não existem cargas magnéticas, de onde vêm os campos magnéticos? Essa é uma boa pergunta: já que os campos elétricos vêm das cargas elétricas, seria razoável esperar que os campos magnéticos viessem de cargas magnéticas. Mas não é bem assim. A resposta está na lei de Ampère, que vem a seguir.

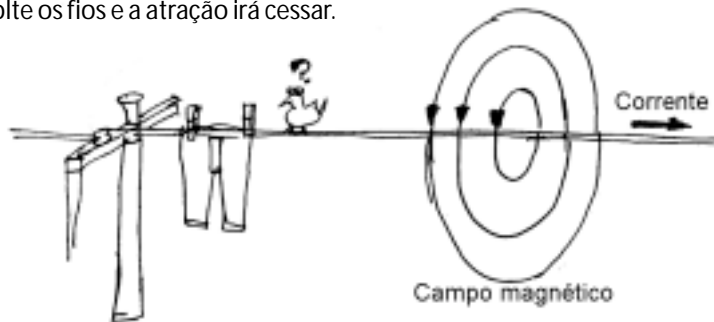
### Lei de Ampère

Essa lei diz que quando cargas elétricas estão em movimento surgem campos magnéticos ao seu redor. Esse fato incrível foi descoberto no século XIX por um professor de física dinamarquês chamado Oersted, que percebeu que um fio ligado em uma pilha desviava a agulha de uma bússola.

Uma corrente elétrica, portanto, é uma fonte de campo magnético. Isso se traduz em várias aplicações práticas interessantes.

#### EXPERIMENTE VOCÊ MESMO

Você pode criar um ímã que pode ser ligado e desligado. Se quiser, faça a experiência. Pegue um prego e enrole um fio encapado em volta dele dando pelo menos 20 voltas e deixando sobra nas duas pontas do fio. Desencape apenas as pontas do fio e ligue cada uma delas a um pólo de uma pilha comum (não use pilhas alcalinas ou irá queimar seu dedo). Aproxime o prego do alfinete ou dos cliques e ele os atrairá exatamente como um ímã. Solte os fios e a atração irá cessar.



Se você esticar um fio em linha reta e fizer uma corrente elétrica passar por ele, o campo magnético será representado por linhas circulares ao redor do fio, como na figura a seguir.

O sentido do campo será dado pela chamada regra da mão direita. Imagine-se segurando o fio e fazendo o sinal de “positivo” com o dedão no sentido da corrente. Os demais dedos indicarão automaticamente o sentido do campo magnético. Observe a figura:



### Lei de Faraday

Essa foi uma descoberta revolucionária. A idéia é simples: um campo magnético, quando é alterado, produz um campo elétrico. Por exemplo: se

#### Saiba mais

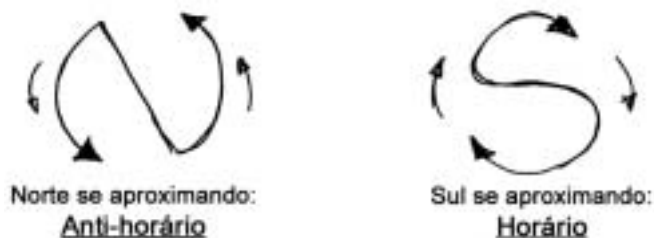
Com os fenômenos ligados à lei de Ampère, muitas invenções puderam ser realizadas, como o telégrafo, o telefone, os alto-falantes, as campanhas, as fitas de gravação magnética (como as fitas de vídeo), os motores elétricos usados em inúmeros aparelhos domésticos e em meios de transporte como os trens e o metrô.



you have a magnet in your hand and bring it close to any object, the magnetic field that acts on this object will be changing and this will provoke the appearance of an electric field. This phenomenon is called electromagnetic induction.

This was a revolutionary discovery because it made it possible to obtain electricity from motion. You move a magnet near a metal and a surge of electric field appears, which in turn produces an electric current. It is like this that all power generating plants work. In hydroelectric plants, water is used to move huge electromagnets near wires. This produces electricity that comes to our homes. Other ways of producing motion, such as heat and wind, can be used, but the principle is always the same.

The faster the variation of the magnetic field, the greater will be the electric field generated, so power generating plants must place their magnets to rotate very quickly near coils of wire. When the south pole of a magnet approaches the coil, it produces current in the clockwise direction; when the north pole approaches, the current is produced in the counter-clockwise direction. When the magnet moves away, the direction of the current is reversed. The figure below helps to memorize this fact:

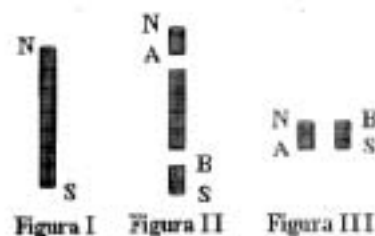


#### LEI DE MAXWELL

This was the last of the laws to be discovered, but it was one of the most fundamental. We saw that a magnetic field, when it changes, produces an electric field. But the inverse also occurs: an electric field when it changes also produces a magnetic field. This is incredible, because if you start with a magnetic field that varies and obtain an electric field that also varies, this new electric field will produce a new magnetic field, which when it varies, produces another electric field and so on. This creates a succession of electric and magnetic fields that propagate through space and that we call electromagnetic waves. These waves allow the transmission of information through antennas and are the basis of the operation of radios, televisions, mobile phones and many other things. You will study electromagnetic waves in more detail in the chapter of Modern Physics.

#### Exercícios

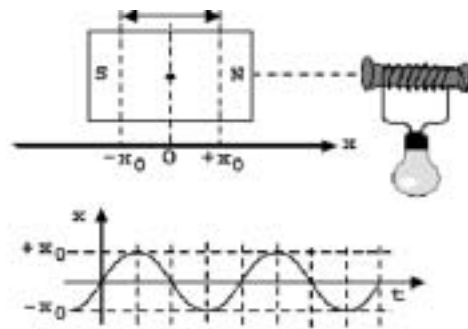
5) (Fuvest - 1996) A figura I representa um ímã permanente em forma de barra, onde N e S indicam, respectivamente, pólos norte e sul. Suponha que a barra esteja dividida em três pedaços, como mostra a figura II. Colocando lado a lado os dois pedaços extremos, como indicado na figura III, é correto afirmar que eles



a) se atrairão, pois A é pólo norte e B é pólo sul

- b) se atrairão, pois A é pólo sul e B é pólo norte
- c) não serão atraídos nem repelidos
- d) se repelirão, pois A é pólo norte e B é pólo sul.
- e) se repelirão, pois A é pólo sul e B é pólo norte .

6) (Fuvest - 2000) Um ímã é colocado próximo a um arranjo, composto por um fio longo enrolado em um carretel e ligado a uma pequena lâmpada, conforme a figura. O ímã é movimentado para a direita e para a esquerda, de tal forma que a posição  $x$  de seu ponto médio descreve o movimento indicado pelo gráfico, entre  $-x_0$  e  $+x_0$ . Durante o movimento do ímã, a lâmpada apresenta luminosidade variável, acendendo e apagando. Observa-se que a luminosidade da lâmpada



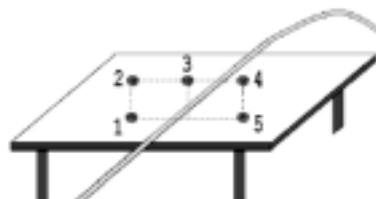
- a) é máxima quando o ímã está mais próximo do carretel ( $x = +x_0$ )
- b) é máxima quando o ímã está mais distante do carretel ( $x = -x_0$ )
- c) independe da velocidade do ímã e aumenta à medida que ele se aproxima do carretel
- d) independe da velocidade do ímã e aumenta à medida que ele se afasta do carretel
- e) depende da velocidade do ímã e é máxima quando seu ponto médio passa próximo a  $x = 0$

Está correto apenas o que se afirma em

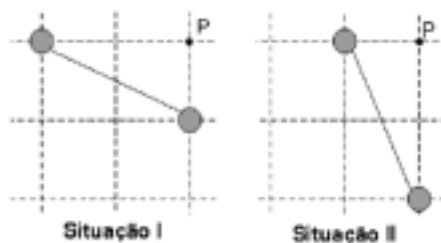
- a) I            b) II            c) III            d) I e III       e) II e III

7) (Fuvest - 2000) Apoiado sobre uma mesa, observa-se o trecho de um fio longo, ligado a uma bateria. Cinco bússolas são colocadas próximas ao fio, na horizontal, nas seguintes posições: 1 e 5 sobre a mesa; 2, 3 e 4 a alguns centímetros acima da mesa. As agulhas das bússolas só podem mover-se no plano horizontal. Quando não há corrente no fio, todas as agulhas das bússolas permanecem paralelas ao fio. Se passar corrente no fio, será observada deflexão, no plano horizontal, das agulhas das bússolas colocadas somente

- a) na posição 3
- b) nas posições 1 e 5
- c) nas posições 2 e 4
- d) nas posições 1, 3 e 5
- e) nas posições 2, 3 e 4

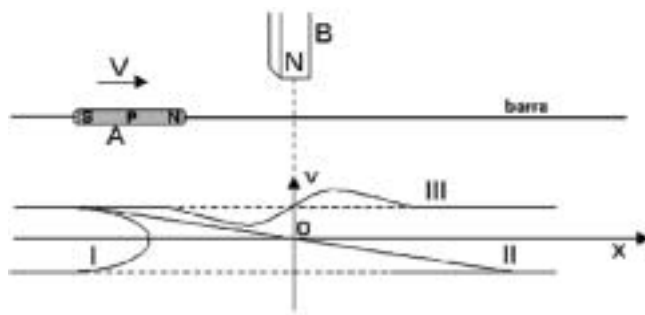


8) (Fuvest - 2001) Duas pequenas esferas, com cargas elétricas iguais, ligadas por uma barra isolante, são inicialmente colocadas como descrito na situação I. Em seguida, aproxima-se uma das esferas de P, reduzindo-se à metade sua distância até esse ponto, ao mesmo tempo em que se duplica a distância entre a outra esfera e P, como na situação II. O campo elétrico em P, no plano que contém o centro das duas esferas, possui, nas duas situações indicadas,



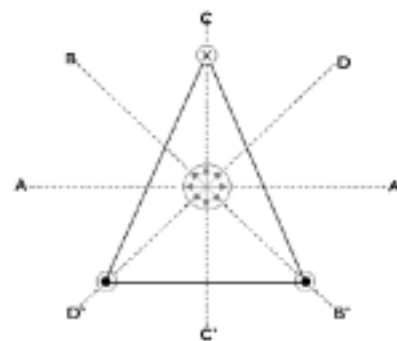
- mesma direção e intensidade.
- direções diferentes e mesma intensidade.
- mesma direção e maior intensidade em I.
- direções diferentes e maior intensidade em I.
- direções diferentes e maior intensidade em II.

9) (Fuvest - 2001) Um ímã cilíndrico A, com um pequeno orifício ao longo de seu eixo, pode deslocar-se sem atrito sobre uma fina barra de plástico horizontal. Próximo à barra e fixo verticalmente, encontra-se um longo ímã B, cujo pólo S encontra-se muito longe e não está representado na figura. Inicialmente o ímã A está longe do B e move-se com velocidade  $V$ , da esquerda para a direita. Desprezando efeitos dissipativos, o conjunto de todos os gráficos que podem representar a velocidade  $V$  do ímã A, em função da posição  $x$  de seu centro P, é constituído por:



- II
- I e II
- II e III
- I e III
- I, II e III

10) (Fuvest - 2001) Três fios verticais e muito longos atravessam uma superfície plana e horizontal nos vértices de um triângulo isósceles, como na figura abaixo desenhada no plano. Por dois deles ( $\cdot$ ), passa uma mesma corrente que sai do plano do papel e pelo terceiro (X) passa uma corrente que entra nesse plano. Desprezando-se os efeitos do campo magnético terrestre, a direção da agulha de uma bússola, colocada equidistante deles, seria melhor representada pela reta

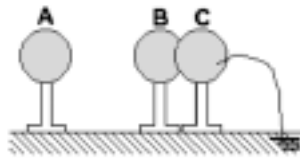




- a) A A'
- b) B B'
- c) C C'
- d) D D'
- e) perpendicular ao plano do papel.

11) (Fuvest - 2002) Três esferas metálicas iguais, A, B e C, estão apoiadas em suportes isolantes, tendo a esfera A carga elétrica negativa. Próximas a ela, as esferas B e C estão em contato entre si, sendo que C está ligada à terra por um fio condutor, como na figura. A partir dessa configuração, o fio é retirado e, em seguida, a esfera A é levada para muito longe. Finalmente, as esferas B e C são afastadas uma da outra. Após esses procedimentos, as cargas das três esferas satisfazem as relações:

- a)  $Q_A < 0$ ,  $Q_B > 0$ ,  $Q_C > 0$
- b)  $Q_A < 0$ ,  $Q_B = 0$ ,  $Q_C = 0$
- c)  $Q_A = 0$ ,  $Q_B < 0$ ,  $Q_C < 0$
- d)  $Q_A > 0$ ,  $Q_B > 0$ ,  $Q_C = 0$
- e)  $Q_A > 0$ ,  $Q_B < 0$ ,  $Q_C > 0$



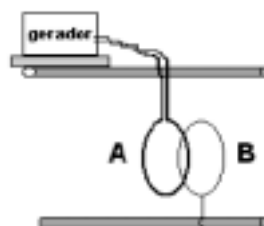
12) (Fuvest - 2004) Pequenas esferas, carregadas com cargas elétricas negativas de mesmo módulo  $Q$ , estão dispostas sobre um anel isolante e circular, como indicado na figura I. Nessa configuração, a intensidade da força elétrica que age sobre uma carga de prova negativa, colocada no centro do anel (ponto P), é  $F_1$ . Se forem acrescentadas sobre o anel três outras cargas de mesmo módulo  $Q$ , mas positivas, como na figura II, a intensidade da força elétrica no ponto P passará a ser:

- a) zero      b)  $(1/2)F_1$       c)  $(3/4)F_1$       d)  $F_1$       e)  $2 F_1$

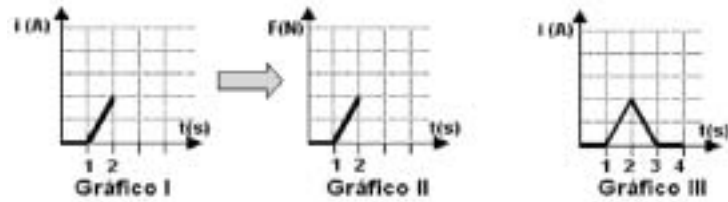
13) (Fuvest - 2003) Um feixe de elétrons, todos com mesma velocidade, penetra em uma região do espaço onde há um campo elétrico uniforme entre duas placas condutoras, planas e paralelas, uma delas carregada positivamente e a outra, negativamente. Durante todo o percurso, na região entre as placas, os elétrons têm trajetória retilínea, perpendicular ao campo elétrico. Ignorando efeitos gravitacionais, esse movimento é possível se entre as placas houver, além do campo elétrico, também um campo magnético, com intensidade adequada e:

- a) perpendicular ao campo elétrico e à trajetória dos elétrons.
- b) paralelo e de sentido oposto ao do campo elétrico.
- c) paralelo e de mesmo sentido que o do campo elétrico.
- d) paralelo e de sentido oposto ao da velocidade dos elétrons.
- e) paralelo e de mesmo sentido que o da velocidade dos elétrons.

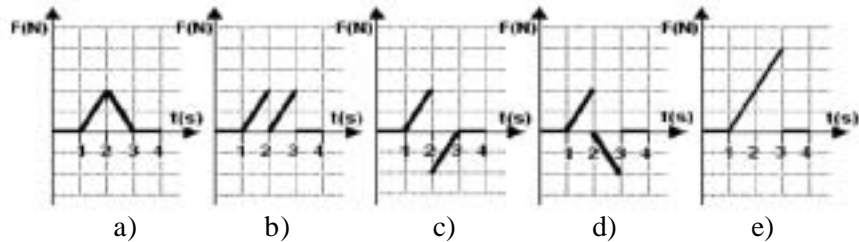
14) (Fuvest - 2004) Dois anéis circulares iguais, A e B, construídos com fio condutor, estão frente a frente. O anel A está ligado a um gerador, que pode lhe fornecer uma corrente variável. Quando a corrente  $i$  que percorre A varia como no Gráfico I, uma corrente é induzida em B e surge, entre os anéis, uma



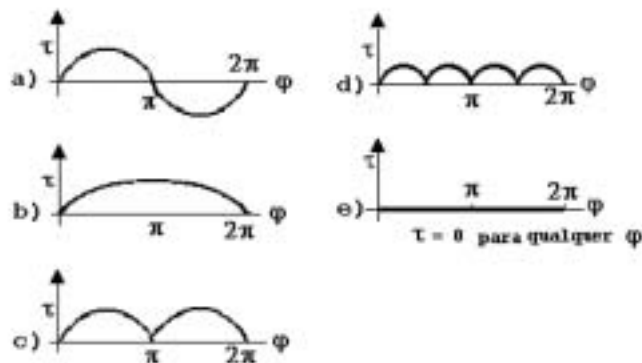
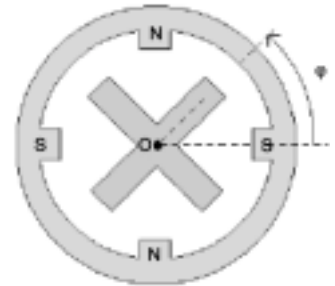
força repulsiva, (representada como positiva), indicada no Gráfico II.



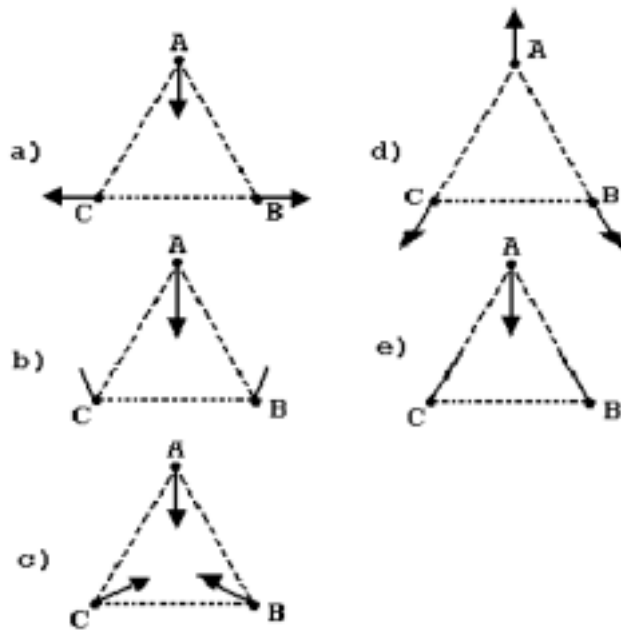
Considere agora a situação em que o gerador fornece ao anel A uma corrente como indicada no Gráfico III. Nesse caso, a força entre os anéis pode ser representada por:



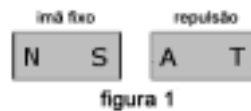
15) (Fuvest - 1998) Considere os dois ímãs permanentes mostrados na figura. O externo tem forma de anel, com quatro polos. O interno, em forma de cruz, pode girar livremente em torno do eixo O, fixo e coincidente com o eixo do anel. As polaridades N (Norte) e S (Sul) dos polos (de igual intensidade em módulo) estão representadas na figura. A posição do ímã móvel em relação ao anel é dada pelo ângulo. Podemos afirmar que o gráfico que melhor pode representar o valor do torque (momento de força) total  $\tau$ , que age sobre o ímã móvel, em função de  $\varphi$ , é:



16) (Fuvest - 1998) Três pequenas esferas carregadas com cargas de mesmo módulo, sendo A positiva e B e C negativas, estão presas nos vértices de um triângulo equilátero. No instante em que elas são soltas, simultaneamente, a direção e o sentido de suas acelerações serão melhor representados pelo esquema:



17) (Fuvest - 1999) Um ímã, em forma de barra, de polaridade N(norte) e S(sul), é fixado numa mesa horizontal. Um outro ímã semelhante, de polaridade desconhecida, indicada por A e T, quando colocado na posição mostrada na figura 1, é repelido para a direita. Quebra-se esse ímã ao meio e, utilizando as duas metades, fazem-se quatro experiências, representadas nas figuras I, II, III e IV, em que as metades são colocadas, uma de cada vez, nas proximidades do ímã fixo.



Experiência I	Experiência II	Experiência III	Experiência IV

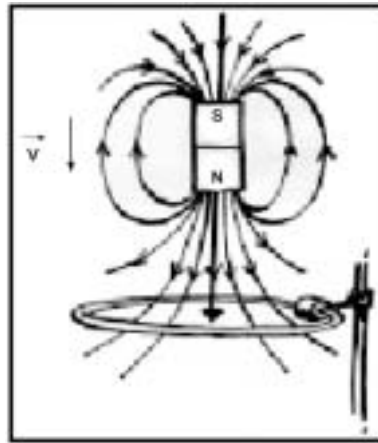
Indicando por “nada” a ausência de atração ou repulsão da parte testada, os resultados das quatro experiências são, respectivamente,

	I	II	III	IV
a)	repulsão	atração	repulsão	atração
b)	repulsão	repulsão	repulsão	repulsão
c)	repulsão	repulsão	atração	atração
d)	repulsão	nada	nada	atração
e)	atração	nada	nada	repulsão

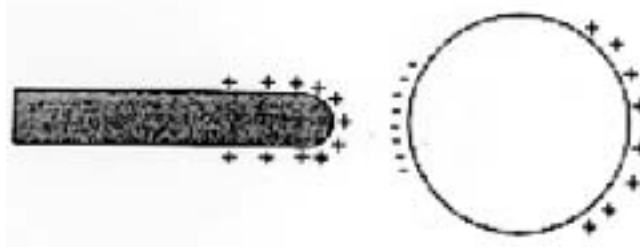
18) (UFRJ - 2001) Um ímã permanente cai por ação da gravidade através de uma espira condutora circular fixa, mantida na posição horizontal, como mostra a figura. O pólo norte do ímã está dirigido para baixo e a trajetória do ímã é vertical e passa pelo centro da espira. Use a lei de Faraday e mostre por meio de diagramas:

- o sentido da corrente induzida na espira no momento ilustrado na figura;
- a direção e o sentido da força resultante exercida sobre o ímã.

JUSTIFIQUE SUAS RESPOSTAS.



19) (UFMG - 1997) Atrita-se um bastão com lã de modo que ele adquira carga positiva. Aproxima-se então o bastão de uma esfera metálica com o objetivo de induzir nela uma separação de cargas. Essa situação é mostrada na figura.



Pode-se então afirmar que o campo elétrico no interior da esfera é

- a) diferente de zero, horizontal, com sentido da direita para a esquerda.
- b) diferente de zero, horizontal, com sentido da esquerda para a direita.
- c) nulo apenas no centro.
- d) nulo em todos os lugares.

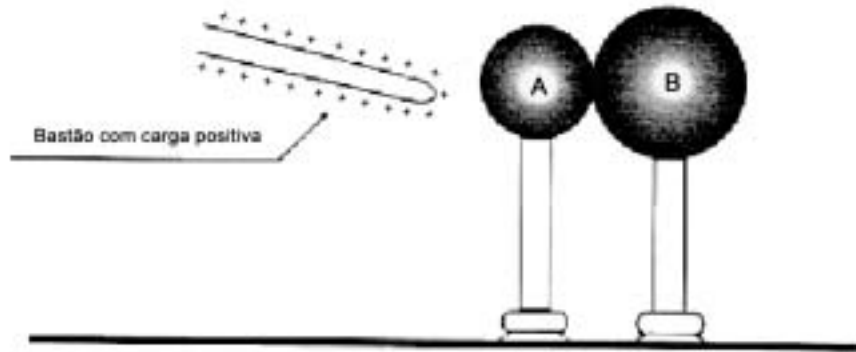
20) (UFMG - 1997) A figura mostra, esquematicamente, as partes principais de uma impressora a jato de tinta. Durante o processo de impressão, um campo elétrico é aplicado nas placas defletoras de modo a desviar as gotas eletrizadas.



Dessa maneira as gotas incidem exatamente no lugar programado da folha de papel onde se formará, por exemplo, parte de uma letra. Considere que as gotas são eletrizadas negativamente. Para que elas atinjam o ponto P da figura, o vetor campo elétrico entre as placas defletoras é melhor representado por:



21) (UFMG - 1997) Duas esferas metálicas de diâmetros diferentes, apoiadas em bases isolantes, estão inicialmente em contato. Aproxima-se delas, sem tocá-las, um bastão carregado positivamente, como mostra a figura. Com o bastão ainda próximo das esferas, a esfera B é afastada da esfera A.



Considerando a situação final, responda às questões abaixo.

1 - CITE os sinais das cargas que as esferas A e B irão adquirir. JUSTIFIQUE sua resposta.

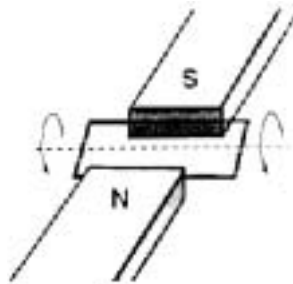
2 - COMPARE o módulo das cargas das esferas. JUSTIFIQUE sua resposta.

22) (UFMG - 1997) Uma pessoa gira uma espira metálica, com velocidade angular constante, na presença de um campo magnético, como mostra a figura. A espira tem resistência elétrica  $R$  e seu movimento é sem atrito.

1 - EXPLIQUE por que, nessa situação, aparece uma corrente elétrica na espira.

2 - Em um determinado momento, a pessoa pára de atuar sobre a espira.

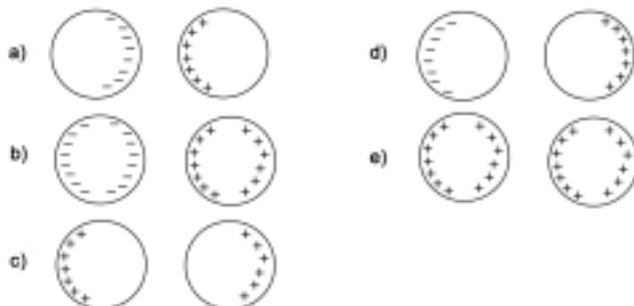
RESPONDA se, após esse momento, a velocidade angular da espira aumenta, diminui ou permanece constante. JUSTIFIQUE sua resposta.



23) Aproximando-se uma barra eletrizada de duas esferas condutoras, inicialmente descarregadas e encostadas uma na outra, observa-se a distribuição de cargas esquematizada na figura ao lado.

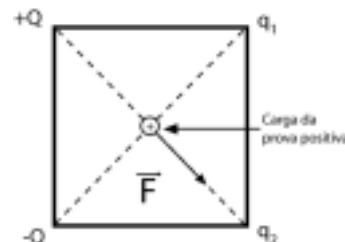


Em seguida, sem tirar do lugar a barra eletrizada, afasta-se um pouco uma esfera da outra. Finalmente, sem mexer mais nas esferas, remove-se a barra, levando-a para muito longe das esferas. Nessa situação final, a figura que melhor representa a distribuição de cargas nas duas esferas é:



24) Quatro cargas pontuais estão colocadas nos vértices de um quadrado. As duas cargas  $+q$  e  $-q$  têm mesmo valor absoluto e as outras duas,  $q_1$  e  $q_2$ , são desconhecidas. Afim de determinar a natureza destas cargas, coloca-se uma carga de prova positiva no centro do quadrado e verifica-se que a força sobre ela é \* mostrada na figura. Podemos afirmar que

- a)  $q_1 > q_2 > 0$
- b)  $q_2 > q_1 > 0$
- c)  $q_1 + q_2 > 0$
- d)  $q_1 + q_2 < 0$
- e)  $q_1 = q_2 > 0$



## Respostas dos exercícios

### UNIDADE 1

- 1 - D
- 2 - B
- 3 - E
- 4 - a) 0,5 A  
b) 240  $\Omega$
- 5 - a)  $1,5 \times 10^2 \Omega$   
b)  $1,25 \times 10^4 \Omega$
- 6 (Fuvest) - 30  $\Omega$
- 7 (Fatec) - A
- 8 (PUC) - E
- 9 - 3,3  $\Omega$
- 10 (Fuvest) - C
- 11 (Fuvest)  
a)  $i = 0,2 \text{ A}$   
b) 15 lâmpadas

12 (PUC) -

Os resistores de 160 (devem ser inseridos em paralelo, oferecendo uma resistência de 80  $\Omega$  que associada em série com a lâmpada de 24  $\Omega$  resulta em uma equivalente de 104  $\Omega$ . A tensão da fonte (26V) no circuito assim constituído faz passar uma corrente de 0,25 A que é a ideal para o funcionamento da lâmpada.

- 13 - B
- 14 (Fatec) - D
- 15 (Fatec) - D
- 16 (Fatec) - E
- 17 (Fatec) - C
- 18 (Fatec) - D

### UNIDADE 2

- 1 (Fuvest) - A
- 2 (Unifesp) -  
a) As cargas acumuladas nas esferas têm a tendência de ser neutralizadas pelo contato com o ar. A tendência natural é a de os ângulos continuarem iguais pois as forças gravitacionais (pesos) e interação com a /terra não se alteram e as elétricas constituem um par de ação e reação, tendo, portanto, a mesma intensidade.  
b)  $2,16 \times 10^{-7} \text{ C}$

3 (Unicamp) -

- a)  $3 \times 10^{-2}$
- b)  $V_x = 6,0 \text{ m/s}$   
 $V_y = 4,0 \text{ m/s}$

4 (UFMG) -

- a)  $E = 3,2 \cdot 10^{-15} \text{ J}$
- b)  $6,2 \cdot 10^{-11} \text{ m}$
- 5 (Fuvest) - E
- 6 (Fuvest 2000) - E
- 7 (Fuvest 2000) - E
- 8 (Fuvest 2001) - B

9 (Fuvest 2001) - D

10 (Fuvest-01) - A

11 (Fuvest-02) - A

12 (Fuvest-04) - E

13 (Fuvest-03) - A

14 (Fuvest-04) - C

15 (Fuvest-98) - E

16 (Fuvest-98) - B

17 (Fuvest-99) - A

18 (UFRJ-01) -

a) A oposição a uma aproximação se dá por meio de uma repulsão, o que leva a uma polaridade induzida no centro da espira com o norte para cima, indicado pelo polegar da mão direita. Com isto, o sentido da corrente induzida é o anti-horário para quem olha de cima.

b)  $F_{\text{res}} = P - F_m$

19 (UFMG-97) - D

20 (UFMG-97) - B

21 (UFMG-97) -

1- Por indução A adquire cargas negativas e B positivas.

2- As cargas serão iguais, pois são advindas de um sistema inicialmente neutro. A densidade superficial destas cargas é que será diferente pois B possui área maior que A.

22 (UFMG-97)

a) Ocorre indução eletromagnética.

b) Depende da posição em que a força deixar de atuar.

23 - A

24 - D

## Bibliografias

ALVARENGA, Beatriz; MÁXIMO, Antônio. *Curso de Física*. Vol. 3, 5. ed., São Paulo: Scipione, 2000.

BONJORNO, CLINTON. *Física História e Cotidiano*. Vol. 3, FTD.

*Ciência Hoje na Escola*. Eletricidade. Vol. 12, São Paulo: Global, 2001, SBPC.

GASPAR, Alberto. *Física-Eletromagnetismo e Física Moderna*. Vol.3, 1. ed., São Paulo: Ática, 2001.

GONÇALVES FILHO, Aurélio; TOSCANO, Carlos. *Física para o ensino médio*. São Paulo: Scipione, 2002. (Série Parâmetros).

GREF (Grupo de Reelaboração do Ensino de Física). MENEZES, Luís Carlos de; HOSOUKE, Yassuko; ZANETIC, João. (Coord.). *Física 3 – eletromagnetismo*. 3. ed. São Paulo: Edusp, 1998.

PEC (programa de educação continuada). *PEB II – Física, Módulo 2*. São Paulo, 2003. Aperfeiçoamento de professores.

## SITES

[www.feiradeciencias.com.br](http://www.feiradeciencias.com.br)

[www.fisicanet.terra.com.br](http://www.fisicanet.terra.com.br)

[www.if.usp.br/gref](http://www.if.usp.br/gref)



## Sobre os autores

### *Luis Paulo Piassi*

Aluno de doutoramento na Faculdade de Educação da USP, bacharel e licenciado em Física e mestre em ensino de ciências pelo Instituto de Física da USP e pela Faculdade de Educação da USP. Trabalhou por oito anos no Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF), onde ministrou diversos cursos de aperfeiçoamento para professores de ensino fundamental e médio. Junto ao GREF produziu diversos textos e materiais didáticos voltados ao ensino médio. Atuou no Programa de Educação Continuada do Governo do Estado de São Paulo e em cursos do programa Prociências. É professor de física, astronomia e tecnologia no ensino fundamental e médio no Colégio Waldorf Micael de São Paulo. Criou e administra a página da internet *Scite – recursos de ensino de ciências* ([www.scite.pro.br](http://www.scite.pro.br)) e desenvolve software educacional para o ensino de ciências. É colaborador da Experimentoteca-Ludoteca do IF-USP.

### *Maxwell Roger da P. Siqueira*

Licenciado em Física pela Universidade Federal de Juiz de Fora – MG (UFJF). Lenciona desde 1997 na rede pública e Minas Gerais e atualmente é docente da rede particular de São Paulo. Mestrando na área de ensino de Ciências, no Instituto de Física da USP. Participa também de projetos e pesquisas vinculados ao laboratório de pesquisa em Ensino de Física da Faculdade de Educação da USP.

### *Maurício Pietrocola*

Licenciado em Física pela USP, mestre em ensino de ciências (modalidade Física) pela mesma Universidade e doutor em História e Epistemologia das Ciências da Universidade de Paris 7 – Denis Diderot. Foi professor secundário de Física e professor do Departamento de Física da UFSC. Secretário de Ensino da Sociedade Brasileira de Física nas gestões 1999-2001 e 2001-2003. Membro dos conselhos editoriais do *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* e da *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência*. É co-autor de livros paradidáticos de Física, da coleção *Física, um outro olhar*, da editora FTD. É atualmente professor doutor da Faculdade de Educação da USP.