



**CPET**

---

Centro de Profissionalização e Educação Técnica

**E-BOOK**

**ELETRICIDADE I**



## APRESENTAÇÃO

Por que as cargas elétricas exercem forças umas sobre as outras? Como podemos quantificar e aplicar os conceitos de carga elétrica e força elétrica? Dois tipos de materiais, como o cobre e a madeira, têm propriedades diferentes; o primeiro é um material condutor, e o segundo é um material isolante – mas o que define isso?

Por fim, é possível alterarmos a quantidade de carga elétrica de um corpo por meio de diferentes processos (por exemplo, por contato). Quais outros processos podem ser utilizados e como funcionam?

A carga elétrica é a propriedade fundamental da matéria, disponível em todos os corpos, tornando-os sensíveis às interações.

Nesta Unidade de Aprendizagem, você estudará a natureza elétrica da matéria, as propriedades de condutores e isolantes e os processos de eletrização.

Bons estudos.

Bons estudos.

**Ao final desta Unidade de Aprendizagem, você deve apresentar os seguintes aprendizados:**

- Compreender a natureza elétrica da matéria.
- Diferenciar as propriedades entre condutores e isolantes.
- Conhecer os processos de eletrização.



## DESAFIO

A carga elétrica é uma propriedade fundamental que compõe todos os materiais. A carga elétrica pode gerar forças em outros corpos, carregados eletricamente ou não.

A principal interação entre as cargas é a lei de atração e repulsão. Cargas de mesmo sinal

tendem a se repelir mutuamente, e cargas de sinais opostos tendem a se atrair, também de forma mútua.

The infographic features a man with a beard and a red plaid shirt standing on the right. A speech bubble above him contains text about a challenge at a party where he must remove papers from a plastic pot without touching them. Below the text is a diagram of a horseshoe magnet with a north pole (+) on the left and a south pole (-) on the right. To the left of the man, there are three illustrations: a yellow bowl containing several white squares (representing paper), a person's arm in a red plaid shirt reaching towards a pink balloon, and a pink balloon floating over the bowl, with the paper squares now attached to it.

**Imagine que você está em uma festa, e um desafio é proposto:** retirar os papéis de dentro de um pote plástico sem tocá-los de nenhuma maneira.

Você é estudante do curso de electromagnetismo e logo percebe como realizar esse desafio. Você pega uma bexiga, atrita-a contra a blusa de lã que veste e a posiciona sobre os papéis, que são atraídos na direção da bexiga.

Explique o princípio físico por trás desse truque. Você deve detalhar o processo de eletrização, indicar os sinais das cargas nos corpos envolvidos (baseando-se na série triboelétrica, que pode ser acessada em [www.infoescola.com/eletrostatica/serie-triboelétrica/](http://www.infoescola.com/eletrostatica/serie-triboelétrica/)) e abordar por que os papéis são “puxados” até a bexiga.

Atenção: quando os papéis encostam na bexiga eletrizada, eles se repelem e caem de volta ao pote. Descreva o que ocorre nessa situação e cite outro exemplo de eletrização, como o mencionado, que acontece em nosso cotidiano.



## INFOGRÁFICO

Acompanhe no infográfico o princípio de atração e repulsão de cargas elétricas, sistema que

deve ser entendido vetorialmente, e o princípio de conservação da carga elétrica: a carga elétrica não se destrói, se transforma.

# ELETROSTÁTICA

Cargas de mesmo sinal se repelem, e cargas de sinais opostos se atraem.

As forças de atração e repulsão são componentes vetoriais que têm intensidade, direção e sentido.



## Antes do contato

3Q

Os dois corpos são idênticos e, antes do contato, têm cargas  $Q_1 = 3Q$  e  $Q_2 = -Q$ .

-Q





## CONTEÚDO DO LIVRO

O principal conceito da eletricidade é a carga elétrica, uma propriedade intrínseca das partículas fundamentais de que é feita a matéria. Essa propriedade está associada ao poder de atração ou repulsão que essas partículas apresentam.

O capítulo aborda a natureza elétrica dos corpos, o modelo atômico proposto para o estudo da eletricidade, a interação entre as cargas elétricas, a quantização de carga elétrica, a carga elétrica elementar, o princípio de conservação da carga, os materiais condutores e isolantes e os processos de eletrização.

Leia o capítulo Conceitos fundamentais da eletrostática, da obra *Eletromagnetismo*, que serve de base teórica para esta Unidade de Aprendizagem.

# ELETROMAGNETISMO

Guilherme  
de Lima Lopes

# Conceitos fundamentais da Eletrostática

## Objetivos de aprendizagem

Ao final deste texto, você deve apresentar os seguintes aprendizados:

- Compreender a natureza elétrica da matéria.
- Diferenciar as propriedades entre condutores e isolantes.
- Conhecer os processos de eletrização.

## Introdução

A carga elétrica é a propriedade fundamental da matéria, disponível em todos os corpos, tornando-os sensíveis a interações. Para iniciarmos nossos estudos, vamos analisar as cargas elétricas em repouso. Porque as cargas elétricas exercem forças umas sobre as outras? Como podemos quantificar e aplicar estes conceitos de carga elétrica e força elétrica? Dois tipos de materiais, como o cobre e a madeira, possuem propriedades diferentes, o primeiro é um material condutor e o segundo é um material isolante, mas o que define isso?

Por fim, é possível alterarmos a quantidade de carga elétrica de um corpo através de diferentes processos, por exemplo por contato, quais outros processos podem ser utilizados e como funcionam? A partir dos conceitos apresentados neste capítulo, você será capaz de responder a estas e outras perguntas.

## Natureza elétrica da matéria

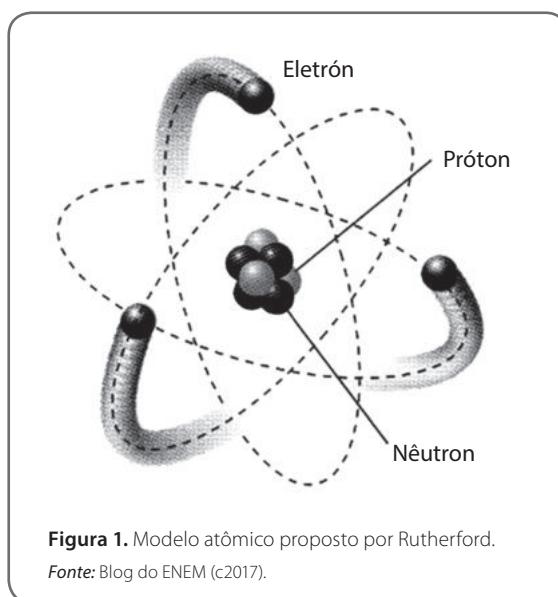
Desde o século XIX, cientistas investigam e propõem explicações sobre a constituição da matéria, ou seja, desenvolvem um modelo atômico.

Um desses modelos atômicos muito utilizados para compreender a natureza elétrica da matéria é o desenvolvido no decorrer do século XX, por Ernest Rutherford (1871-1937), e aperfeiçoado por Niels Bohr (1885-1962). Nesse

modelo, o átomo é formado por partículas menores, como elétrons, prótons e nêutrons.

Na visão de Rutherford e Bohr, os elétrons orbitam o núcleo atômico, no qual dispõem-se os prótons e os nêutrons, formando um agrupamento surpreendentemente coeso. Tal modelo é bastante semelhantemente à representação planetária, onde os astros orbitam o Sol, que analogamente é o núcleo, e os elétrons comportam-se como os astros. A região onde os elétrons encontram-se é definida por eletrosfera.

Esse modelo atômico está representado na Figura 1.



**Figura 1.** Modelo atômico proposto por Rutherford.

*Fonte:* Blog do ENEM (c2017).

Por meio de estudos sobre os fenômenos elétricos, foi possível verificar experimentalmente que prótons e elétrons têm comportamentos elétricos opostos. Por exemplo, se confrontarmos um corpo carregado com alguma dessas cargas, e em determinada circunstância um for atraído, o outro será repelido. Se um for desviado para a direita, o outro será para a esquerda. Essas propriedades estão associadas ao poder de atração ou repulsão que essas partículas apresentam.

Por isso, define-se carga elétrica como uma propriedade intrínseca das partículas fundamentais de que é feita a matéria. Em outras palavras, é uma propriedade associada à própria existência das partículas (HALLIDAY; RESNICK, 2012).

A Eletricidade é baseada nos conceitos de carga elétrica e, assim, ela torna-se tão importante quanto o conceito de massa para a Mecânica.

Em todos os objetos, existe uma imensa quantidade de cargas elétricas, todavia raramente observamos essas propriedades, pois a maioria dos corpos contém quantidades iguais de dois tipos de cargas: as cargas positivas e as negativas.

Quando ocorre essa igualdade, ou esse equilíbrio, de cargas, dizemos que o objeto está eletricamente neutro. Sendo assim, a carga total do corpo é zero. Utilizando o mesmo raciocínio, quando a quantidade de cargas positivas e negativas de um objeto for diferente, a carga total será diferente de zero. Dizemos, assim, que o corpo está eletricamente carregado.

É valido notar que a diferença entre as quantidades de cargas negativas e positivas é sempre muito menor do que as quantidades absolutas dessas cargas em qualquer objeto.

Os corpos eletricamente carregados interagem, exercendo uma força sobre outros corpos.

Você provavelmente já deve ter tomado um choque ao descer do carro. Isso ocorre porque o carro em movimento atrita-se com as moléculas de ar, carregando-se eletricamente. Quando você encosta nele, as cargas elétricas acumuladas são transferidas a você, produzindo a sensação de choque.

Observando esses fenômenos, foi possível determinar a Lei de Atração e Repulsão, ou Lei das Cargas Elétricas, onde partículas com cargas de mesmo sinal repelem-se, e partículas com cargas de sinais diferentes atraem-se.

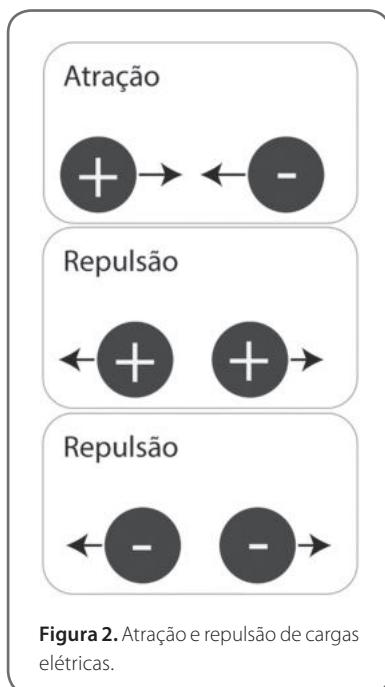
Essas forças são geralmente observadas quando as partículas estão próximas, tendo em vista que a força diminui com o aumento da distância entre as cargas.

Vamos considerar as seguintes situações:

- Dois corpos neutros estão próximos o suficiente para haver atração ou repulsão; não haverá interação entre eles, pois os dois corpos são eletricamente neutros.
- Dois corpos são eletrizados com cargas de sinais opostos e colocados próximos o suficiente para haver atração ou repulsão; nesse caso, haverá uma atração mútua.

- Dois corpos eletrizados com cargas de sinais iguais e próximos o suficiente para haver atração ou repulsão repelem-se reciprocamente.
- Um corpo eletrizado e um outro neutro são colocados próximos o suficiente para haver atração ou repulsão; o corpo eletrizado atrai o neutro.

Tais situações são expressas na Figura 2.



Segundo o modelo de Rutherford-Bohr, elétrons e prótons são as menores partículas integrantes do átomo, e suas cargas elétricas são as menores existentes na natureza.

O próton possui uma massa quase 2 mil vezes maior que a do elétron. Apesar disso, a quantidade de carga elétrica dos dois é igual, em valor absoluto. Este valor absoluto foi definido como carga elétrica elementar, simbolizado por “e”, cujo valor foi encontrado de forma experimental, pela primeira vez, pelo físico estadunidense Robert Andrews Millikan (1868-1953), por meio da experiência que levou seu nome, a Experiência de Millikan.



## Saiba mais

### A Experiência de Millikan

A fim de determinar o valor da carga do elétron, Robert Millikan avaliou o comportamento de gotículas de água eletrizadas submetidas à força peso e força elétrica, que atuavam simultaneamente.

Millikan borrou gotículas eletrizadas entre duas placas carregadas com sinais contrários (+ e -), localizadas no interior de um recipiente com vácuo. Consequentemente, as gotículas foram submetidas à força peso e à elétrica. As cargas da placa estavam reguladas de modo que as gotículas ficassesem em equilíbrio. Nessa situação, a força elétrica e a força peso são iguais em módulo. Com esse procedimento, pode-se igualar as forças e, assim, calcular a quantidade de carga presente em uma gotícula (VÁLIO et al., 2016).

Um elétron tem uma carga que vale  $-e$ , e um próton tem carga  $+e$ , ou seja, ambos possuem cargas iguais à carga elétrica elementar, porém com sinais opostos.

A quantidade de carga  $Q$  de qualquer corpo ou objeto corresponde à quantidade total de elétrons que esse corpo recebeu ou doou em relação ao seu estado eletricamente neutro. Para calculá-la, multiplicamos a quantidade de elétrons em ganhados ou cedidos pelo valor absoluto da carga elementar:

$$Q = \pm n \cdot e \quad (n \in \mathbb{Z})$$

O sinal da carga elétrica indicará o estado de eletrização do corpo e, a partir dele, obtemos as seguintes conclusões:

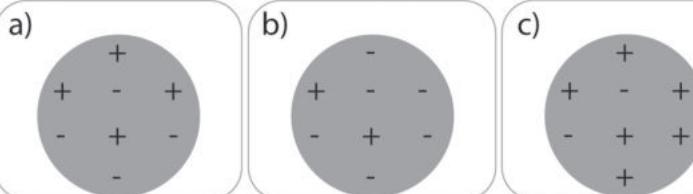
- Se o corpo tiver carga positiva (+), quer dizer que o número de prótons será maior que o de elétrons; portanto, o corpo perdeu elétrons em relação ao estado eletricamente neutro.
- Se o corpo tiver carga negativa (-), significa que o número de elétrons é maior que o número de prótons; portanto, o corpo ganhou elétrons em relação ao estado eletricamente neutro.

Vamos considerar um corpo neutro: se este perder elétrons, ele ficará carregado positivamente; e se ganhar elétrons, ficará eletrizado negativamente.

Observe que tratamos a eletrização como o acúmulo ou a falta de elétrons, pois eles são partículas eletrizadas presentes em todos os átomos e que podem mover-se pela eletrosfera com maior facilidade que os prótons presos ao núcleo.

Contudo, não há impedimento para ocorrer a eletrização por recebimento ou doações de partículas elétricas positivas, como, por exemplo, no acréscimo de íons de prata ( $\text{Ag}^+$ ) em uma solução iônica, sob condições específicas.

A Figura 3 representa corpos eletricamente neutro, eletrizado negativamente e eletrizado positivamente.



**Figura 3.** Corpo a) eletricamente neutro, b) eletrizado negativamente e c) eletrizado positivamente.

A soma algébrica das quantidades de carga elétrica contidas em um sistema eletricamente isolado (que não realiza trocas de carga) é uma constante. Isso constitui o *princípio de conservação de cargas elétricas*.

Vamos considerar inicialmente três objetos,  $A, B$  e  $C$ , eletrizados e com cargas elétricas de  $Q_A$ ,  $Q_B$  e  $Q_C$ , respectivamente. Após terem realizado transferências de cargas entre si, em um sistema eletricamente isolado, adquirem os seguintes valores de cargas:  $Q'_A$ ,  $Q'_B$  e  $Q'_C$ .

Segundo o *princípio de conservação de cargas*, temos:

$$Q_A + Q_B + Q_C = Q'_A + Q'_B + Q'_C \rightarrow \sum Q_{\text{antes}} = \sum Q_{\text{depois}}$$

Note que, no decorrer dos processos de eletrização, os elétrons não são criados e nem destruídos; eles são apenas trocados entre um corpo e outro, conforme estabelece o princípio de conservação de cargas.



## Exemplo

Três corpos carregados com  $Q_1 = 2\mu C$ ,  $Q_2 = -4\mu C$  e  $Q_3 = 6\mu C$ , encontram-se em um sistema eletricamente isolado. Depois de algumas trocas de cargas entre eles, os corpos 2 e 3 ficaram com cargas  $Q'_2 = -2\mu C$  e  $Q'_3 = 3\mu C$ . Pede-se o seguinte:

1. Determine a carga final do corpo 1 ( $Q'_1$ ).
2. O corpo 1 cedeu ou recebeu elétrons? Calcule o número de elétrons do corpo 1 após as transferências.
3. Após a troca de cargas, haverá atração ou repulsão entre os corpos 1 e 3? Explique.

### Resolução:

1. Pelo princípio de conservação de cargas elétricas, temos:

$$\begin{aligned}\sum Q_{\text{antes}} &= \sum Q_{\text{depois}} \\ Q_1 + Q_2 + Q_3 &= Q'_1 + Q'_2 + Q'_3 \\ 2\mu C + (-4\mu C) + 6\mu C &= Q'_1 + (-2\mu C) + 3\mu C \\ 4\mu C &= Q'_1 + 1\mu C \\ Q'_1 &= 3\mu C\end{aligned}$$

2. A quantidade de carga transferida pelo corpo 1 é dada por:

$$\begin{aligned}\Delta Q_1 &= Q'_1 - Q_1 \\ \Delta Q_1 &= 3\mu C - 2\mu C \\ \Delta Q_1 &= 1\mu C\end{aligned}$$

Para calcular o número de elétrons envolvidos nessas trocas, temos:

$$\begin{aligned}\Delta Q_1 &= n \cdot e \\ 1\mu C &= n \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} C \\ n &= 6,25 \cdot 10^{12} \text{ elétrons}\end{aligned}$$

3. Após as trocas de cargas,  $Q'_1 = +3\mu C$  e  $Q'_3 = +3\mu C$ , portanto, segundo o princípio de atração e repulsão de cargas elétricas, cargas de mesmo sinal repelem-se.

## Propriedades de condutores e isolantes

As características dos condutores e dos isolantes (não condutores) devem-se à estrutura e às propriedades elétricas dos átomos.

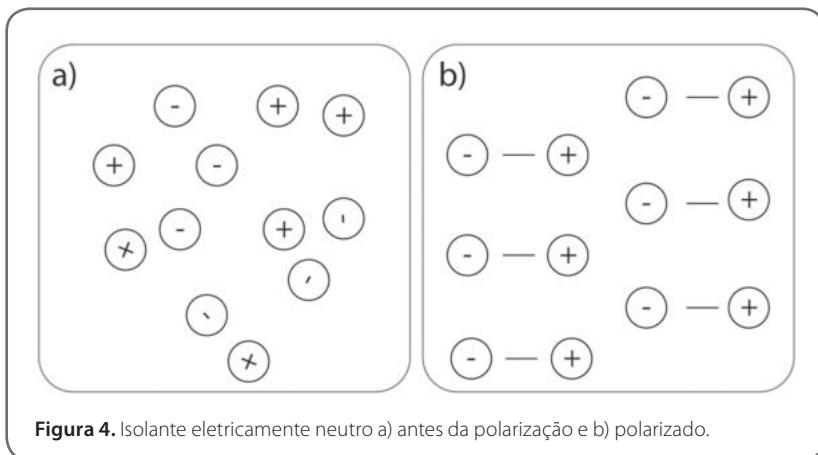
Os materiais podem ser classificados conforme a facilidade com a qual as cargas elétricas deslocam-se no seu interior. Temos, então:

- Nos **condutores** — como os metais, o grafite, as soluções eletrolíticas, os gases ionizados, o corpo humano, a superfície da Terra, entre outros —, as cargas elétricas movem-se com facilidade.
- Nos **não condutores**, ou isolantes ou dielétricos — como o ar seco, a água pura, o vidro, o plástico, a seda, a lã, o enxofre, a parafina, a madeira, a cortiça, a borracha, entre outros —, as cargas não se movem.
- Os **semicondutores** — como o germânio, o silício, entre outros — têm propriedades elétricas ora iguais aos dos condutores e ora iguais aos dos isolantes.
- Os **supercondutores** são condutores perfeitos, ou seja, materiais nos quais as cargas deslocam-se sem qualquer resistência.

Durante a formação de um sólido de material condutor, elétrons que estão mais afastados do núcleo — estando, portanto, mais fracamente atraídos — tornam-se livres e vagam pelo material. Esse processo gera átomos positivamente carregados, íons positivos. A facilidade de ceder ou receber elétrons livres uns dos outros faz com que conduzam eletricidade. Esses elétrons livres recebem o nome de **elétrons de condução**. Os materiais isolantes possuem um número muito reduzido, ou mesmo nulo, de elétrons de condução.

Os materiais condutores são assim chamados por conduzirem eletricidade — e mesmo que os materiais dielétricos não conduzam eletricidade, eles podem ser eletrizados. Geralmente isso ocorrerá em duas situações:

1. Um material isolante permanece com a carga elétrica localizada na região em que recebeu ou doou elétrons. Essa região atuará como um polo positivo ou negativo e exerceirá atração ou repulsão sobre corpos com os quais interagir.
2. Ao submeter-se a forças elétricas externas, substâncias não condutoras formadas de moléculas polares podem orientar-se no interior do dielétrico. Dessa maneira, o objeto ainda permanece eletricamente neutro, tendo em vista que sua carga total permanece nula, porém agora estará polarizado e poderá atrair ou repelir outros objetos devido às polaridades que o corpo apresentará (Figura 4).



**Figura 4.** Isolante eletricamente neutro a) antes da polarização e b) polarizado.

## Processos de eletrização

Um corpo é eletricamente neutro quando as quantidades de prótons e elétrons contidas nele forem iguais. Um corpo onde há excesso de uma dessas partículas, dizemos que está eletrizado.

Existem diferentes processos para eletrizar corpos neutros, que são: eletrização por contato, eletrização por atrito e eletrização por indução.

Na **eletrização por contato**, no mínimo, um dos corpos deve estar previamente eletrizado. Os corpos são aproximados, fazendo com que ocorra o contato entre eles, acarretando, assim, na transferência de carga. É importante entender que, na eletrização por contato, os corpos ficam com cargas do mesmo sinal que o objeto previamente eletrizado.

Esse processo de eletrização por contato está representado na Figura 5.

a)



Atração

b)



Repulsão

**Figura 5.** Eletrização por contato, onde a) os corpos atraem-se antes do contato e b) os corpos repelem-se depois do contato.



### Fique atento

Se o objeto eletrizador A e o eletrizado B forem esféricos e de mesmo material, com raios  $R_A$  e  $R_B$  diferentes, parte da carga do corpo A é transferida para o corpo B, obedecendo à proporcionalidade dos raios das esferas. Dessa forma, a relação entre as quantidades de cargas dos corpos ( $Q'_A$  e  $Q'_B$ ) após o contato será proporcional aos seus raios, ou seja:

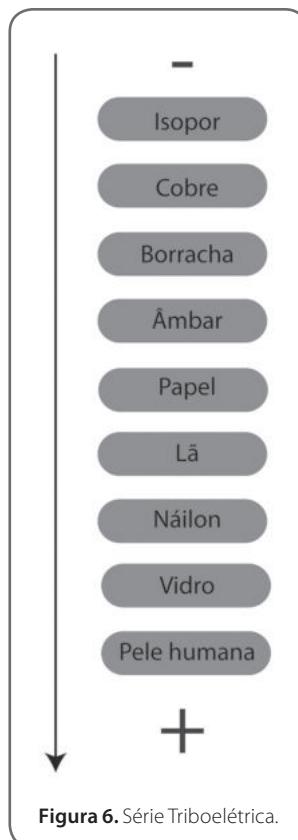
$$\frac{Q'_A}{Q'_B} = \frac{R_A}{R_B}$$

Particularmente quando temos duas esferas iguais, de mesmo material e mesmo raio, depois de realizado o contato, cada uma delas terá metade da quantidade de carga total que havia antes do contato.

**A eletrização por atrito** dá-se quando atritamos dois corpos de materiais diferentes, podendo ocasionar trocas de elétrons entre os objetos envolvidos. Após o atrito, um dos corpos estará carregado negativamente, pois recebeu elétrons do outro objeto. Consequentemente, o segundo corpo, que cedeu os elétrons, ficará eletrizado positivamente.

Esse tipo de eletrização pode ser facilmente demonstrado da seguinte maneira: atrite uma régua plástica em uma folha de caderno repetidamente e em um único sentido; separe pequenos pedaços de papel picado (eletricamente neutros) e aproxime a régua deles; você verá que os pedaços de papel são atraídos para a régua, comprovando que o objeto está carregado e eletrizado pelo processo de atrito.

Nesse tipo de eletrização, ao final do processo, os corpos adquirem cargas de sinais opostos. A fim de determinar qual dos corpos cederá e qual receberá elétrons, devemos consultar a Série Triboelétrica, conforme a Figura 6.



**Figura 6.** Série Triboelétrica.

A Série Triboelétrica informa o material que ficará eletrizado negativamente e o que será carregado positivamente.

Os materiais à esquerda ficaram carregados negativamente e os mais à direita eletrizaram-se positivamente.

Assim, se atritarmos um isopor contra nossa pele, supondo que os dois corpos estão electricamente neutros, a pele humana cederá elétrons ao isopor. Sendo assim, o isopor ficará carregado negativamente e a pele, positivamente.

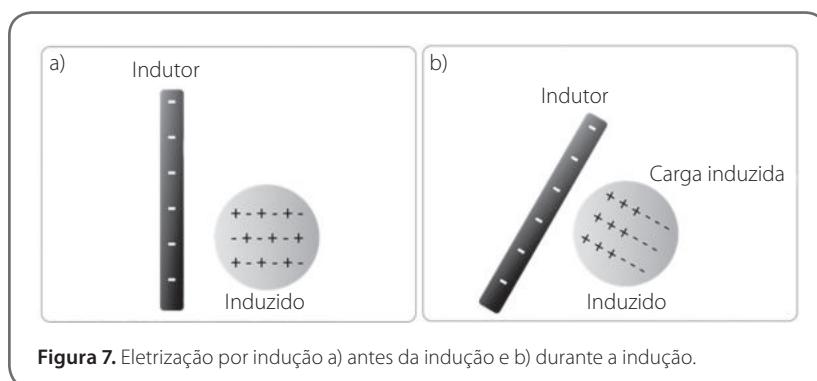
A eletrização por atrito acontece devido aos elétrons dos materiais, que estão mais fracamente ligados aos núcleos — elétrons mais afastados —, serem transferidos para o outro material. Sobre a eletrização por atrito, ainda é importante considerar os seguintes fatos:

- Nem sempre é possível eletrizar dois corpos por atrito. Por exemplo, quando atritamos dois corpos de mesmo material, poderá não acontecer a troca de elétrons entre eles.
- Na eletrização por atrito de corpos não condutores ou isolantes, o excesso de cargas permanecerá localizado na região do corpo onde ocorreu o atrito, semelhante ao ocorrido na eletrização por contato.
- Na eletrização por atrito de materiais condutores, as cargas distribuir-se-ão por toda a sua superfície. Tal fenômeno ocorre devido à repulsão das cargas elétricas no interior do material, fazendo, assim, com que as cargas fiquem o mais distante possível umas das outras.
- Para manter um corpo eletrizado, é necessário isolá-lo, utilizando, por exemplo, um material dielétrico como apoio.

Na eletrização por indução, é possível eletrizar um corpo neutro sem a necessidade de encostar dois corpos, seja por atrito ou contato.

Quando um condutor eletrizado, chamado de *indutor*, é aproximado de um condutor neutro, denominado “*induzido*”, ocorre uma indução eletrostática, ou seja, a separação de cargas no corpo neutro. Aproximando os corpos sem contato, ocorrerá uma movimentação de cargas no *induzido*.

A eletrização por indução está representada na Figura 7.



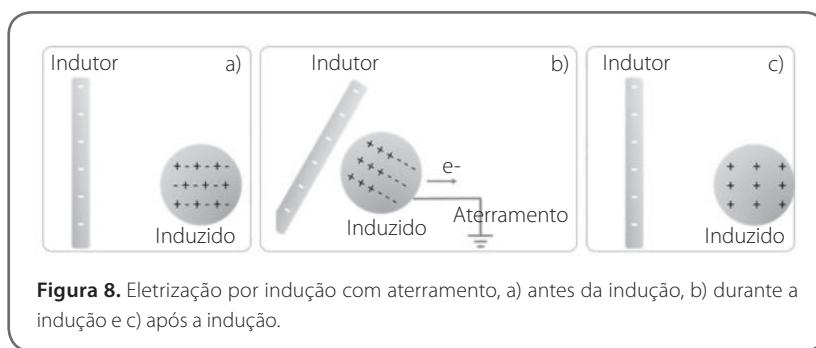
**Figura 7.** Eletrização por indução a) antes da indução e b) durante a indução.

A seguir, na Figura 8, está apresentada uma situação específica com indução eletrostática, em que é colocado um fio no condutor induzido, ligando-o ao solo. A essa ligação dá-se o nome de “aterramento”, pois possibilita o deslocamento de cargas através do fio condutor à Terra. Quando a carga de um objeto é neutralizada pela retirada do excesso de cargas negativas ou positivas através do solo, dizemos que o objeto foi descarregado.

O solo, por ser um corpo muito extenso, geralmente pode ser tratado como um corpo infinito em relação à maioria dos objetos, o que significa que a distribuição não altera em nada as propriedades dele, e, portanto, pode comportar-se doando ou recebendo elétrons. Sendo assim, a carga no induzido depende somente do indutor e tem sinal contrário à sua carga.

A eletrização por indução é temporária, ocorrendo enquanto o indutor estiver suficientemente próximo ao induzido. Para que o corpo permaneça eletrizado após a retirada do indutor, é necessário que ocorra o aterramento. Assim, ao final de uma eletrização por indução, os corpos envolvidos adquirem cargas de sinais opostos, assim como no processo de eletrização por atrito.

Note ainda que esse processo de eletrização dá-se em condutores, pois, em isolantes, as cargas elétricas movimentam-se pouco ou não no interior do objeto.





## Referências

BLOG DO ENEM. *Modelos atômicos e partículas: a estrutura do átomo – química ENEM.* [S.l.]: Blog do ENEM, [c2017]. Disponível em: <<https://blogdoenem.com.br/modelos-atomaticos-particulas-quimica-enem/>>. Acesso em: 19 jan. 2018.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Fundamentos de física*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. (Eletromagnetismo, v. 3).

VÁLIO, A. B. M. et al. *Ser protagonista: Física*. 3. ed. São Paulo: Edições SM, 2016. v. 3.

## Leituras recomendadas

BAUER, W.; WESTFALL, G.; DIAS, H. *Física para universitários*. Porto Alegre: AMGH, 2012. (Eletricidade e Magnetismo, v. 3).

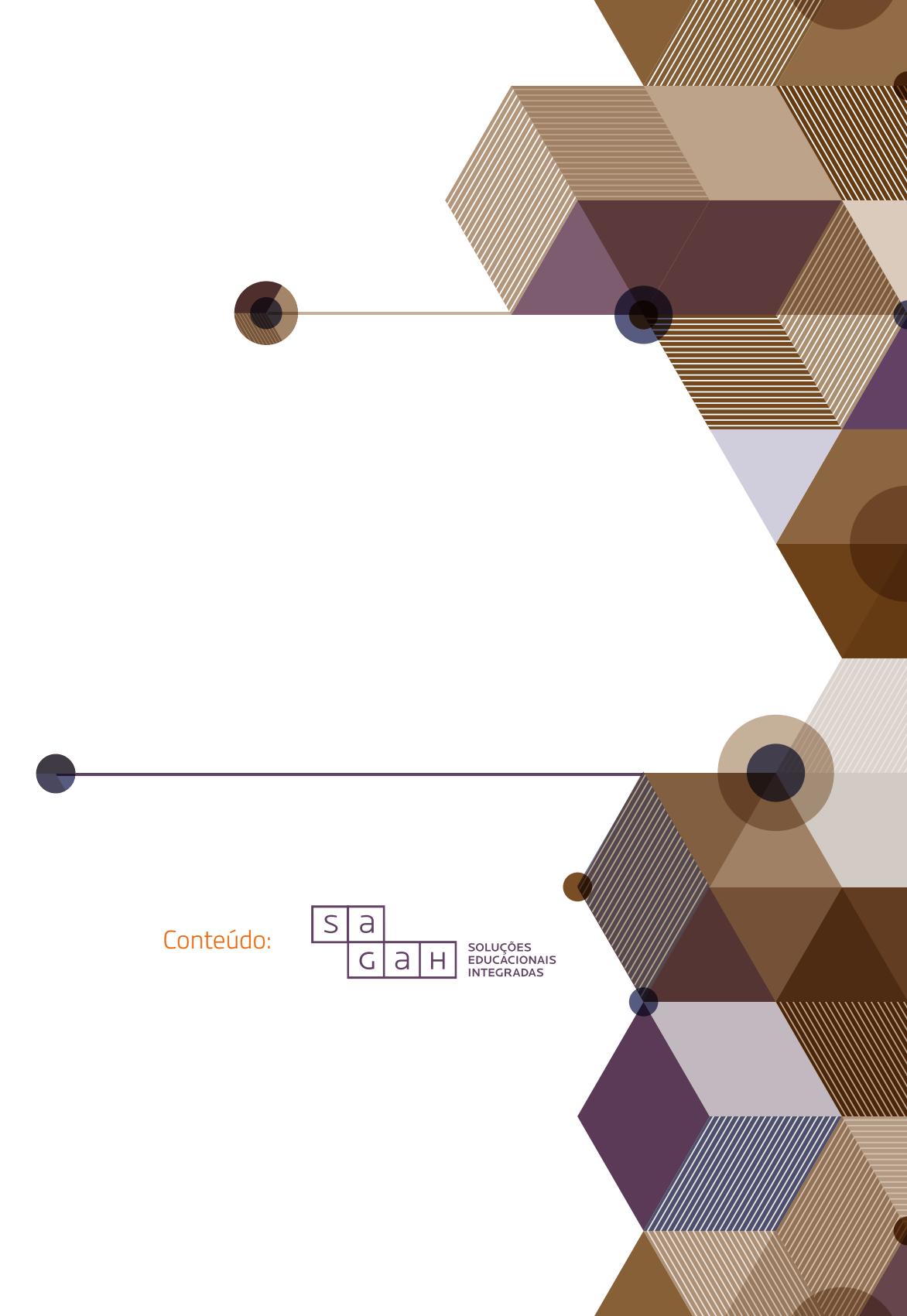
FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T.; FOGO, R. *Física básica*. 3. ed. São Paulo: Atual, 2009.

YAMAMOTO, K.; FUKE, L. F. *Física para o ensino médio*. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2017. (Eletricidade e Física Moderna, v. 3).

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. *Física III: eletromagnetismo*. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2012.

**Encerra aqui o trecho do livro disponibilizado para esta Unidade de Aprendizagem. Na Biblioteca Virtual da Instituição, você encontra a obra na íntegra.**





Conteúdo:



SOLUÇÕES  
EDUCACIONAIS  
INTEGRADAS



## DICA DO PROFESSOR

Acompanhe no vídeo da Dica do Professor alguns experimentos sobre eletrização. Alguns desses experimentos podem ser realizados facilmente em casa, outros exigem equipamentos mais específicos. Veja também como ocorre a formação de raios e como funciona o gerador de Van Der Graaff – e por que ele deixa as pessoas de cabelos em pé.

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!



## EXERCÍCIOS

- 1) **Após a eletrização de uma esfera condutora, ela fica com carga elétrica positiva de valor igual a  $6,4 \mu\text{C}$ . A carga elementar vale  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . Podemos concluir que a esfera contém:**
  - A) a)  $4,0 \cdot 10^{13}$  prótons.
  - B) b)  $4,0 \cdot 10^{13}$  elétrons.
  - C) c) uma falta de  $4,0 \cdot 10^{13}$  elétrons.
  - D) d) um excesso de  $4,0 \cdot 10^{13}$  elétrons.
  - E) e) uma falta de  $4,0 \cdot 10^{13}$  prótons.
- 2) **Um bebê está aprendendo a engatinhar. Para que a criança não se machuque, sua mãe estende um tapete de borracha, como mostra a figura.**



Ao engatinhar, a criança atrita sua pele com o tapete repetidamente. Quando sua mãe vai pegá-la, ocorre uma transferência de elétrons e uma sensação de choque.

Em relação ao processo de eletrização, assinale a alternativa correta.

- A) a) O processo descrito é a eletrização por atrito, no qual o corpo do bebê recebe elétrons do tapete.
- B) b) O processo descrito é a eletrização por atrito, no qual o tapete fica carregado positivamente.

- C) c) O processo descrito é a eletrização por contato, no qual o corpo do bebê fica carregado positivamente.
- D) d) O processo descrito é a eletrização por contato, no qual o tapete doa elétrons ao bebê.
- E) e) O processo descrito é a eletrização por atrito, no qual o corpo do bebê doa elétrons ao tapete.
- 3) Os materiais podem ser classificados conforme a facilidade com que as cargas elétricas se deslocam no seu interior. Sendo assim, podemos definir os condutores como materiais nos quais as cargas elétricas se movem com facilidade, e os isolantes como materiais nos quais as cargas não se movimentam.

**Assinale a alternativa que apresenta corretamente um exemplo de material condutor e material isolante, respectivamente:**

- A) a) Corpo humano e seda.
- B) b) Borracha e ar seco.
- C) c) Grafite e alumínio.
- D) d) Lã e parafina.
- E) e) Madeira e gases ionizados.
- 4) Um corpo é eletricamente neutro quando a quantidade de prótons e elétrons nele forem iguais. Num corpo onde há excesso de uma dessas partículas, dizemos que está eletrizado. Sobre a eletrização de um corpo, analise as afirmativas a seguir:

**I. Um corpo carregado pode repelir um corpo neutro.**

**II. Um corpo neutro cede elétrons a outro corpo; nessa condição, ele ficará carregado positivamente.**

**III. O fenômeno da indução eletrostática consiste na separação de cargas no induzido pela presença do indutor eletrizado.**

**IV. Ao colocar dois corpos em contato, um eletrizado positivamente e um eletricamente neutro, ambos ficam carregados positivamente.**

**V. Atritando-se uma linha de náilon a um pedaço de papel, ambos inicialmente neutros, eles se eletrizam com cargas iguais.**

**Estão corretas:**

- A) a) Apenas I e III.
  - B) b) Apenas II e III.
  - C) c) Apenas II e V.
  - D) d) Apenas II, III e IV.
  - E) e) Apenas I, IV e V.
- 5) Em um experimento de física, um aluno tem quatro esferas idênticas, pequenas e condutoras denominadas por A, B, C e D. As esferas A, B e C foram eletrizadas previamente e estão com cargas de  $Q_A=10Q$ ,  $Q_B=2Q$  e  $Q_C=-4Q$ . A esfera D está inicialmente neutra.  
A esfera A é posta em contato com a esfera B. Em seguida, após a separação dos corpos, a esfera A é colocada em contato com a esfera C. Por fim, após a separação dos corpos, a esfera A entra em contato com a esfera D.

**Ao final desses processos, a carga final das esferas A, B, C e D será, respectivamente:**

- A) a)  $Q/2$ ,  $6Q$ ,  $Q$  e  $Q/2$ .

B) b)  $0, -4Q, 2Q$  e  $10Q$ .

C) c)  $6Q, 6Q, -4Q$  e  $0$ .

D) d)  $Q, 6Q, Q$  e  $0$ .

E) e)  $4Q, 4Q, 0$  e  $Q$ .



## NA PRÁTICA

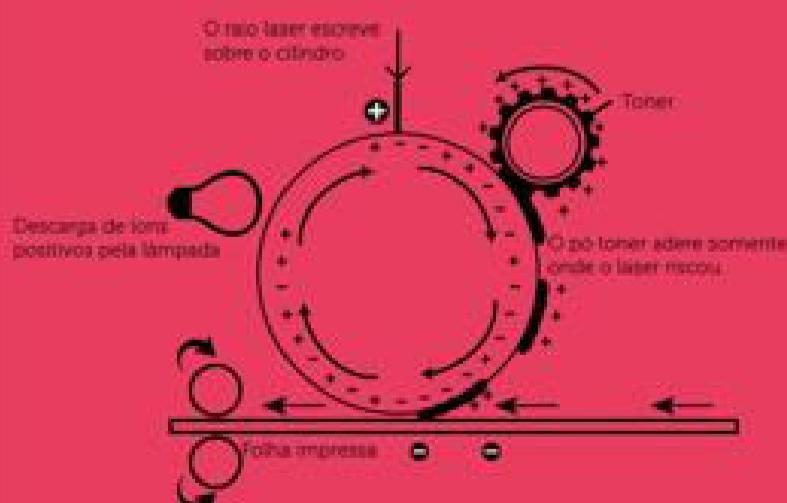
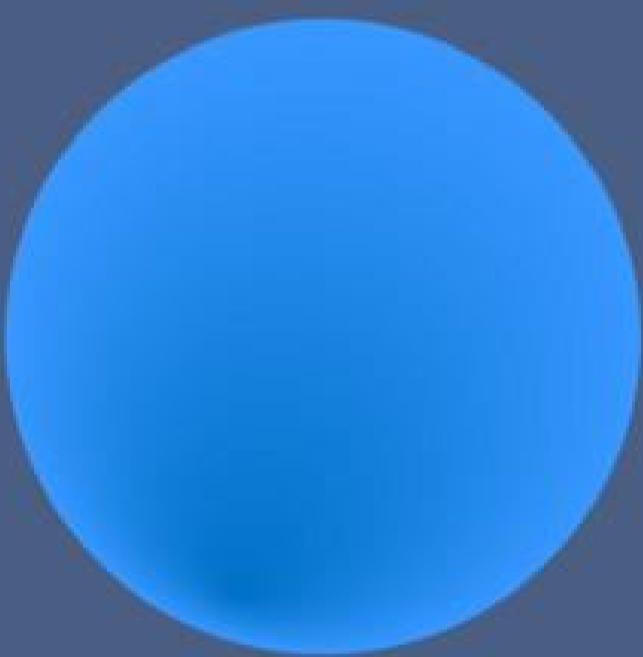
Entender a natureza elétrica dos corpos e as cargas elétricas com suas interações nos permitiu desenvolver diversas aplicações industriais para a eletrostática, desde sistemas de proteção contra descargas atmosféricas até o recolhimento de cinzas volantes em chaminés. Veja o exemplo de uma impressora a laser, uma aplicação com que nos deparamos diariamente e cujos conceitos por trás não reconhecemos:

Diversas são as aplicações industriais para os fenômenos de atração e repulsão entre corpos eletricamente carregados, como a pintura eletrostática, a xerografia, etc.



As impressoras a laser são um bom exemplo de aplicação tecnológica das forças entre objetos eletrizados.

A figura mostra uma partícula de plástico usada em fotocopiadoras. Essa partícula é coberta por partículas ainda menores de toner, que por sua vez são mantidas na superfície da partícula de plástico por forças eletrostáticas.



Inicialmente, o cilindro fotossensível da impressora recebe uma carga positiva.

Quando o cilindro gira, um raio laser ilumina as áreas selecionadas do cilindro, deixando-as com carga negativa.

As partículas com carga positiva do toner aderem somente às áreas do cilindro "escritas" a laser.

Quando uma folha de papel entra em contato com o cilindro, as partículas de pó aderem à folha, reproduzindo a imagem.



## SAIBA MAIS

Para ampliar o seu conhecimento a respeito desse assunto, veja abaixo as sugestões do professor:

### **Telepatia do palito (experiência de eletrostática)**

**Experimentos em forma de truques e desafios são comuns para ensinar conceitos de física de forma lúdica. O vídeo mostra um truque de telepatia que envolve conceitos de eletrostática.**

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!

### **Aprenda a fazer uma máquina de choques caseira**

**O vídeo mostra o processo de construção de uma máquina de choques caseira, e nos ajuda a entender a eletrização por atrito e como as cargas elétricas se distribuem em condutores e isolantes.**

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!



# Revisão de Grandezas Elétricas Básicas I



## APRESENTAÇÃO

Nesta Unidade de Aprendizagem, estudaremos as eletricidades estática e dinâmica, tensão, corrente, resistência elétrica e suas correlações. Identificaremos a diferença entre corrente contínua e corrente alternada.

Bons estudos.

**Ao final desta Unidade de Aprendizagem, você deve apresentar os seguintes aprendizados:**

- Definir eletricidade estática e dinâmica.
- Explicar a diferença entre corrente contínua e corrente alternada.
- Diferenciar corrente, tensão e resistência e relacioná-las.



## DESAFIO

Com uma fonte de tensão contínua, como uma bateria automotiva ou outra fonte de alimentação, coloque fios nos terminais negativo e positivo. Pegue uma esponja de aço e encoste os fios dentro da esponja, com uma separação de alguns centímetros. Quanto maior a tensão, melhor o efeito.

Você vai notar que a esponja de aço vai incendiar.

Com os conceitos de tensão, corrente e resistência, explique o porquê da combustão.

- Atenção! Tenha cuidado! O ideal é realizar esse experimento em locais abertos e longe de materiais inflamáveis. Há risco de incêndio.



## INFOGRÁFICO

Veja na ilustração o esquema do que veremos nesta Unidade referente ao entendimento dos

conceitos de carga, corrente, tensão, resistência elétrica e a diferença entre tensão contínua (CC) e alternada (CA).

The infographic is divided into four main sections:

- Elétrons no átomo**: An illustration of an atom showing electrons (blue dots) orbiting a central nucleus (green sphere). A yellow arrow points from this section to the central title.
- ELETRICIDADE ESTÁTICA - CARGA ELÉTRICA EM REPOUSO**: A central orange shield-shaped graphic containing the text "ELETRICIDADE ESTÁTICA - CARGA ELÉTRICA EM REPOUSO".
- Eletricidade estática pode gerar faiscas**: An image of two fingers touching, with a small blue spark visible between them.
- Eletricidade Dinâmica - Carga Elétrica em movimento**: An illustration of a red light bulb connected to a circuit, with a blue wavy line representing current flow.
- Analogia Hidráulica**: The text "Analogia Hidráulica: a pressão hidráulica equivale à tensão elétrica, a vazão equivale à corrente e a resistência hidráulica equivale à resistência elétrica".
- Tensão Continua CC e Alternada CA**: The text "Continua: pilhas, baterias, eletrônicos" and "Alternada: geração e transmissão de energia, transformadores e redes".
- Imagens complementares**: A black car battery and a hand plugging a power cord into a wall outlet.



## CONTEÚDO DO LIVRO

Leia o capítulo Revisão de Grandezas Elétricas Básicas I que faz parte da obra *Eletrotécnica* e é a base teórica desta Unidade de Aprendizagem.

Boa leitura.

# ELETROTÉCNICA

Diogo Braga da  
Costa Souza



S719e Souza, Diogo Braga da Costa.  
Eletrotécnica [recurso eletrônico] / Diogo Braga da Costa Souza, Rodrigo Rodrigues. – Porto Alegre : SAGAH, 2017.

Editado como livro em 2017.  
ISBN 978-85-9502-055-9

1. Eletrotécnica. 2. Engenharia elétrica. I. Rodrigues, Rodrigo. II. Título.

CDU 621.3

# Revisão de grandezas elétricas básicas I

## Objetivos de aprendizagem

Ao final deste texto, você deve apresentar os seguintes aprendizados:

- Definir eletricidade estática e dinâmica.
- Explicar a diferença entre corrente contínua e corrente alternada.
- Diferenciar corrente, tensão e resistência e relacioná-las.

## Introdução

Neste capítulo, você vai conhecer mais sobre os seguintes conceitos e aplicá-los: as eletricidades estática e dinâmica, a tensão, a corrente, a resistência elétrica e as suas correlações. Você também vai identificar a diferença entre corrente contínua e corrente alternada.

## Eletricidade

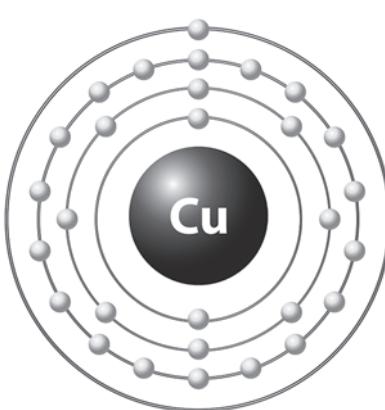
O elemento fundamental dos sistemas elétricos é o átomo e suas divisões. Assim, você precisa compreender a estrutura deste elemento para entender plenamente o funcionamento dos circuitos elétricos.

O átomo possui em seu núcleo prótons e nêutrons. Ao redor do seu núcleo, em movimento, estão os elétrons divididos em camadas da chamada **eletrosfera**. As partes do átomo possuem cargas elétricas: o próton possui carga positiva; o nêutron, carga neutra; e o elétron, carga negativa. Os prótons e os elétrons possuem o mesmo módulo de carga elétrica, denominado **carga elementar**, dado em coulomb com valor de (BOYLESTAD, 2011):

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

O equilíbrio de carga elétrica acontece nos átomos elementares, ou em qualquer molécula que possua a mesma quantidade de prótons e elétrons. Veja

um exemplo na Figura 1: um átomo de cobre que possui o mesmo número de prótons, elétrons e nêutrons, 29.



**Figura 1.** Átomo de cobre.

Fonte: BlueRingMedia / Shutterstock.com.

Quando há alteração no número de elétrons de um átomo, seu equilíbrio deixa de existir: este átomo obtém carga elétrica. A **perda** de elétrons o torna um átomo com carga **positiva**; a **obtenção** de mais elétrons o torna um átomo com carga **negativa**. Para que essa carga alcance valores maiores em aplicações reais, essa movimentação de elétrons acontece em moléculas com vários átomos associados.

A variação de carga em um átomo acontece pela perda ou obtenção de elétrons, sendo que o valor de prótons e nêutrons em um átomo não varia. Essa mudança da quantidade de elétrons em um átomo é denominada **eletrização** e ocorre por meio de três métodos:

- **Eletrização por atrito:** em que ocorre o atrito de dois corpos e este obtém cargas de mesmo valor em módulo, mas sinais contrários.
- **Eletrização por contato:** que ocorre quando há o contato entre corpos e um ou os dois corpos estão carregados, sendo que eles trocam cargas até que haja uma distribuição.
- **Eletrização por indução eletrostática:** em que ocorre alteração no posicionamento das cargas elétricas de um corpo devido à presença de um campo elétrico próximo a ele.

Após o processo de eletrização, o corpo adquire uma nova carga elétrica, que é calculada pela diferença entre o número de elétrons e prótons vezes a carga elementar:

$$Q = n \cdot e$$

Onde:

$Q$  = é a carga elétrica do corpo;

$n$  = é o valor da diferença entre o número de elétrons e de prótons no átomo;

$e$  = é a carga elementar e tem o valor de  $1,6 \cdot 10^{-19}$ .

## Eletrostática

O estudo do comportamento das cargas elétricas em repouso é denominado eletrostática. Quando um corpo é carregado, surge ao seu redor um campo elétrico, sendo este relativo à seguinte expressão:

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

Onde:

$E$  = é a intensidade do campo elétrico ao redor do corpo dada em Newtons por Coulomb ( $N/C$ ).

$K$  = é a constante elétrica do meio que separa as cargas ( $K_{(\text{vácuo})} = 9 \cdot 10^9 N \frac{m^2}{C^2}$ ).

$Q$  = é a carga elétrica do corpo em coulombs ( $C$ ).

$d$  = é a distância entre os corpos em metros ( $m$ ).

O campo elétrico proporcionado por um corpo carregado possui diferentes potenciais elétricos de acordo com a distância: quanto mais distante o campo elétrico estiver do corpo carregado, menor será o módulo do potencial elétrico.

Superfícies que se localizam a mesma distância do corpo carregado estão submetidas ao mesmo potencial, sendo então denominadas **superfícies equipotenciais** (MARKUS, 2001).

O potencial é calculado pela expressão:

$$V = \frac{Ep}{Q}$$

Onde:

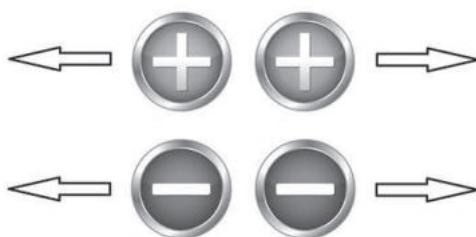
$V$  = é o potencial elétrico ao redor do corpo dado em Volts ( $V$ ).

$Ep$  = é a energia potencial, medida em joules ( $J$ ).

$Q$  = é a carga elétrica medida em Coulombs (C).

O princípio fundamental é a repulsão e a atração de cargas elétricas, o que acontece seguindo duas máximas:

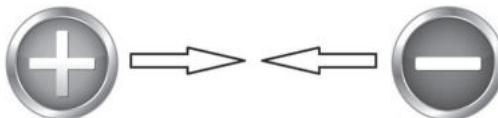
- Duas cargas com cargas elétricas iguais se repelem.



**Figura 2.** Repulsão de cargas de mesma polaridade elétrica.

Fonte: Adaptada de Titov Nikolai/ Shutterstock.com

- Duas cargas com cargas elétricas opostas se atraem.



**Figura 3.** Atração de cargas de polaridade elétrica contrária.

Fonte: Adaptada de Titov Nikolai/ Shutterstock.com

A intensidade das forças de atração e repulsão pode ser determinada pela lei de Coulomb:

$$F = K \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$$

Onde:

$F$  = é a força de interação entre as cargas em Newtons (N).

$K$  = é a constante elétrica do meio que separa as cargas ( $K_{(\text{vácuo})} = 9 \cdot 10^9 N\frac{m^2}{C^2}$ ).

$Q_1$  = é a carga elétrica do primeiro corpo em coulombs (C).

$Q_2$  = é a carga elétrica do segundo corpo em coulombs (C).

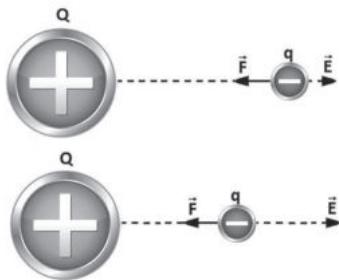
$d$  = é a distância entre os corpos em metros (m).

## Eletrodinâmica

A eletrodinâmica se refere ao estudo das cargas elétricas em movimento, e explica o princípio de funcionamento dos circuitos elétricos (MARKUS, 2001).

As cargas se movimentam quando uma força elétrica incide sobre elas. Essa força existe quando há um campo elétrico no meio onde o elétron se localiza. Esse movimento das cargas é descrito por duas máximas:

- Uma carga negativa submersa em um campo elétrico positivo se aproxima da carga positiva geradora do campo.

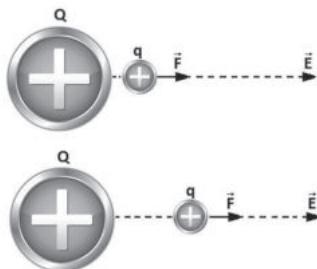


**Figura 4.** Movimento de uma carga negativa submersa em um campo elétrico positivo.

Fonte: Adaptada de Titov Nikolai/Shutterstock.com

Assim, as cargas negativas se deslocam de um menor potencial para um maior potencial.

- Uma carga positiva submersa em um campo elétrico positivo se distancia da carga positiva geradora do campo.



**Figura 5.** Movimento de uma carga positiva submersa em um campo elétrico positivo.

**Fonte:** Adaptada de Titov Nikolai/Shutterstock.com

Sendo assim, as cargas positivas se deslocam de um maior potencial para um menor potencial.

Com essas características de movimentação de cargas elétricas, para que ocorra o deslocamento de qualquer carga elétrica em um meio condutor, é necessário que haja variação no potencial elétrico, a qual é denominada **diferença de potencial ou ddp**.



### Fique atento

A corrente elétrica se torna existente no circuito quando há interligação de uma ddp ao circuito, de forma a criar uma movimentação dos elétrons nos seus condutores.

## Grandezas elétricas

O funcionamento dos circuitos elétricos tem como base a aplicação de potencial elétrico em cargas por meio de condutores de energia elétrica. Com isso, a

carga absorve a energia elétrica do circuito e a transforma em outro tipo de energia para utilização.

## Tensão elétrica

A tensão elétrica é a força de impulso aplicada aos elétrons livres presentes nos condutores do circuito. Quando esta força é aplicada a um caminho fechado de condução, a movimentação de elétrons se inicia.

A tensão elétrica, também denominada diferença de potencial, possui como unidade o volt (V) e é definida pelo potencial de entrega de trabalho a um circuito. A ddp de 1 volt equivale a possível troca de 1 joule de energia por um deslocamento de 1 coulomb de carga elétrica (BOYLESTAD, 2011):

$$V = \frac{W}{Q}$$

Onde:

$V$  é a tensão elétrica entre dois pontos do circuito em Volts (V).

$W$  é a energia entregue em joules (J).

$Q$  é a carga elétrica deslocada em coulombs (C).

## Corrente elétrica

Conforme vimos, as cargas submersas em campos elétricos tendem a se deslocar em relação aos potenciais do campo elétrico, sendo esse o princípio da corrente elétrica. Para que ocorra a movimentação de cargas elétricas, é necessário um caminho que permita esse deslocamento, isto é, um bom condutor elétrico.

Para a área da física, a corrente elétrica é o movimento ordenado de cargas energizadas que surge quando potenciais elétricos diferentes são aplicados em um determinado meio que possua íons ou elétrons livres. Já para as aplicações de energia elétrica, a corrente elétrica é o fluxo ordenado de elétrons em um determinado condutor elétrico (BOYLESTAD, 2011).

A Figura 6 representa um circuito onde ocorre a passagem de corrente elétrica: observe que uma bateria alimenta o circuito, há a aplicação de diferença de potencial, e um condutor permite a passagem de corrente elétrica.



**Figura 6.** Circuito elétrico simples.

*Fonte:* Adaptada de BlueRingMedia/Shutterstock.com

O valor de corrente elétrica de um circuito é definido pela quantidade de carga, em Coulombs, que passa em uma seção imaginária de referência em um segundo, conforme ilustrado na Figura 7. Isso é estabelecido na seguinte expressão:

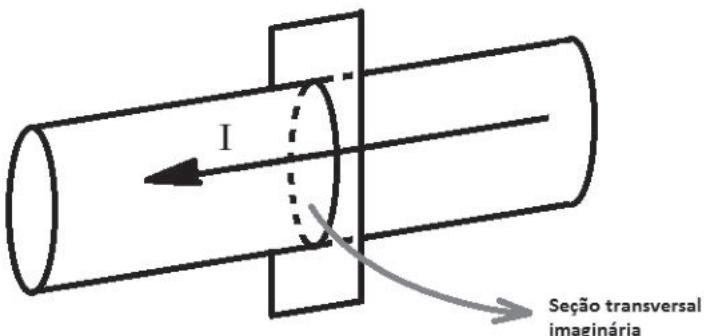
$$I = \frac{Q}{t}$$

Onde:

$I$  = é a intensidade de corrente elétrica em ampères (A).

$Q$  = é a quantidade de carga elétrica que atravessou ordenadamente a seção em Coulombs (C).

$t$  = é o tempo em segundos (s).



**Figura 7.** Corrente elétrica em um condutor elétrico.

Fonte: Adaptada de Boylestad (2011, p. 25).

## Resistência elétrica

A resistência elétrica é a grandeza que representa a capacidade do elemento de se opor à passagem da corrente elétrica. Até os melhores condutores de eletricidade possuem resistência elétrica, embora com valores bem baixos (BOYLESTAD, 2011).

Essa grandeza também relaciona a tensão e a corrente em circuitos elétricos. Essa relação é descrita pela primeira lei de Ohm, expressa por:

$$I = \frac{V}{R}$$

Onde:

$I$  = é a intensidade de corrente elétrica em ampères (A).

$V$  = é a tensão elétrica aplicada no circuito em volts (V).

$R$  = é a resistência total do circuito dada em ohms ( $\Omega$ ).

Com essa relação da lei de Ohm, fica evidente que, em uma resistência fixa, a relação entre **tensão e corrente é proporcional**.

Veja um exemplo.



## Exemplo

Vamos fazer uma analogia entre um circuito elétrico e o sistema hidráulico de uma caixa d'água em uma determinada altura, conforme o exemplo da figura abaixo. A altura da caixa d'água proporciona uma energia potencial à agua que está no seu interior, assemelhando-se à tensão elétrica. No caso da abertura de um caminho para uma altura menor, a água escoará. Os tubos são o caminho da passagem da água, funcionando como os condutores elétricos. A válvula impede ou permite a passagem de água, assim como a resistência do circuito, que é quem regula a intensidade da corrente que passa por ele.

Neste exemplo, como a altura da caixa é constante, a energia potencial também é, semelhante a um circuito alimentado por uma bateria de tensão constante. Quando a válvula começa a ser aberta, há a permissão da passagem da água, transformando a energia potencial contida no fluido em energia cinética, de movimento. Quanto maior for a abertura da válvula, maior será a quantidade de água que escoa. Na analogia com o circuito elétrico, quando há uma redução da resistência, há uma elevação na intensidade da corrente elétrica do circuito (MARKUS, 2001).



Exemplo hidráulico para grandezas elétricas.

Fonte: Fixe1502/Shutterstock.com



### Saiba mais

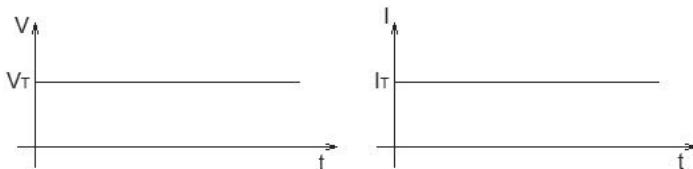
Uma bateria possui tensão elétrica para alimentação do circuito. Quando ela se encontra desligada, sem caminho condutor para a passagem de corrente elétrica, existe um desequilíbrio entre cargas: o polo positivo se encontra com uma grande falta de carga positiva, e o polo negativo, com um excesso dessa carga. Quando surge um caminho de passagem de corrente elétrica, ocorre uma tendência de equilíbrio entre as cargas elétricas da bateria, causando o deslocamento de elétrons do polo negativo para o polo positivo (BOYLESTAD, 2011).

## Corrente contínua x corrente alternada

Você já deve ter notado que algumas aplicações utilizam corrente contínua, e outras, corrente alternada. No entanto, em qualquer uma delas, há a absorção de energia elétrica pelas cargas, e daí a possibilidade de realização de trabalho por elas.

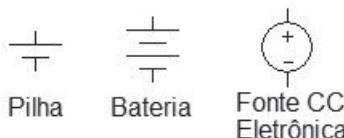
### Corrente contínua

A corrente contínua consiste em circuitos onde não há alteração do sentido da corrente, como na Figura 8, em que a corrente é fornecida por fontes de tensão contínua, como pilhas e baterias. Estes tipos de fonte nunca variam a polaridade do potencial de seus terminais: o terminal positivo sempre está positivo, e o negativo, sempre negativo (MARKUS, 2001). Abreviamos a corrente contínua como CC (ou, em inglês, DC, que significa *Direct Current*).



**Figura 8.** Gráficos de tensão e corrente CC.

Fonte: Adaptada de Markus (2001, p. 17).

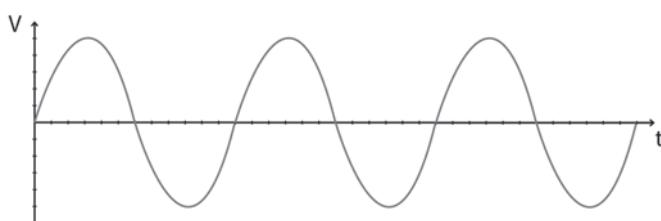


**Figura 9.** Símbologia das fontes de alimentação de corrente contínua.

## Corrente alternada

A corrente alternada consiste em circuitos nos quais o sentido de circulação da corrente varia, pois os polos de alimentação se alternam entre positivo e negativo, como representado na Figura 10. Abreviamos a corrente alternada como CA (ou, em inglês, AC, que significa *Alternate Current*). Esse tipo de corrente é fornecido por fontes de corrente alternada, como em geradores CA, os quais fornecem tensão senoidal, que alimentam residências e fábricas (MARKUS, 2001). As frequências da corrente alternada possuem valores de 50 e 60 Hz. Você sabia que no Brasil utilizamos 60 Hz como frequência da rede?

Esse tipo de energia é utilizado pela sua flexibilidade (pois níveis de tensão podem ser alterados com mais facilidade do que nos sistemas CC) e pela eficiência dos geradores trifásicos CA.



**Figura 10.** Gráficos de tensão CA.

Fonte: Adaptada de teerawat chitprung / Shutterstock.com

A análise de circuitos CA é diferente da de circuitos CC, pois não é possível a utilização de uma tensão fixa para o cálculo nesse tipo de circuito. Assim, a equiparação da tensão CA com a tensão CC ocorre por meio da tensão RMS CA, a qual é obtida pela expressão:

$$V_{RMS} = \frac{V_{MÁX}}{\sqrt{2}}$$

Onde:

$V_{RMS}$  é a tensão eficaz para corrente CA em volts (V).

$V_{MÁX}$  é a tensão máxima da senoide dada em volts (V).

A tensão RMS CA equivale ao mesmo valor de tensão CC aplicada a uma resistência realizando o mesmo trabalho, ou seja, com o mesmo aquecimento.

### Saiba mais

Para saber mais sobre os circuitos de corrente alternada, consulte o livro *Fundamentos de Circuitos Elétricos* (ALEXANDER; SADIQU, 2013).



### Exercícios

1. Qual é a unidade da carga elétrica?  
 a) Ampère.  
 b) Volt.  
 c) Ohm.  
 d) Coulomb.  
 e) Watt.
2. Para que exista uma corrente elétrica em um condutor, é necessário que:  
 a) Exista potência elétrica.  
 b) Exista uma diferença de potencial (tensão).  
 c) Exista resistência elétrica.  
 d) Exista reatância elétrica.  
 e) A corrente elétrica não circule em condutores.
3. A unidade da corrente elétrica é:  
 a) Watt.
4. A maior ou menor resistência em um circuito elétrico irá determinar:  
 b) Volts.  
 c) Ampère.  
 d) Ohm.  
 e) Joule.
5. Qual é a unidade de resistência elétrica?  
 a) Volts.  
 b) Coulomb.  
 c) Ampére.  
 d) Watt.  
 e) Ohm.



## Referências

ALEXANDER, C. K.; SADIQU, M. N. O. *Fundamentos de circuitos elétricos*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

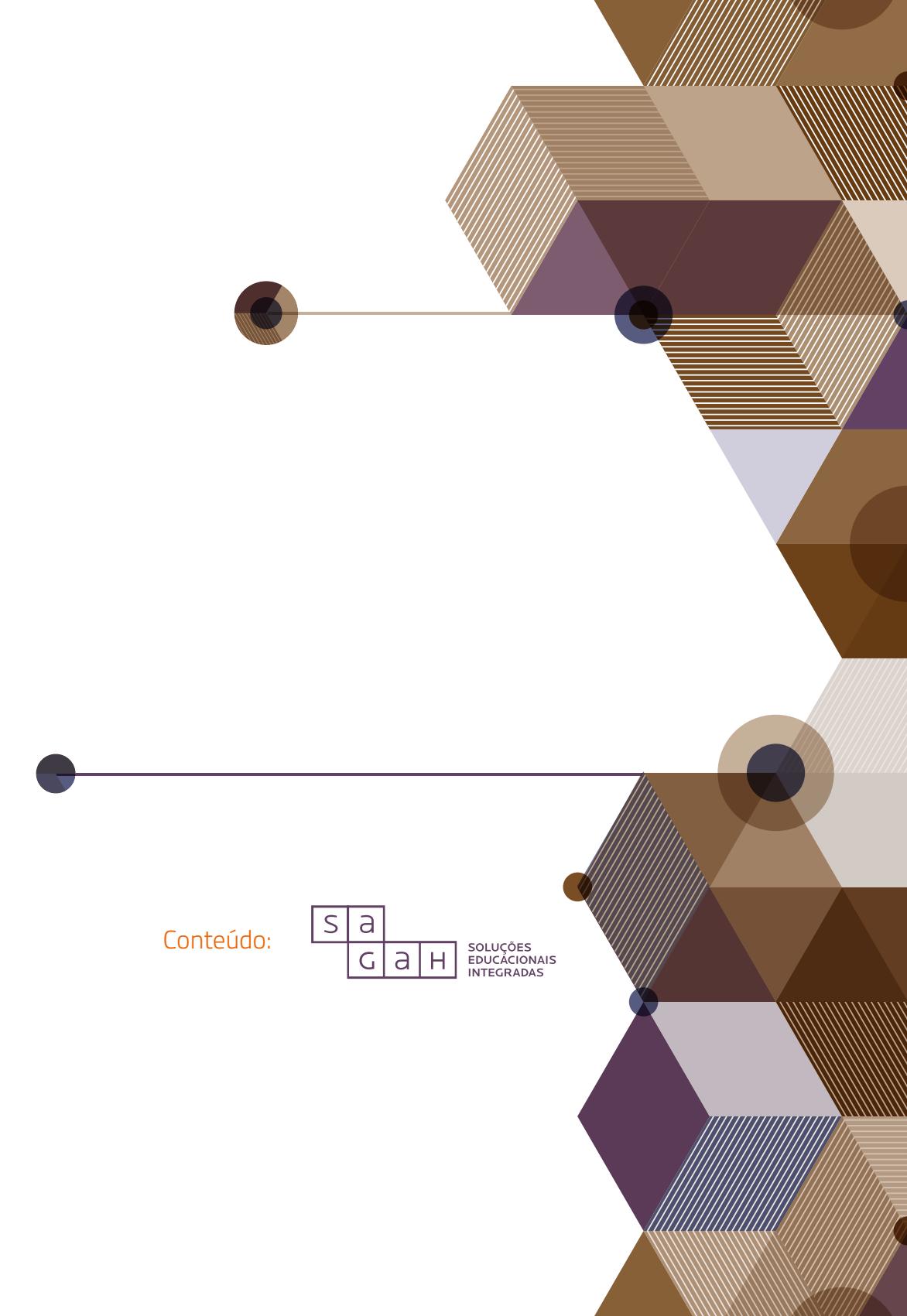
BOYLESTAD, R. L. *Introdução à análise de circuitos*. 10. ed. São Paulo: Pearson Education, 2011.

MARKUS, O. *Circuitos elétricos: corrente contínua e corrente alternada*. São Paulo: Érica, 2001.

## Leitura recomendada

NILSSON, J.; RIELDEL, S.; *Circuitos elétricos*. 8. ed. São Paulo: Pearson Education, 2009.

Encerra aqui o trecho do livro disponibilizado para esta Unidade de Aprendizagem. Na Biblioteca Virtual da Instituição, você encontra a obra na íntegra.



Conteúdo:



SOLUÇÕES  
EDUCACIONAIS  
INTEGRADAS



## DICA DO PROFESSOR

A carga elétrica em movimento constitui-se na corrente elétrica, que necessita de uma diferença de potencial (tensão) para acontecer. A resistência à passagem da corrente elétrica é que vai definir a própria corrente elétrica.

Para entender melhor, podemos fazer uma analogia hidráulica, baseando-se em um reservatório com pressão e tubulação de descida. A pressão hidráulica equivale à tensão elétrica, a vazão hidráulica equivale à corrente elétrica e a resistência hidráulica equivale à resistência elétrica. Quanto maior a resistência, menor a corrente.

**Vamos acompanhar mais detalhes no vídeo.**

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!



## EXERCÍCIOS

**1) Qual a unidade da carga elétrica?**

A) Ampére.

B) Volt.

C) Ohm.

D) Coulomb.

E) Watt.

**2) Para que exista uma corrente elétrica em um condutor, é necessário que:**

- A) Existe potência elétrica.
- B) Existe uma diferença de potencial (tensão).
- C) Existe resistência elétrica.
- D) Existe reatância elétrica.
- E) A corrente elétrica não circula em condutores.

**3) A unidade da corrente elétrica é:**

- A) Watt.
- B) Volts.
- C) Ampére.
- D) Ohm.
- E) Joule.

**4) A maior ou menor resistência em um circuito elétrico irá determinar:**

- A) Menor ou maior corrente elétrica.
- B) Maior potência.
- C) Maior tensão.

D) Menor carga elétrica.

E) Menor reatância elétrica.

5) Qual a unidade de resistência elétrica?

A) Volts.

B) Coulomb.

C) Ampére.

D) Watt.

E) Ohm.



NA PRÁTICA

Aprenda um pouco mais!



Em instalações elétricas prediais, é necessário o correto dimensionamento da bitola dos fios para os vários circuitos. Circuitos de maior potência elétrica demandam fios com bitolas maiores, e vice-versa. Nas capitais, a tensão em corrente alternada é, normalmente, 127 Volts; no interior, é 220 Volts.

Em estados mais ao Sul, onde é mais frio e os chuveiros demandam maior potência e consomem maior corrente elétrica, os dispositivos de proteção como disjuntores devem ser calculados e dimensionados para cada tipo de corrente exigida e consumida.

O chuveiro elétrico terá circuito especial, com disjuntor e fiação adequada para a alta corrente de consumo. Circuitos de menor consumo, como iluminação, demandam menores correntes e necessitam de fios mais finos. Usando as relações de corrente, tensão e resistência, podemos dimensionar adequadamente a fiação elétrica e os dispositivos de segurança.



## SAIBA MAIS

Para ampliar o seu conhecimento a respeito desse assunto, veja abaixo as sugestões do professor:

### Análise de Circuitos Elétricos com Aplicações

### Corrente contínua e alternada

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!

# Revisão de Grandezas Elétricas Básicas

## II



### APRESENTAÇÃO

Nesta unidade, estudaremos tensão, corrente, resistência, potência e energia elétrica, e aprenderemos como fazer a medição dessas grandezas físicas.

Bons estudos.

**Ao final desta Unidade de Aprendizagem, você deve apresentar os seguintes aprendizados:**

- Definir as grandezas corrente, tensão, resistência, potência e energia elétrica e indicar a unidade de medida de cada uma delas.
- Identificar as partes essenciais de um circuito e estabelecer a função de cada uma delas.
- Construir procedimentos para medições de corrente, tensão, resistência e potência.



### DESAFIO

Elaboramos uma atividade com estudo de caso que vai lhe guiar no caminho do conhecimento. Cabe a você encontrar a melhor forma de resolver o desafio.

Explore o conteúdo e pesquise. Use todas as ferramentas disponíveis para solucionar o problema.

Vivemos uma crise mundial de produção de energia elétrica. Existe o risco de "apagões", no futuro, se a produção de energia não aumentar na proporção do aumento de consumo. O uso racional de energia é fundamental.

No que diz respeito à iluminação, temos, no mercado, lâmpadas incandescentes que têm baixo rendimento e grande aquecimento. Também dispomos de lâmpadas compactas fluorescentes, que têm maior rendimento e menor consumo energético. Atualmente, temos também a lâmpada LED, feita com diodos semicondutores de luz, com grande rendimento e menor consumo energético.

As lâmpadas incandescentes têm baixo custo e alto consumo, além de durarem cerca de 1.000 horas. As lâmpadas fluorescentes compactas têm médio custo e consumo, e também duram cerca de 1.000 horas. As lâmpadas LED têm maior custo inicial, menor consumo e vida útil de 20.000 horas.



## INFOGRÁFICO

Veja, na ilustração, um esquema do que veremos nesta unidade - conceitos de tensão, corrente, resistência e potência, suas correlações e como fazer as medições dessas grandezas físicas.

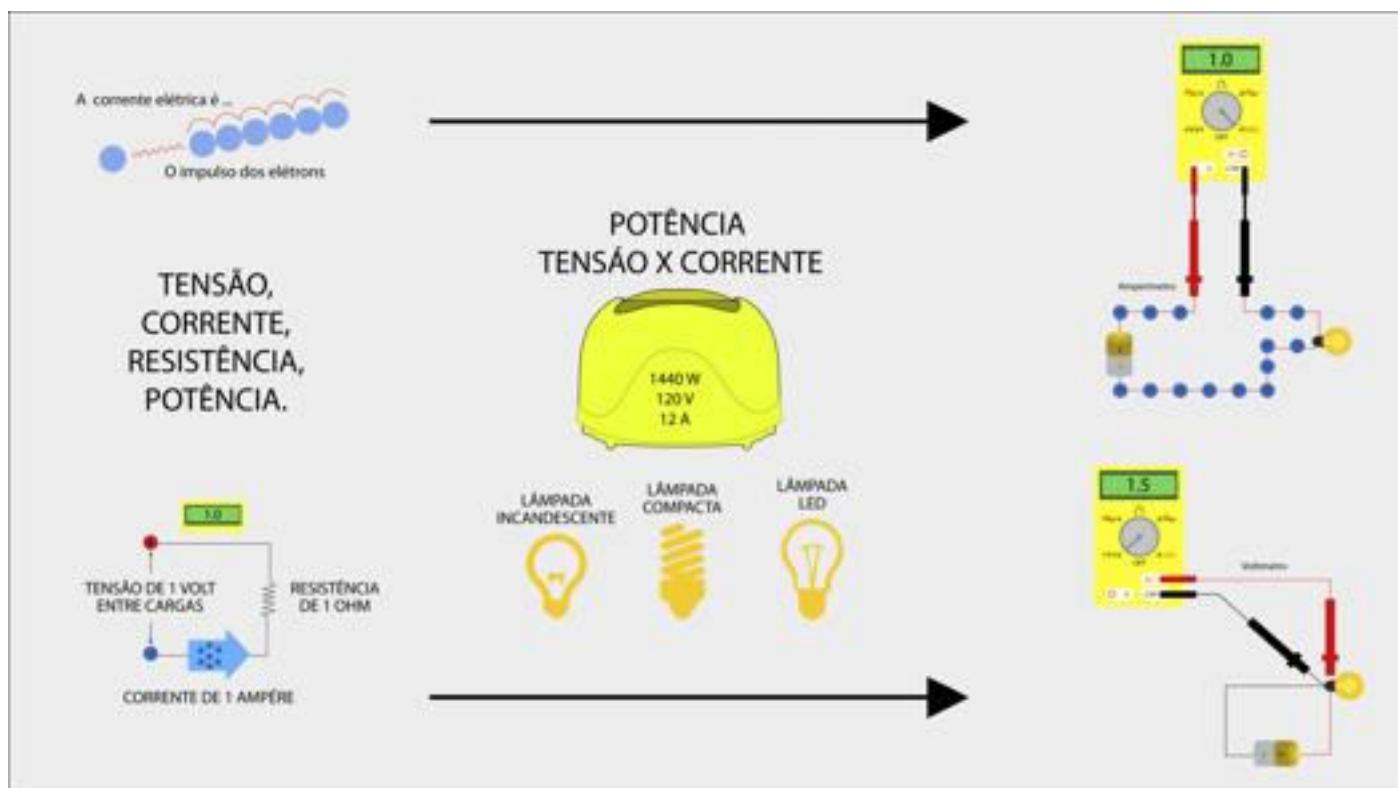


Figura 1



## CONTEÚDO DO LIVRO

Os conceitos de tensão, corrente, resistência e potência elétrica podem ser encontrados no capítulo Revisão de Grandezas Elétricas Básicas II, da obra *Análise de circuitos elétricos*. Esse livro serve de base teórica para essa unidade de aprendizagem.

**Boa leitura!**

# ANÁLISE DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

A photograph showing three students in a classroom setting. A young man with dark skin and curly hair is leaning over a table, looking down at a tablet device. To his right, a young woman with long brown hair is also looking at the tablet. In the background, another student is visible, though slightly out of focus. The table is covered with various items, including papers, a calculator, and what appears to be a small electronic component or model. The lighting is warm and focused on the students and their work.

Jordana Leandro  
Seixas



# Revisão de grandezas elétricas básicas II

## Objetivos de aprendizagem

Ao final deste texto, você deve apresentar os seguintes aprendizados:

- Definir as grandezas corrente, tensão, resistência, potência e energia elétrica e respectivas unidades de medida.
- Identificar as partes essenciais de um circuito e sua função.
- Construir procedimentos para medições de corrente, tensão, resistência e potência.

## Introdução

Os circuitos elétricos são geralmente compostos por elementos passivos, como resistores, indutores e capacitores, alimentados por uma fonte independente de tensão ou de corrente. É na análise destes circuitos que normalmente calculamos o valor da tensão, corrente ou potência elétrica. Dessa forma, é de extrema importância conhecer as grandezas que fazem parte do universo dos circuitos elétricos, assim como as suas unidades. As grandezas mais utilizadas em circuitos são: corrente elétrica, tensão, resistência, potência e energia elétrica.

Neste capítulo, você vai estudar as grandezas corrente, tensão, resistência, potência e energia elétrica e vai conhecer as unidades de medida de cada uma delas.

## As grandezas e suas unidades de medida

Em geral, um circuito elétrico é baseado em um modelo composto por elementos ideais, como uma bateria ou uma lâmpada elétrica. O componente ideal utilizado no modelo deve representar o comportamento do componente elétrico real com um grau de precisão aceitável (NILSSON, 2009). A capacidade de

modelar sistemas elétricos reais com elementos ideais de circuitos torna a teoria de circuitos muito útil para os engenheiros. Dessa forma, com a interconexão de elementos ideais de circuitos, podemos analisar o comportamento de um sistema, descrevendo a interconexão por meio de equações matemáticas. Para que as equações matemáticas sejam úteis, devemos escrevê-las em termos de grandezas mensuráveis. Tratando-se de circuitos, essas grandezas são tensão e corrente. Basicamente, o estudo da análise de circuitos envolve compreender o comportamento de cada elemento ideal de circuito em termos de sua tensão e de sua corrente.

As grandezas mais utilizadas em circuitos elétricos, juntamente com suas unidades e seus símbolos, são apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1.** Grandezas mais utilizadas em circuitos elétricos

Grandezas	Unidade básica	Símbolo
Corrente	ampère	A
Tensão	volt	V
Resistência	ohm	$\Omega$
Potência	watt	W
Energia ou trabalho	joule	J

## Sistema internacional de unidades (SI)

Engenheiros do mundo inteiro trabalham em conjunto em projetos e só podem colaborar e divulgar os seus resultados de forma adequada empregando as mesmas unidades de medida. Chamado de sistema internacional de unidades (SI), ele conta com sete unidades básicas, e todas as outras unidades são derivadas destas. Quatro dessas unidades básicas — metro (comprimento), quilograma (massa), segundo (tempo) e coulomb (carga) — são importantes para a teoria de circuitos elétricos. As outras três unidades básicas são o mol (quantidade de substância), o grau Kelvin (temperatura termodinâmica) e a candela (intensidade luminosa), importantes para as áreas de química, física dos dispositivos eletrônicos, engenharia de iluminação, entre outras.



## Saiba mais

Na maioria dos resultados, a unidade do SI é muito pequena ou muito grande para ser utilizada de forma conveniente. Dessa forma, prefixos baseados na potência de 10 são aplicados para a obtenção de unidades maiores e menores em relação às unidades básicas, como mostra a tabela abaixo.

**Quadro 2.** Prefixos SI

Multiplicadores	Prefixo	Símbolo
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	quilo	k
$10^2$	hecto	h
10	deca	da
$10^{-1}$	deci	d
$10^{-2}$	centi	c
$10^{-3}$	mili	m
$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	N
$10^{-12}$	pico	p

**Fonte:** Adaptado de Sadiku, Alexander e Musa (2014).

Todos esses prefixos estão corretos, mas os engenheiros costumam utilizar com mais frequência os prefixos que representam potências divisíveis por 3. Já os prefixos centi, deci, deca e hecto são raramente utilizados. Por exemplo, a maioria dos engenheiros descreveria  $10^{-5}$  s ou 0,00001 s como  $10 \mu\text{s}$ , em vez de 0,01 ms ou 10.000.000 ps.

## Corrente

Ao utilizar um circuito elétrico, cargas são transferidas entre partes diferentes de um circuito; pelo princípio da conservação da carga, não podemos criar ou

destruir elétrons (ou prótons) quando utilizamos um circuito. Por definição, de acordo com Sadiku (2014), a corrente elétrica é a variação no tempo da quantidade de carga medida em ampères (A). A corrente ( $i$ ), a carga ( $q$ ) e o tempo estão relacionadas matematicamente, assim:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1)$$

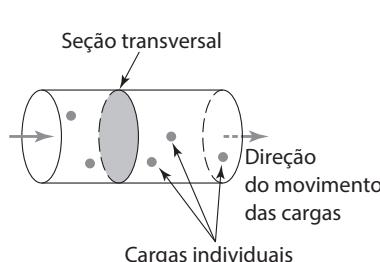
Onde:

$i$  = corrente elétrica em ampère (A)

$q$  = carga em coulombs (C)

$t$  = tempo em segundos (s)

A corrente é considerada uma grandeza contínua, mesmo sendo composta por inúmeros elétrons discretos em movimento. A Figura 1 ilustra a definição de uma corrente fluindo através de um fio. Um ampère corresponde a 1 coulomb de carga atravessando uma seção transversal arbitrariamente escolhida em um intervalo de 1 segundo.



**Figura 1.** Corrente fluindo através de um fio.

Fonte: Hayt Jr., Kemmerly e Durbin (2014, p. 11).

## Tensão

As cargas em um condutor, ou elétrons livres, podem mover-se aleatoriamente. Entretanto, se quisermos um movimento orientado de cargas, denominado corrente elétrica, devemos aplicar uma diferença de potencial (ddp), ou tensão, nos terminais desse condutor. Portanto, um trabalho é realizado sobre as cargas. A tensão sobre um elemento é definida como um trabalho (em joule) realizado para mover uma unidade de carga (1 C) através do elemento, de um

terminal ao outro. A unidade de tensão, ou diferença de potencial, é o volt (V). Expressamos essa razão em forma diferencial como:

$$v = \frac{dw}{dq} \quad (2)$$

Onde:

$v$  = tensão em volts (V)

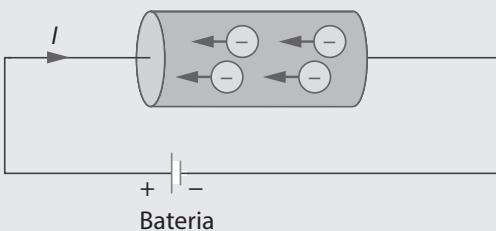
$w$  = energia em joules (J)

$q$  = carga em coulombs (C)



### Fique atento

Quando um fio condutor é conectado a uma bateria, as cargas negativas (elétrons) são induzidas a se deslocarem para o polo positivo da bateria (Figura 2). Não são as cargas positivas (os prótons) que se deslocam, como imaginavam antigamente na teoria dos circuitos. Tal convenção havia sido estabelecida por Benjamin Franklin (1706-1790), que acreditava que a corrente elétrica (fluxo de cargas positivas) trafegava do polo positivo para o negativo, definido como o sentido real da corrente. O nosso conceito de corrente será o da corrente convencional, ou seja, a corrente elétrica (o deslocamento de cargas negativas, os elétrons) do polo positivo da bateria para o polo negativo da bateria.



**Figura 2.** Corrente elétrica devido ao fluxo de cargas elétricas em um condutor.

Fonte: Sadiku, Alexander e Musa (2014, p. 9).

## Resistência

O elemento mais simples e utilizado em circuitos chama-se **resistor**. Um condutor elétrico apresenta propriedades que são características de um resistor, ou seja, quando uma corrente flui por ele, os elétrons colidem com os átomos no condutor; isso impede ou cria resistência ao movimento dos elétrons. Quanto maior o número de colisões, maior será a resistência do condutor. Basicamente,

um resistor pode ser considerado como sendo qualquer dispositivo que apresenta resistência. Por sua vez, **resistência** é, por definição, a habilidade do elemento em resistir ao fluxo de corrente elétrica; ela é medida em ohms ( $\Omega$ ).

A resistência  $R$  para qualquer material com área uniforme de seção transversal  $A$  e comprimento  $l$  é diretamente proporcional ao comprimento e inversamente proporcional à área da seção transversal. Na forma matemática,

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (3)$$

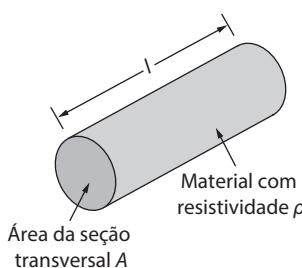
Onde:

$\rho$  = resistividade do material ( $\Omega\text{-m}$ )

$l$  = comprimento (m)

$A$  = área ( $\text{m}^2$ )

A Figura 3 apresenta um condutor com seção transversal uniforme, com área  $A$ , comprimento  $l$  e resistividade  $\rho$  do material.



**Figura 3.** Um condutor com seção transversal uniforme.

Fonte: Sadiku, Alexander e Musa (2014, p. 22).

## Potência e energia elétrica

Os cálculos de potência e energia também são importantes na análise de circuitos, porque muitas vezes o resultado útil do sistema não é expresso em termos de tensão e corrente, mas em termos de potência ou energia.

Encontrar a potência e a energia em análise de circuitos é tão importante quanto conhecer a tensão e a corrente. Especialmente, quando desejamos calcular o consumo de energia elétrica em determinado período de tempo

em nossa residência. Nesse caso, utilizar as variáveis tensão e corrente não é suficiente.

Segundo Sadiku (2014), energia é a habilidade de fazer trabalho. O termo potência fornece uma indicação da quantidade de trabalho que pode ser realizado em um determinado período de tempo, assegura Boylestad (2012).

Matematicamente, a potência é determinada assim:

$$p = \frac{dw}{dt} \quad (4)$$

Onde:

$p$  = potência em watts (W)

$w$  = energia em joules (J)

$t$  = tempo em segundos (s)

Dessa forma, 1 W é equivalente a 1 J/s.

A potência associada ao fluxo de carga decorre diretamente da definição de tensão e corrente nas Equações 1 e 2, ou

$$p = \frac{dw}{dt} = \left( \frac{dw}{dq} \right) \left( \frac{dq}{dt} \right) \quad (5)$$

Podemos, portanto, expressar a fórmula da potência em termos de tensão ( $v$ ) e corrente ( $i$ ), ou seja,

$$p = vi \quad (6)$$

Onde:

$p$  = potência em watts (W)

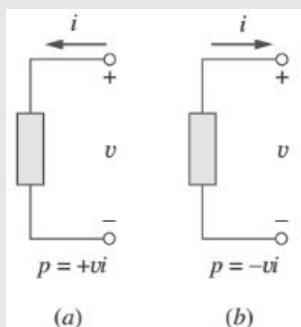
$v$  = tensão em volts (V)

$i$  = corrente em ampère (A)



## Fique atento

O sentido da corrente e a polaridade da tensão desempenham um papel fundamental na determinação do sinal da potência. Se uma corrente positiva entra no terminal positivo, então uma força externa deve estar excitando a corrente e, logo, fornecendo energia ao elemento. Nesse caso, o elemento está absorvendo energia. Se uma corrente positiva sai pelo terminal positivo (entra pelo negativo), então o elemento está entregando energia ao circuito externo, conforme mostra a Figura 4.



**Figura 4.** Polaridades referenciais para potência usando a conversão do sinal passivo:

(a) absorção de potência; (b) fornecimento de potência.

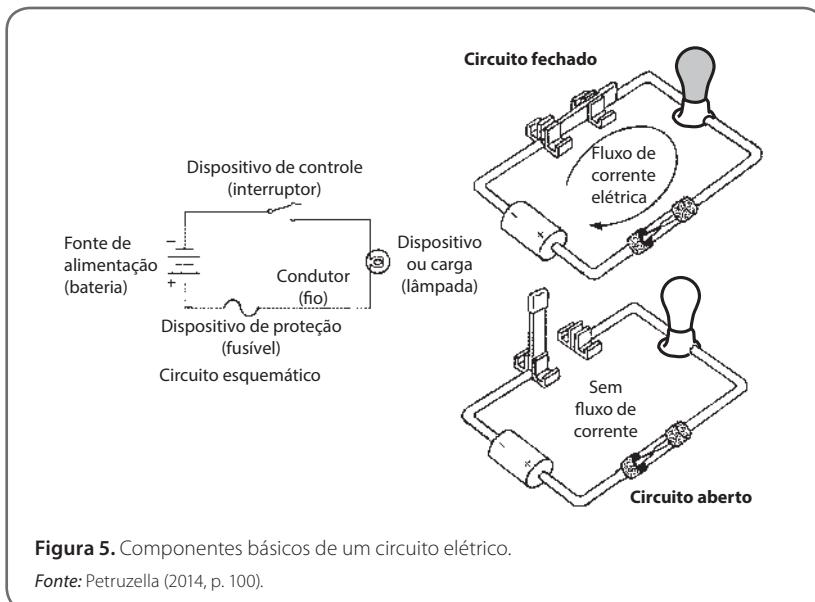
**Fonte:** Sadiku, Alexander e Musa (2014, p. 10).

## Partes essenciais de um circuito

Na engenharia elétrica, estamos interessados na comunicação ou na transmissão de energia de um ponto a outro e, para isso, é necessária uma interconexão de dispositivos elétricos. Essa interconexão é conhecida como circuito elétrico e cada componente do circuito é chamado **elemento**. Há dois tipos de elementos encontrados em circuitos elétricos: elementos passivos e elementos ativos. Um elemento ativo é capaz de gerar energia; já o elemento passivo não é capaz. Os típicos elementos ativos são as baterias, os geradores e os amplificadores operacionais. Como elementos passivos, podemos citar os resistores, os capacitores e os indutores.

Os circuitos elétricos estão presentes em dispositivos e máquinas elétricas que são alimentados por corrente elétrica. A corrente flui no circuito enquanto ele estiver fechado; caso contrário, se aberto, a corrente não flui pelo circuito, como ilustrado na Figura 5. As partes essenciais de um circuito elétrico são:

fonte de alimentação, condutores, cargas, dispositivos de controle e dispositivos de proteção (PETRUZELLA, 2014).



**Figura 5.** Componentes básicos de um circuito elétrico.

Fonte: Petruzella (2014, p. 100).

## Fonte de alimentação

Uma fonte de alimentação produz energia elétrica a partir da energia química, mecânica, magnética ou outra fonte (PETRUZELLA, 2014). Para um leigo, a fonte de alimentação CC (corrente contínua) mais comum é a bateria [Boylestad, 2012]. Basicamente, ela apresenta em seus terminais uma tensão CC ou ddp (diferença de potencial) para alimentar um circuito elétrico ou componentes eletrônicos.

## Condutores

Segundo Petruzella (2014), a função dos condutores é oferecer o percurso de baixa resistência da fonte de alimentação para a carga. Condutor é a denominação geralmente atribuída, segundo Boylestad (2012), ao material que permite a passagem de um fluxo intenso de elétrons com a aplicação de uma tensão relativamente pequena. O cobre é o condutor mais utilizado, principalmente na distribuição de energia elétrica.

## Carga

A carga, define Petruzella (2014), é um dispositivo que utiliza a energia elétrica ou transforma essa energia em outras formas de energia. Por exemplo, uma lâmpada converte a energia elétrica da fonte em energia luminosa e térmica (calor); já um motor elétrico converte a energia elétrica em energia mecânica. Caso o circuito não tenha algum tipo de carga para limitar o fluxo de corrente, torna-se um curto-círcuito.

## Dispositivos de controle

Uma forma de controlar o fluxo de corrente de um circuito é utilizar dispositivos de controle para ligar e desligar os circuitos, ensina Petruzelaa (2014). Um exemplo de dispositivo de controle comum é o interruptor. Um circuito está fechado ou ativo quando o interruptor está na posição “ligado” (*on*, em inglês) e está aberto ou interrompido quando o interruptor está na posição “desligado” (*off*, em inglês).

## Dispositivos de proteção

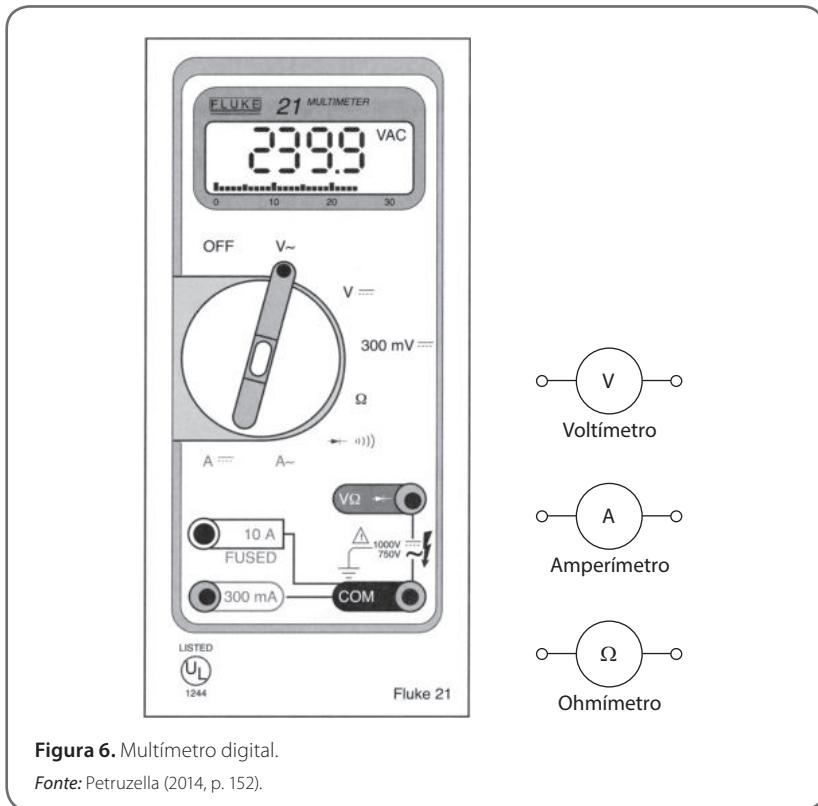
Quando o fluxo de corrente excede o valor permitido, um dispositivo de proteção pode entrar em ação. Os fusíveis e os disjuntores são exemplos de dispositivos de proteção. Correntes elevadas podem causar danos aos condutores e às cargas conectadas aos circuitos. No caso de níveis de correntes intensas em níveis perigosos, o fusível derrete e abre o circuito automaticamente.

## Medição de corrente, tensão, resistência e potência

Atualmente encontramos os instrumentos de medida voltímetro, amperímetro e ohmímetro reunidos em um único instrumento de medida chamado multímetro. O multímetro se tornou um instrumento prático e econômico, se comparado à obtenção e ao transporte dos três medidores ao mesmo tempo (PETRUZELLA, 2014).

O multímetro mais utilizado pelos eletricistas é o digital, ilustrado na Figura 6. A leitura digital é a principal saída do medidor, indicando o valor numérico da medição, facilitando a visualização e evitando erros de leitura pelo usuário. Ele apresenta seletores de função, faixa e conectores de entrada

para receber as pontas de prova, da mesma forma que os multímetros analógicos. Os multímetros digitais precisam apenas de baterias para alimentar os circuitos eletrônicos internos, para auxiliar nas medições de tensão, corrente e resistência.

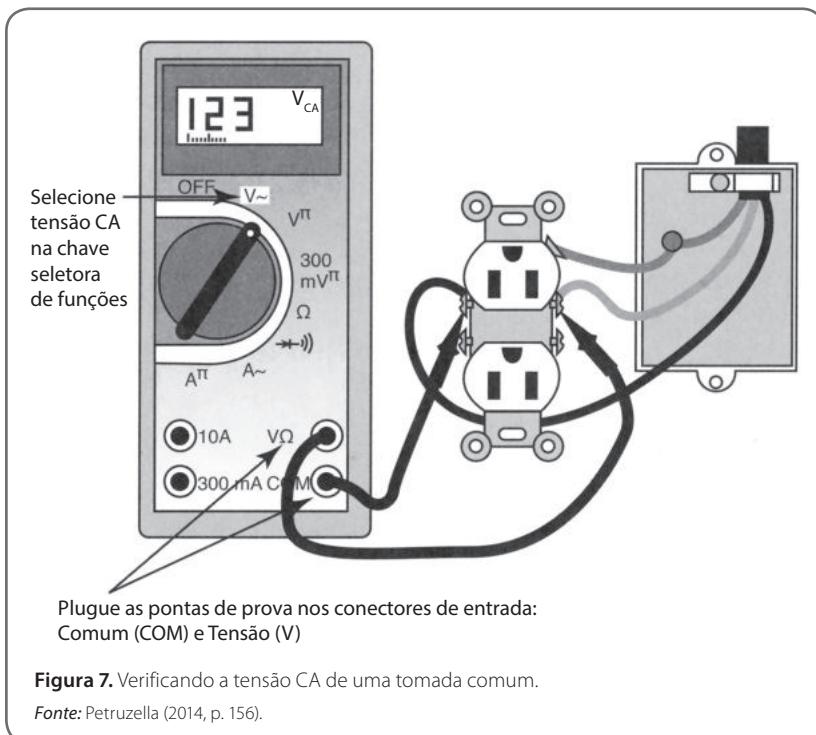


**Figura 6.** Multímetro digital.

*Fonte:* Petruzella (2014, p. 152).

## Medição de tensão

O voltímetro é um instrumento destinado a medir a tensão (diferença de potencial) em um circuito elétrico. A diferença de potencial entre dois pontos de um circuito é medida ligando as pontas de prova do voltímetro aos dois pontos em paralelo [Boylestad, 2012]. O instrumento é utilizado para medir tanto a tensão CA como a tensão CC por meio dos terminais de um circuito ou de uma bateria. Antes, deve-se verificar se o circuito é alimentado com tensão CA ou CC. A Figura 7 ilustra a ligação.

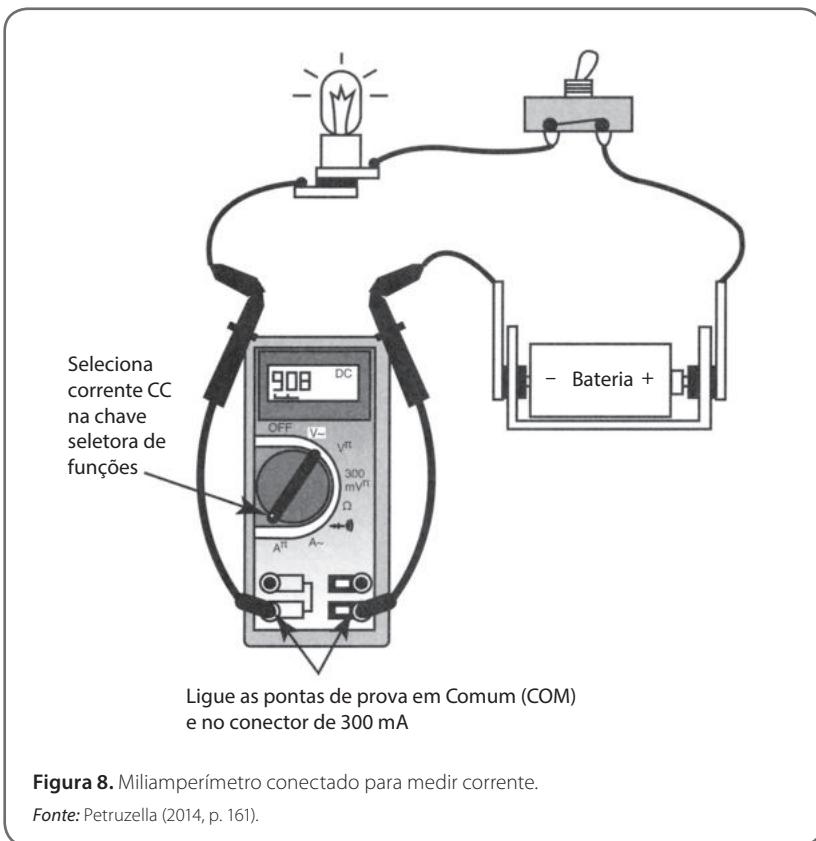


**Figura 7.** Verificando a tensão CA de uma tomada comum.

Fonte: Petruzella (2014, p. 156).

## Medição de corrente

O amperímetro é destinado a medir correntes fluindo em um circuito elétrico (PETRUZELLA, 2014). Sempre é ligado em série com o elemento do circuito cuja corrente se deseja medir; isso significa que um condutor deverá ser “aberto” no ponto de inserção do instrumento. A Figura 8 ilustra um multímetro com miliamperímetro CC para medição de corrente.



**Figura 8.** Miliamperímetro conectado para medir corrente.

Fonte: Petruzella (2014, p. 161).

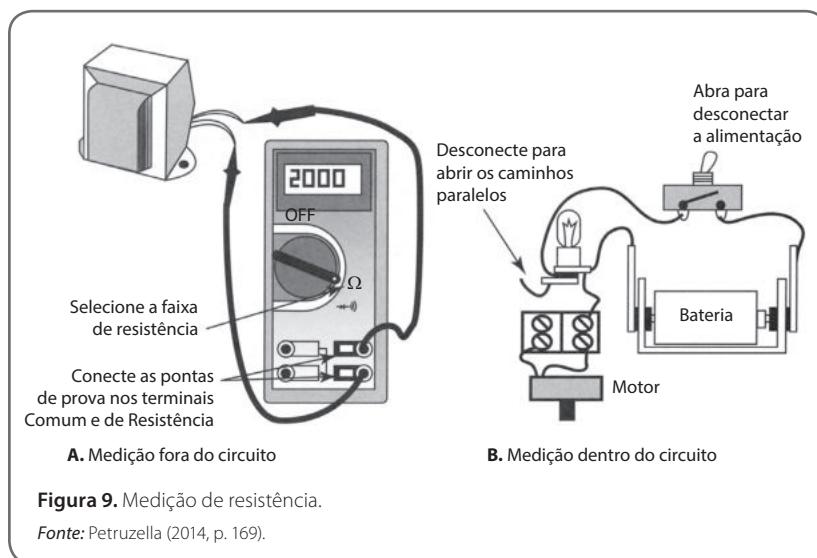
## Medição de resistência

O ohmímetro é um instrumento de medida utilizado para realizar geralmente as seguintes tarefas: (1) medir resistência de um elemento individual ou a combinação destas; (2) detectar circuitos abertos, no caso de resistência elevada, e curto-circuito, no caso de resistência baixa; (3) verificar se há continuidade nas conexões de um circuito e identificar fios em um cabo com múltiplas vias; (4) testar alguns dispositivos eletrônicos por exemplo, os semicondutores (BOYLESTAD, 2012). O seu funcionamento é simples: no instrumento circula uma corrente que passa por uma resistência desconhecida; essa resistência é determinada pela medição do valor da corrente resultante (PETRUZELLA, 2014).

Para realizar uma medição de resistência fora do circuito com o ohmímetro (Figura 9a), primeiramente conecte os terminais do medidor por meio do componente e ajuste-o para medir na faixa adequada. Para medir a resistência de um componente dentro de um circuito (Figura 9b), atenção aos seguintes cuidados (PETRUZELLA, 2014):

- desligue a fonte de alimentação do circuito; e
- desconecte um dos terminais do componente para garantir a medição do mesmo isoladamente.

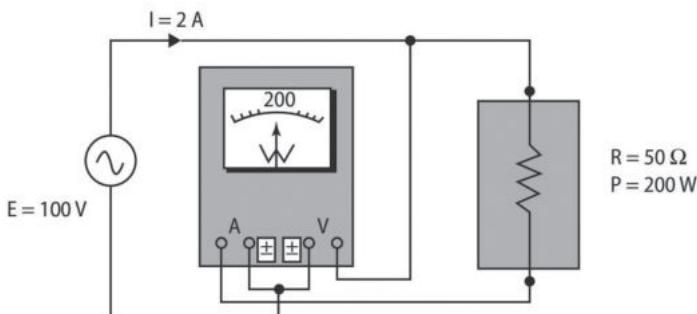
O ohmímetro serve também para realizar testes de continuidade, para verificar se há continuidade em um caminho elétrico de baixa resistência de uma conexão a outra extremidade.



## Medição de potência elétrica

O instrumento de medida utilizado para medir a potência elétrica é o wattímetro. Ele é composto pelos instrumentos de medida voltímetro e amperímetro com quatro terminais de conexão: duas conexões para o voltímetro e duas para o amperímetro. O seu funcionamento básico é medir a tensão e corrente simultaneamente e apresenta o resultado da potência resultante (PETRUZELLA, 2014). A Figura 10 exibe um wattímetro conectado a um circuito elétrico,

observe que a conexão V (voltímetro) é conectada da mesma maneira que um voltímetro, ou seja, em paralelo com o elemento (ou carga). E a conexão A (amperímetro) é também conectada da mesma forma que no amperímetro, ou seja, em série com elemento do circuito .



**Figura 10.** Conexão de um wattímetro no circuito elétrico.

*Fonte:* Petruzella (2014, p. 345).



## Referências

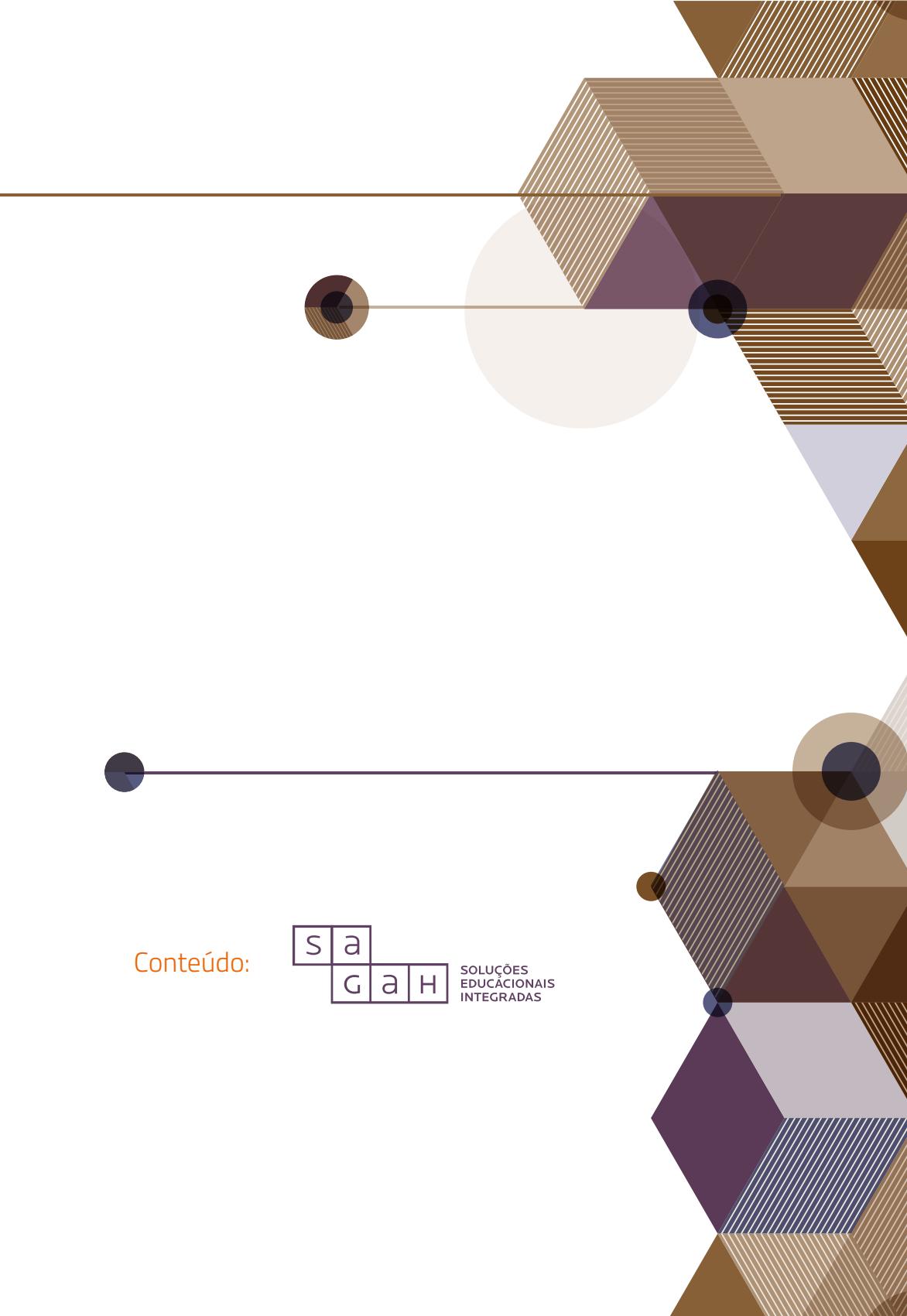
- HAYT JR., W. H.; KEMMERLY, J. E.; DURBIN, S. M. *Análise de circuitos em engenharia*. 8. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014.
- BOYLESTAD, R. L. *Introdução a análise de circuitos*. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2012.
- NILSSON, J. W.; RIEDEL, S. A. *Circuitos elétricos*. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2009. PETRUZELLA, F. D. *Eletrotécnica*. Porto Alegre: Bookman, 2014. (Série Tekne).
- SADIQU, M. N. D.; ALEXANDER, C. K.; MUSA, S. *Análise de circuitos elétricos com aplicações*. Porto Alegre: Bookman, 2014.

## Leituras recomendadas

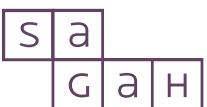
- JOHNSON, D. E.; HILBURN, J. L.; JOHNSON, J. R. *Fundamentos de análise de circuitos elétricos*. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1994.
- NAHVI, M.; ADMINISTER, J. A. *Circuitos elétricos*. 5. ed. Porto Alegre: Bookmann, 2014. (Coleção Schaum).



**Encerra aqui o trecho do livro disponibilizado para esta Unidade de Aprendizagem. Na Biblioteca Virtual da Instituição, você encontra a obra na íntegra.**



Conteúdo:



SOLUÇÕES  
EDUCACIONAIS  
INTEGRADAS



## DICA DO PROFESSOR

A corrente elétrica necessita de uma diferença de potencial (tensão) para ocorrer.

A resistência da passagem da corrente elétrica é o que vai definir a própria corrente elétrica. Quanto maior a resistência, menor a corrente.

A potência elétrica é o produto da tensão pela corrente. Vamos acompanhar mais detalhes no vídeo.

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!



## EXERCÍCIOS

1) A força que causa o fluxo de elétrons através de um condutor é?

A) Potência

B) Tensão

C) Corrente

D) Resistência

E) Impedância

2) O amperímetro é conectado \_\_\_\_\_ para medir o fluxo da corrente:

A) Sobre a fonte de tensão

B) Em paralelo

C) Entre o ponto e o terra

D) Em série

E) Sobre o componente

3) **Para que exista uma corrente elétrica em um condutor é necessário que:**

A) Exista potência elétrica

B) Exista uma diferença de potencial (tensão)

C) Exista resistência elétrica

D) Exista reatância elétrica

E) A corrente elétrica não circula em condutores

4) **Resistência é a oposição à:**

A) Corrente

B) Tensão

C) Potência

D) Polaridade

E) Resistividade

5) A potência é o produto da:

A) Resistência e tensão

B) Tensão e impedância

C) Energia e corrente

D) Corrente e tensão

E) Energia e tensão



### NA PRÁTICA

Os conhecimentos básicos de eletrotécnica - corrente, tensão, resistência e potência - em muito auxiliam o profissional no dia a dia.

**Por exemplo, para quem gosta de chimarrão e viaja de carro, uma alternativa para o aquecimento de água na garrafa térmica é o uso de um aquecedor tipo "rabo quente" em 12 volts. Esses aquecedores existem no mercado, mas o preço é superior ao dos aquecedores de corrente alternada.**

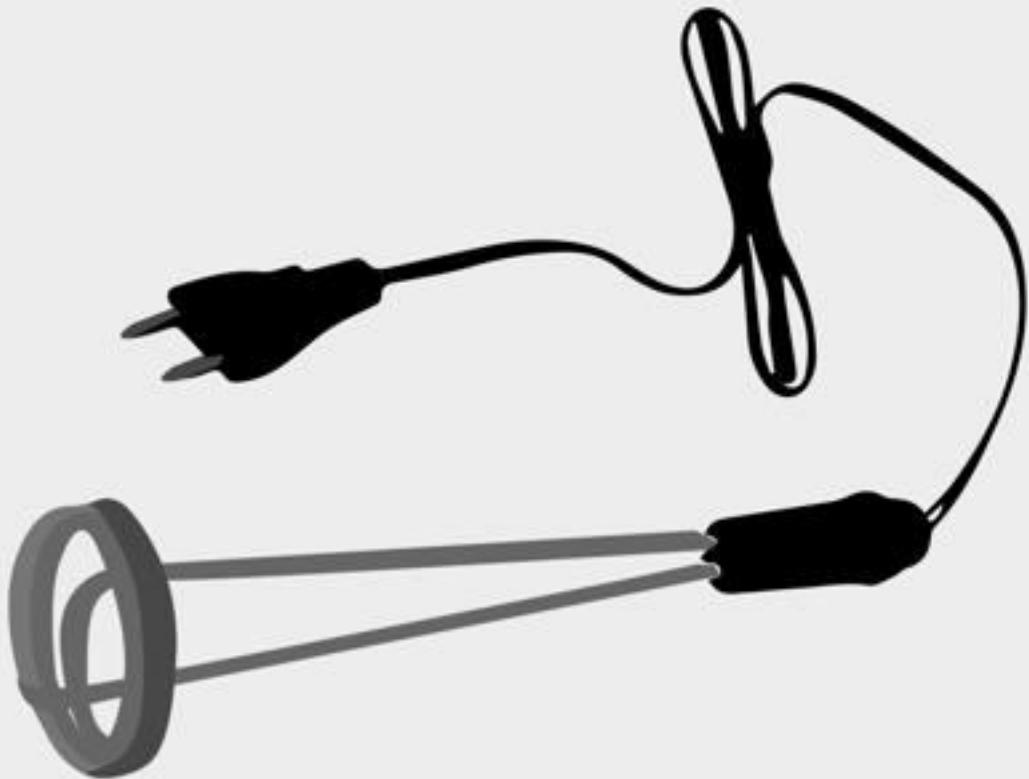


Figura 2

Visto que o fabricante do veículo define a potência máxima da tomada de tensão contínua disponível (em torno de 150 Watts máximos) e sabendo que a tensão do veículo é 12 volts, é possível definir uma resistência - que facilmente pode ser feita com fio de níquel cromo e que pode ser aproveitada de chuveiro elétrico - praticamente sem custo. Um pedaço de fio que suporte a corrente (em torno de 12,5 ampéres), uma tomada para ligar no carro (em torno de R\$ 5,00), e temos um aquecedor, que pode ser feito por um preço seis vezes menor que o do mercado!

Quem tem o conhecimento, economiza!



**SAIBA MAIS**

Para ampliar o seu conhecimento a respeito desse assunto, veja abaixo as sugestões do professor:

**Tensão, Corrente e Resistência - Circuitos Elétricos**

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!

## **Conceitos de Tensão, Corrente e Resistência Elétrica**

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!

# Leis de Ohm, potência e energia



## APRESENTAÇÃO

Em 1827, o físico alemão, Georg Ohm, desenvolveu trabalhos envolvendo materiais condutores e seu comportamento elétrico, encontrando a relação, válida para materiais ôhmicos, entre corrente elétrica, tensão e resistência. A taxa de transferência de energia em um determinado tempo, denominada de potência elétrica, também pode ser calculada por meio das grandezas elétricas de tensão, corrente e resistência.

Quando se conhece a potência de um equipamento e a tensão de alimentação, como é o caso dos eletroeletrônicos domésticos, é possível calcular a quantidade de energia consumida por eles. E, a partir das relações de potência e de corrente elétrica, comumente chamadas de Primeira Lei de Ohm, é possível determinar a potência dissipada por um resistor em forma de energia térmica, processo que se denomina efeito Joule.

Nesta Unidade de Aprendizagem, você vai compreender os conceitos de resistência e resistividade e ser capaz de calcular esses valores para materiais condutores. Também, vai entender os conceitos de potência elétrica e energia elétrica, observando o efeito Joule presente nos condutores submetidos à passagem de corrente. Por fim, você vai saber como calcular o consumo de energia elétrica em equipamentos elétricos.

Bons estudos.

**Ao final desta Unidade de Aprendizagem, você deve apresentar os seguintes aprendizados:**

- Calcular a resistência elétrica de resistores e de materiais condutores.
- Definir a potência elétrica e a energia elétrica dissipada por resistores elétricos.
- Identificar o consumo de energia elétrica em equipamentos elétricos.



## INFOGRÁFICO

Em 1995, o Brasil tinha um consumo de energia elétrica de aproximadamente 243 GWh. Em 2016, 21 anos depois, houve um crescimento no consumo de quase o dobro, indo para 461

GWh. Nesse grande consumo de energia elétrica, o consumo residencial representa 29% do total, sendo, atualmente, os aparelhos de ar-condicionado e o chuveiro elétrico os maiores consumidores domésticos.

No infográfico a seguir, você vai ver informações do consumo de energia elétrica de alguns equipamentos eletroeletrônicos no Brasil e também entender como realizar o cálculo do consumo de energia de um equipamento, além de conhecer um pouco sobre a eficiência energética.

# ⚡ CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DOS PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS ⚡

EQUIPAMENTO	TEMPO MÉDIO DE USO DIÁRIO (h)	POTÊNCIA DO EQUIPAMENTO (W)	CONSUMO MÉDIO MENSAL (kWh)	PARTICIPAÇÃO NA CONTA DE ENERGIA (%)
Ar-condicionado	6,00	1000,00	180,00	41,75
Chuveiro elétrico	0,50	6500,00	97,50	22,61
Geladeira 2 portas 360L	24,00	61,25	49,00	11,36
TV LED 40"	5,00	80,00	12,00	2,78
Forno elétrico	1,00	1000,00	10,00	2,32
Forno micro-ondas	0,33	1200,00	11,88	2,76
Microcomputador	3,00	120,00	10,80	2,50
Ventilador de teto	4,00	80,00	9,60	2,25
Secador de cabelo	0,20	1400,00	8,40	1,95
Lavadora de roupas	1,00	500,00	15,00	3,48
Lâmpada eficiente	6,00	15,00	2,7	0,62*
Consumo total (kWh)		431,18		

\*Com 10 lâmpadas.

## CÁLCULO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Ao saber a potência de um equipamento, como um ventilador de teto de 80 W, calcula-se quanto será o consumo de energia elétrica deste equipamento por meio da seguinte sequência de cálculos:

$$\begin{aligned} \text{Consumo mensal (kWh)} &= \text{Potência equipamento (w)} * \text{Tempo de uso diário (h)} * \text{Dias de uso / 1.000} \\ \text{Consumo mensal (kWh)} &= 80 (\text{w}) * 4 (\text{h}) * 30 / 1.000 \\ \text{Consumo mensal} &= 9,60 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo mensal (reais)} &= \text{preço do kWh} * \text{Consumo mensal (kWh)} \\ \text{Consumo mensal (reais)} &\approx 0,6613 \frac{\text{reais}}{\text{kWh}} * 9,60 \text{ kWh} \approx \text{R\$ 6,35} \end{aligned}$$

## EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A **eficiência energética** consiste na relação entre a quantidade de energia elétrica empregada em um equipamento e aquela disponibilizada em forma de trabalho, criação de calor, movimentação motores, etc.

O Inmetro estabeleceu o selo Procel, a fim de caracterizar a eficiência de vários equipamentos. Os equipamentos A têm maior eficiência energética que os equipamentos da classe G.





## CONTEÚDO DO LIVRO

A resistência e a resistividade são grandezas elétricas relacionadas ao dispositivo e ao material, respectivamente. A resistência de um material é a oposição à passagem de corrente em um determinado elemento submetido a uma diferença de potencial.

A Lei de Ohm refere-se ao comportamento de materiais condutores, podendo ser linear ou não linear. O consumo de energia de uma resistência, em um determinado período, fornece a potência elétrica do dispositivo. Essa energia, por sua vez, é convertida em forma de calor pelo efeito Joule. Calcular a energia dissipada em equipamentos permite cobrar e pagar pelo consumo de energia elétrica.

Neste capítulo, você vai entender o que é um resistor, o que é a resistência de um corpo e como a resistividade de um material interfere na resistência dele. Você também vai ser capaz de calcular a potência dissipada em uma resistência, mensurar o efeito Joule e compreendê-lo, assim como calcular o consumo de energia elétrica e a potência de equipamentos.

Leia o capítulo Leis de Ohm, potência e energia, do livro *Eletromagnetismo*.

Boa leitura.

# ELETROMAGNETISMO

Guilherme de Lima Lopes



# Leis de Ohm, potência e energia

## Objetivos de aprendizagem

Ao final deste texto, você deve apresentar os seguintes aprendizados:

- Calcular a resistência elétrica de resistores e materiais condutores.
- Definir a potência elétrica e a energia elétrica dissipada por resistores elétricos.
- Identificar o consumo de energia elétrica em equipamentos elétricos.

## Introdução

Em 1827, o físico alemão, Georg Ohm, desenvolveu trabalhos envolvendo materiais condutores e seu comportamento elétrico, encontrando a relação, válida para materiais ôhmicos, entre a corrente elétrica, tensão e resistência. Ela, por sua vez, diz que a corrente elétrica que percorre um condutor é inversamente proporcional à resistência deste material e diretamente proporcional à diferença de potencial aplicada.

A taxa de transferência de energia em um determinado tempo, denominada potência elétrica, também pode ser calculada por meio das grandezas elétricas de tensão, corrente e resistência.

Quando conhecemos a potência de um equipamento e a tensão de alimentação, como é o caso dos eletroeletrônicos domésticos, podemos calcular a quantidade de energia consumida por eles.

A partir das relações de potência e de corrente elétrica, comumente chamadas de Primeira Lei de Ohm, é possível determinar a potência dissipada por um resistor em forma de energia térmica, processo que se denomina efeito Joule.

Neste capítulo, você vai compreender os conceitos de resistência e resistividade e será capaz de calcular esses valores para materiais condutores; entenderá, também, os conceitos de potência elétrica e energia elétrica, verá o efeito Joule presente nos condutores submetidos à passagem de corrente e, por fim, você aprenderá a calcular o consumo de energia elétrica em equipamentos elétricos.

## Resistência elétrica e resistividade de um material

Materiais condutores e isolantes são classificados assim conforme a sua afinidade em conduzir ou não corrente elétrica. Os materiais isolantes necessitam de um campo elétrico muito intenso para que o material se torne condutor. Já o material condutor conduz corrente elétrica, mesmo que para campos elétricos menos intensos.

Se aplicarmos uma mesma diferença de potencial em um material condutor e em um isolante, supondo que os mesmos possuam as mesmas características geométricas, teremos resultados distintos. A propriedade dos objetos que determinam tais discrepâncias é a **resistência elétrica**. Esta pode ser definida como a característica de um corpo opor-se à passagem de corrente.

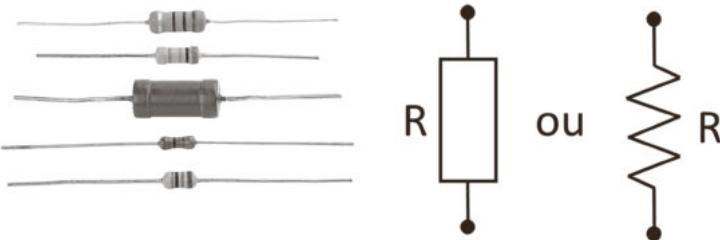
Podemos determinar a resistência entre dois pontos de um condutor, aplicando-se uma diferença de potencial  $V$  nesses pontos e medindo a corrente  $i$  que resulta. A resistência  $R$  é dada por:

$$R = \frac{V}{i}$$

Como pode ser observada pela equação, a unidade de resistência é Volt por Ampère no sistema internacional. Para homenagear o cientista que estudou e realizou diversas descobertas na área, criou-se uma unidade especial para a resistência elétrica, o Ohm ( $\Omega$ ). Dessa maneira, temos que:

$$1 \text{ ohm} = 1 \text{ volt por ampère} = 1 \Omega = 1 \frac{V}{A}$$

Condutores que possuem a única função de introduzir certa resistência a um circuito são chamados de **resistores**. A Figura 1 apresenta um resistor e a sua representação em circuitos elétricos.



**Figura 1.** Resistor (a) e sua representação em circuitos (b).

Fonte: Sergiy Kuzmin/Shutterstock.com.

A resistência de um condutor depende do modo como a diferença de potencial é aplicada (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

A resistividade  $\rho$  é a relação entre o campo elétrico  $\vec{E}$  existente em um ponto do material e a densidade de corrente  $\vec{J}$  neste mesmo ponto. A resistividade nos dá uma visão melhor sobre o material e é dada pela equação a seguir:

$$\rho = \frac{E}{J}$$

Dessa maneira, teremos a unidade de  $\rho$  como:

$$\frac{\text{unidade } [E]}{\text{unidade } [J]} = \frac{V/m}{A/m^2} = \frac{V}{A} \text{ m} = \Omega \cdot m$$

A partir da resistividade, podemos reescrever sua equação em termos vetoriais, assim:

$$\vec{E} = \rho \vec{J}$$



### Fique atento

A resistência é uma propriedade de um dispositivo; a resistividade é uma propriedade de um material (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

A densidade  $\vec{J}$  de corrente em um condutor depende do campo elétrico  $\vec{E}$  e das propriedades do material. Essa dependência, em geral, é muito complexa. Porém, para certos materiais, especialmente para os metais, em uma dada temperatura,  $\vec{J}$  é quase diretamente proporcional a  $\vec{E}$ , e a razão entre os módulos  $E$  e  $J$  permanece constante. Essa relação, chamada de **Lei de Ohm**, foi descoberta em 1826, pelo físico alemão, Georg Simon Ohm (1787-1854). A palavra “lei” deveria, na verdade, estar entre aspas, porque a Lei de Ohm, assim como a Lei dos Gases Ideais e a Lei de Hooke, fornece um modelo idealizado que descreve muito bem o comportamento de alguns materiais, porém não fornece uma descrição geral para todos eles (YOUNG; FREEDMAN, 2012).

A Lei de Ohm é a afirmação de que a corrente que atravessa um dispositivo é sempre diretamente proporcional à diferença de potencial aplicada ao dispositivo, porém isso ocorre em apenas alguns materiais e a certas condições controladas, como a temperatura.

Dessa maneira, um dispositivo obedece à Lei de Ohm se a resistência dele não depende do valor absoluto, nem da polaridade da diferença de potencial aplicada.

Para os componentes que obedecem à Lei de Ohm, damos o nome de dispositivos ôhmicos ou lineares. Por sua vez, os que não obedecem são denominados de dispositivos não lineares ou não ôhmicos.

Georg Ohm verificou que, em certos materiais condutores, a relação entre a diferença de potencial aplicado e a corrente que percorria o elemento eram sempre iguais (Tabela 1).

**Tabela 1.** Experimentos de Georg Ohm.

Tensão (V)	Corrente (mA)	Razão V/I
1	5	200
2	10	200
3	15	200
...	...	200
10	50	200
11	55	200
12	60	200
13	65	200

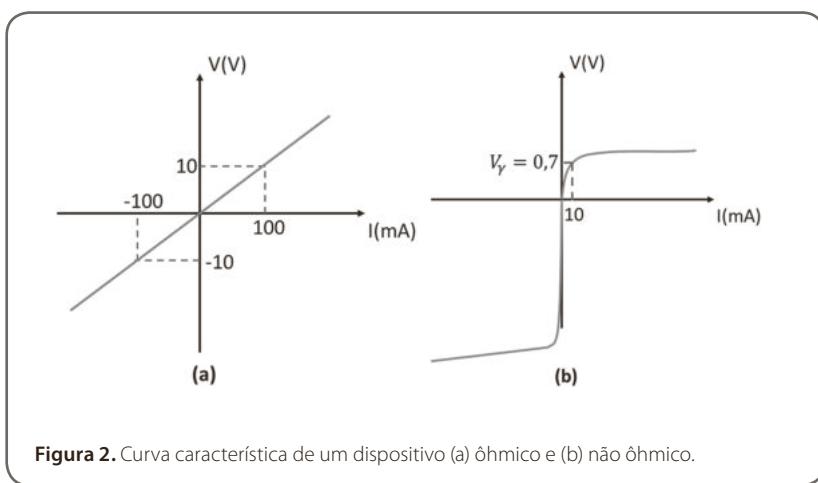
Com esse experimento, podemos verificar a equação que, por muitas vezes, é denominada Primeira Lei de Ohm, que é:

$$U = R \cdot i$$

Nesta equação, podemos concluir que a corrente de um determinado componente será diretamente proporcional à tensão aplicada sobre ele e inversamente proporcional à resistência. A equação é válida para qualquer componente, em determinadas condições, porém, para que as proporcionalidades sejam válidas, o material deve ser condutor e definido em uma gama limitada de temperaturas.

A Lei de Ohm refere-se mais à característica dos componentes, diferente do que muitos definem como a **Primeira Lei de Ohm**, sendo a relação entre a tensão, corrente e resistência.

Na Figura 2, podem ser observadas duas curvas comportamentais de dois componentes distintos.



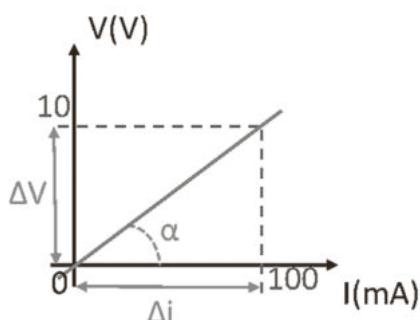
**Figura 2.** Curva característica de um dispositivo (a) ôhmico e (b) não ôhmico.

Na curva (a), é possível observar um comportamento linear, a tensão e a corrente crescem proporcionalmente, a relação entre o crescimento das duas nos dá a resistência do componente. Esse é um dispositivo ôhmico, que, no caso, é um resistor de  $100\ \Omega$ .

Na curva (b), é possível observar que, antes de uma tensão limite, a corrente praticamente não cresce; após esse valor limite, a corrente cresce em ritmo

muito acelerado para cada incremento de tensão. O comportamento observado é não linear, portanto podemos dizer que esse é um dispositivo não ôhmico. O dispositivo, no caso, é um diodo retificador.

Para os dispositivos ôhmicos, uma observação da curva característica, extremamente importante, pode ser feita: a inclinação da reta apresenta o valor da resistência do componente. Observe o detalhe da curva a seguir.



**Figura 3.** Detalhe da curva característica de um componente ôhmico.

Temos, então, que:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta V}{\Delta i}$$

de onde é possível concluir que a inclinação da curva,  $\operatorname{tg} \alpha$ , é numericamente igual à resistência elétrica do componente.

$$\operatorname{tg} \alpha = R$$

A resistividade é uma propriedade do material. Se conhecermos o seu valor para o material aplicado e, também, as características geométricas do dispositivo, podemos calcular sua resistência de maneira simples.

Considere o corpo da Figura 4 para determinarmos sua resistência: seja  $A$  a área da seção transversal,  $L$  o comprimento do dispositivo e  $V$  a diferença de potencial entre as extremidades do corpo. Supondo que a densidade de corrente

seja uniforme ao longo de toda a seção reta, e o campo elétrico uniforme em todos os pontos, temos que:

$$E = \frac{V}{L} \quad e \quad J = \frac{i}{A}$$

Aplicando esses valores na equação de resistividade, teremos:

$$\rho = \frac{V/L}{i/A} = \frac{VA}{iL}$$

Desta equação, podemos destacar que o termo  $V/i$  é a resistência elétrica do corpo e, portanto, teremos que:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Note que esta equação se aplica apenas a condutores isotrópicos, materiais com as mesmas características em todas as direções, como é o caso dos metais e de seção reta uniforme. Para configurações geométricas diferentes, onde o campo elétrico e/ou a densidade de corrente são variáveis, faz-se necessário calcular a resistência para cada seção, assim como apresentado acima, e, então, somá-los na forma de uma integral no comprimento do dispositivo. Essa equação, por muitas vezes, é apresentada como a **Segunda Lei de Ohm**, ou seja, a lei que determinaria a resistência elétrica de um condutor isotrópico de seção reta.

Se analisarmos os conceitos de resistividade e resistência, entenderemos que todo condutor apresentará certa resistência, podendo ser ela mais elevada ou com valores praticamente desprezíveis.

Em circuitos eletrônicos, por exemplo, a resistência dos fios que conectam os elementos do circuito é considerada desprezível. Já em instalações elétricas, a queda de tensão que ocorre devido à resistência dos condutores deve ser considerada. Dessa maneira, os fios devem ser dimensionados para ter uma queda de tensão máxima, e, conforme observamos na equação de resistência e resistividade, as duas relacionam-se com o inverso da área da seção. Portanto, para maiores seções, teremos menores resistências e, consequentemente, menores quedas de tensão.

A resistividade, assim como a maioria das grandezas físicas, sofre variação com a temperatura. A relação entre temperatura e resistividade para os metais em geral é quase linear para uma larga faixa de temperaturas. Como a resistividade de um material varia com a temperatura, a resistência de um condutor específico também varia com a temperatura.

Na Tabela 2, é possível observar valores de resistividade para materiais condutores, isolantes e semicondutores.

**Tabela 2.** Resistividade de alguns materiais à temperatura ambiente (20°C).

Material	Resistividade $\rho$ ( $\Omega \cdot m$ )
Prata	$1,62 \times 10^{-8}$
Cobre	$1,69 \times 10^{-8}$
Ouro	$2,35 \times 10^{-8}$
Alumínio	$2,75 \times 10^{-8}$
Manganin	$4,82 \times 10^{-8}$
Tungstênio	$5,25 \times 10^{-8}$
Ferro	$9,68 \times 10^{-8}$
Platina	$10,6 \times 10^{-8}$
Silício puro	$2,5 \times 10^3$
Silício tipo $n$	$8,7 \times 10^{-4}$
Silício tipo $p$	$2,8 \times 10^{-3}$
Vidro	$10^{10} - 10^{14}$
Quartzo fundido	$\sim 10^{16}$

Dentro da família de materiais que se comportam como condutores, temos os semicondutores, que apresentam características de condutores e isolantes, dependendo da aplicação, e os supercondutores, que são condutores perfeitos, encontrados em situações específicas.

Os semicondutores são os principais responsáveis pela revolução da microeletrônica, que nos trouxe a era da informação. O silício possui um número muito menor de portadores de carga, uma resistividade muito maior e um coeficiente de temperatura da resistividade que é, ao mesmo tempo, elevado e negativo. Assim, enquanto a resistividade do cobre aumenta quando a temperatura aumenta, a resistividade do silício diminui (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

O silício puro tem uma resistividade tão alta que se comporta quase como um isolante e, portanto, não tem muita utilidade em circuitos eletrônicos. Todavia, ao receber impurezas, essa resistividade pode ser reduzida — o processo de adicionar impurezas ao material chama-se **dopagem**.

Em condutores, existem alguns elétrons fracamente presos aos átomos da rede cristalina. Com pouca energia, é possível libertá-los e criar corrente elétrica. Essa energia geralmente é proveniente de energia térmica ou de um campo elétrico aplicado ao corpo.

Nos isolantes, os elétrons estão fortemente ligados aos átomos da rede cristalina, sendo necessária muita energia para libertá-los e colocá-los em movimento. A energia térmica não é suficiente para que isso ocorra, e seria necessário um campo elétrico muito intenso para tornar esse material condutor.

Para os semicondutores, alguns dos elétrons conseguem desprender-se dos átomos da rede cristalina com menos energia que nos isolantes. Ainda para melhorar a condutibilidade desses materiais, são realizadas dopagens com impurezas que possam ceder elétrons ou criar buracos que funcionam como portadores de carga positiva. Dessa maneira, conseguimos características muito interessantes para esses componentes semicondutores.

Em 1911, o físico holandês Kamerlingh Onnes descobriu que a resistividade do mercúrio desaparece totalmente quando o metal é resfriado abaixo de 4 K. Esse fenômeno, conhecido como supercondutividade, é de grande interesse tecnológico, porque significa que as cargas podem circular em um supercondutor sem perder energia na forma de calor. Correntes criadas em anéis supercondutores, por exemplo, persistiram durante vários anos sem perdas; é preciso uma fonte de energia para produzir a corrente inicial, mas, depois disso, mesmo que a fonte seja removida, a corrente continua a circular indefinidamente (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

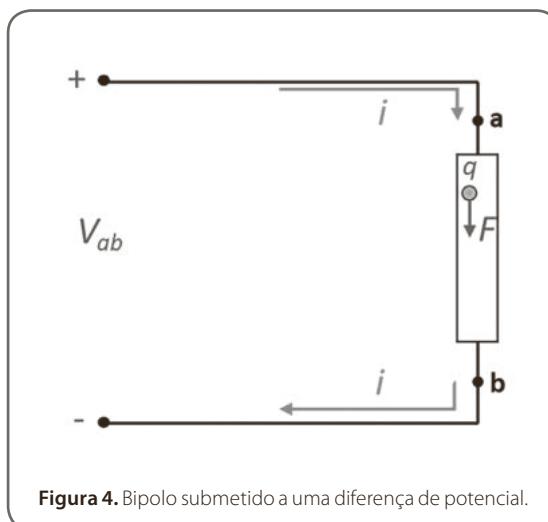
As aplicações tecnológicas para materiais supercondutores eram muito restritas antes de 1986 devido ao alto custo para atingir baixas temperaturas. Em 1986, porém, foram descobertos materiais cerâmicos que atingiam a supercondutividade com temperaturas mais altas que as anteriores, mas ainda menores que a temperatura ambiente.

A supercondutividade pode ser explicada segundo a hipótese de que, em um supercondutor, os elétrons responsáveis pela corrente movem-se em pares. Um dos elétrons do par distorce a estrutura cristalina do material, criando, nas proximidades, uma concentração temporária de cargas positivas; o outro elétron do par é atraído por essas cargas. Por meio dessa teoria, a coordenação de movimentos dos pares de elétrons impede que se choquem com os átomos da rede cristalina, eliminando, assim, a resistência elétrica. Essa teoria é capaz

de explicar bem os supercondutores descobertos antes de 1986, porém será necessária uma nova teoria ou inserções na antiga, para explicar o comportamento dos novos supercondutores cerâmicos.

## Potência elétrica e energia elétrica dissipada

Observe a Figura 4, onde temos o circuito de um bipolo, que é todo elemento de um circuito elétrico que possui dois terminais.



**Figura 4.** Bipolo submetido a uma diferença de potencial.

Os fios que ligam o circuito possuem resistência desprezível, e é aplicado um potencial  $V_a$  no ponto  $a$  e um potencial  $V_b$  no ponto  $b$ . Portanto, a diferença de potencial sobre o bipolo é dada por:

$$V_{ab} = (V_a - V_b)$$

O trabalho realizado por uma partícula que se desloca do ponto  $a$  para o ponto  $b$  é dado por:

$$\tau_{ab} = Q \cdot (V_a - V_b)$$

A variação de energia potencial elétrica  $dU$  entre os pontos  $a$  e  $b$  é igual ao trabalho realizado pela carga entre esses potenciais. A variação de energia potencial elétrica nos dá o valor de energia dissipada pelo componente. A equação que nos dá a energia dissipada pelo componente é:

$$dU = dQ \cdot V_{ab}$$

Então, a potência  $P$  associada a essa conversão de energia é a taxa de transferência de energia  $dU/dt$ , da seguinte maneira:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{dQ}{dt} \cdot V_{ab}$$

Se verificarmos que o termo  $dU/dt$  é a nossa potência  $P$  e o termo  $dQ/dt$  nada mais é que a corrente elétrica  $i$ . Substituindo estes termos, temos que a potência elétrica dissipada por este elemento é:

$$P = i \cdot V_{ab}$$

A unidade de  $i$  é o Ampère, ou Coulomb por segundo, e a unidade de  $V_{ab}$  é o Volt, ou um Joule por Coulomb. Portanto, a unidade de  $P$  é o Watt (W), como era de esperar:

$$\left(1\frac{J}{C}\right) \cdot \left(1\frac{C}{s}\right) = 1\frac{J}{s} = 1W$$

Pelo princípio fundamental de conservação da energia, a energia elétrica dissipada pelo elemento deve ser convertida em outra forma de energia. No caso de condutores, esta energia é transformada em energia térmica, gerando calor e fazendo com que o condutor eleve sua temperatura.

A transformação específica de energia elétrica em energia térmica, motivada pela passagem de corrente elétrica em um dispositivo, é o que se chama **Efeito Joule**. Uma explicação para o fenômeno: os elétrons livres, impulsionados pelo campo elétrico, percorrem o condutor de uma extremidade à outra. Os átomos da rede cristalina, que compõem o metal, já possuem energia associada,

por exemplo, à sua própria agitação térmica. Com a passagem dos elétrons livres, ocorrem inúmeras colisões entre os elétrons e os átomos do material condutor. A cada colisão, há uma transferência de energia dos elétrons para a rede, aumentando ainda mais a oscilação da rede e da energia de vibração dos átomos. Esse aumento contínuo da energia de vibração dos átomos manifesta-se como um aumento da temperatura do condutor, ou seja, seu aquecimento (VÁLIO et al., 2016).

A partir da equação que define a resistência, podemos encontrar a potência dissipada por um resistor, ou condutor ôhmico, ou, ainda, a taxa de transferência de energia para o resistor, ou, por fim, a mensuração do Efeito Joule. Considere:

$$V = R \cdot i \quad e \quad i = \frac{V}{R}$$

Substituindo na equação de potência, temos que:

$$P = i \cdot (R \cdot i) \quad e \quad P = \left(\frac{V}{R}\right) \cdot V$$

Por fim:

$$P = i^2 \cdot R \quad e \quad P = \frac{V^2}{R}$$

O Efeito Joule e seu consequente aumento de temperatura são responsáveis por fundir o material condutor em níveis intensos de corrente elétrica. Por isso, os condutores de qualquer instalação, como os fios de alimentação de uma tomada, devem ser dimensionados pela mínima seção transversal que pode ser utilizada, visto que um condutor mais fino (menor seção), utilizado para levar grandes correntes, aquecerá tanto que levará o condutor à fusão.



## Exemplo

Um aquecedor elétrico de água tem seu funcionamento baseado na dissipação da potência em forma de calor, o que causa o aumento de temperatura da água no compartimento. Quando o aquecedor é ligado, a corrente elétrica percorre a resistência  $e$ , devido ao Efeito Joule, ocorre o aumento da temperatura no condutor, que, por sua vez, está imerso em água, transferindo, então, o calor para a água. Sabe-se que certo aquecedor tem resistência de  $12,1\ \Omega$  e é conectado a uma tensão de  $110\ V$ . O compartimento de água do aparelho tem  $1L$  de volume e está cheio de água. Desprezando perdas, ou seja, considerando que toda a energia elétrica é convertida em calor cedido para a água, determine quanto tempo será necessário para elevar a temperatura da água em  $50^{\circ}\text{C}$ .

**Resposta:**

Para determinarmos o tempo necessário para aquecer essa quantidade de água, devemos, então, calcular a quantidade de calor absorvido pela água  $e$ , em seguida, a potência do equipamento  $e$ , só então, poderemos calcular o tempo.

Da termodinâmica, temos que a quantidade de calor absorvida é dada por:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

onde  $m$  é a massa de água (para a água,  $1\text{kg} = 1\text{L}$ ),  $c$  é o calor específico da água, e vale  $4200\ \text{J/kg} \cdot {}^{\circ}\text{C}$ , e  $\Delta T$  é a variação de temperatura.

Então, para o exemplo, temos:

$$Q = 1\text{kg} \cdot 4200 \cdot 50 = 210.000\text{J}$$

A potência dissipada pela resistência é dada por:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{110^2}{12,1} = 1.000\text{W}$$

Assim, podemos, então, relacionar a potência dissipada pela resistência, que, por Efeito Joule, se dissipa na forma de calor, sendo que, por definição, a potência é dada pela variação de energia, pela variação do tempo. Assim temos:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

No caso, a potência é a potência dissipada pela resistência, e a variação de energia é o calor absorvido pela água, então:

$$1.000 = \frac{210.000}{t}$$

$$t = 210\ \text{segundos} \text{ ou } 3,5\ \text{minutos}$$

Sendo assim, a água desse aquecedor elétrico eleva a sua temperatura em  $50^{\circ}\text{C}$  em  $3,5$  minutos.

## Consumo de energia elétrica

Todo aparelho movido à eletricidade consome certa quantidade de energia elétrica. Veja que isso é a aplicação do princípio de conservação de energia, pois esta que é gerada para nosso uso em forma de calor, luz, movimento, entre outros, deve ser originária de alguma fonte.

Essa energia elétrica pode vir de diferentes fontes, como de uma usina hidrelétrica, que gera energia elétrica a partir da conversão da energia potencial da água represada; de sistemas fotovoltaicos, que produzem energia elétrica por meio da energia solar; de usinas eólicas, que são capazes de produzir energias elétricas a partir da energia mecânica dos ventos, entre outras fontes de energia.

A energia elétrica é um meio muito eficaz de transmitir energia de um lugar a outro, com menos perdas e com equipamentos relativamente menores e menos complexos. Imagine transmitir a energia mecânica de Itaipu até São Paulo, por meio de engrenagens e eixos.

Para calcular o consumo de energia, ou a energia potencial elétrica  $U$  fornecida ao sistema, podemos utilizar a definição da potência elétrica. Sendo conhecida a potência em W de cada equipamento, basta multiplicarmos ela pelo tempo de funcionamento do aparelho em segundos, da seguinte forma:

$$U = P \cdot \Delta t$$

Utilizando a potência em W, o tempo em s, a unidade da energia é o Joule.

Esse valor em Joule não é muito usual, pois, para pequenos valores de potência e consumos em tempo moderado, geram valores numericamente grandes. Para solucionar esse problema, foi criada uma unidade de medida, que não está no SI, a fim de atender aos níveis de consumo de energia elétrica. Essa unidade é o Quilowatt-Hora ( $kWh$ ).

Para o cálculo do consumo em  $kWh$ , a potência deve estar em  $kW$  (quilowatt =  $10^3$  W), e o tempo de utilização deve estar em  $h$  (hora = 3600s). A equação deve ser a mesma utilizada para calcular a energia em  $J$ , apenas deve-se utilizar as unidades de forma correta.

Por esse consumo, em  $kWh$ , que pagamos à concessionária de luz de nossa região, para calcular o custo mensal de um aparelho, precisamos saber a energia que ele consome em  $kWh$  e o preço da tarifa de luz. Esse valor é dado em  $reais/kWh$ . Sendo assim:

$$\text{Custo}_{mensal} (\text{reais}) = \text{preço do } kWh \cdot \text{energia } kWh \cdot 30$$

A multiplicação por 30 é referente a um mês médio de 30 dias.

Portanto, resumidamente, para calcular o consumo de energia de um equipamento elétrico, devemos saber a sua potência, em W ou kWh, e multiplicar pelo tempo em que ele fica ligado, em s ou em h. Assim, teremos a energia consumida pelo aparelho em J ou kWh (conforme a unidade utilizada para o cálculo).



## Exemplo

A Tabela 3 apresenta alguns aparelhos de uma residência com suas respectivas potências e o tempo de utilização diário deles.

**Tabela 3.** Dados para o exemplo.

Equipamento	Tempo médio de uso diário (h)	Potência do equipamento (W)
Ar-condicionado	8	1000
Chuveiro elétrico	0,5	5800
Geladeira	24	50
Secador de cabelo	0,2	1400

- a) Calcule a energia elétrica consumida em um mês (30 dias), em J, com todos os aparelhos funcionando conforme a tabela.

$$U = P \cdot \Delta t$$

$$U_{ar-condicionado} = 1.000 \cdot 8 \cdot 3.600 = 28.800.000 \text{ J} \quad [\text{energia consumida em um dia}]$$

$$U_{chuveiro} = 5800 \cdot 0,5 \cdot 3.600 = 10.440.000 \text{ J} \quad [\text{energia consumida em um dia}]$$

$$U_{geladeira} = 50 \cdot 24 \cdot 3.600 = 4.320.000 \text{ J} \quad [\text{energia consumida em um dia}]$$

$$U_{secador} = 1.400 \cdot 0,2 \cdot 3.600 = 1.008.000 \text{ J} \quad [\text{energia consumida em um dia}]$$

$$U_{total} = 28.800.000 + 10.440.000 + 4.320.000 + 1.008.000 = 44.568.000 \text{ J}$$

- b) Calcule a energia elétrica consumida em um mês (30 dias), em kWh, com todos os aparelhos funcionando conforme a tabela.

$$U = \frac{P(W)}{1.000} \cdot \Delta t \cdot 30$$

$$U_{ar-condicionado} = 1.000 \cdot 8 \cdot \frac{30}{1.000} = 240 \text{ kWh [energia em kWh no mês]}$$

$$U_{chuveiro} = 5800 \cdot 0,5 \cdot \frac{30}{1.000} = 87 \text{ kWh [energia em kWh no mês]}$$

$$U_{geladeira} = 50 \cdot 24 \cdot \frac{30}{1.000} = 36 \text{ kWh [energia em kWh no mês]}$$

$$U_{secador} = 1.400 \cdot 0,2 \cdot \frac{30}{1.000} = 8,4 \text{ kWh [energia em kWh no mês]}$$

$$U_{total} = 240 + 87 + 36 + 8,4 = 371,4 \text{ kWh [energia em kWh no mês]}$$

- c) Calcule o custo mensal em reais, com todos os aparelhos funcionando conforme a tabela; a tarifa  $kWh$  é R\$ 0,6613.

$$Custo_{mensal} (\text{reais}) = \text{preço do kWh} \cdot \text{energia kWh}$$

$$Custo_{ar-condicionado} = 0,6613 \cdot 240 = \text{R\$ } 158,72$$

$$Custo_{chuveiro} = 0,6613 \cdot 87 = \text{R\$ } 57,53$$

$$Custo_{geladeira} = 0,6613 \cdot 36 = \text{R\$ } 23,81$$

$$Custo_{secador} = 0,6613 \cdot 8,4 = \text{R\$ } 5,55$$

$$Custo_{total} = 0,6613 \cdot 240 = \text{R\$ } 245,61$$

O custo mensal dessa casa, utilizando esses aparelhos, será de R\$ 245,61.



## Referências

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de física: eletromagnetismo*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v. 3.

VÁLIO, A. B. M. et al. *Ser protagonista: física 3*. 3. ed. São Paulo: Edições SM, 2016.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. *Física III: eletromagnetismo*. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2012.

## Leituras recomendadas

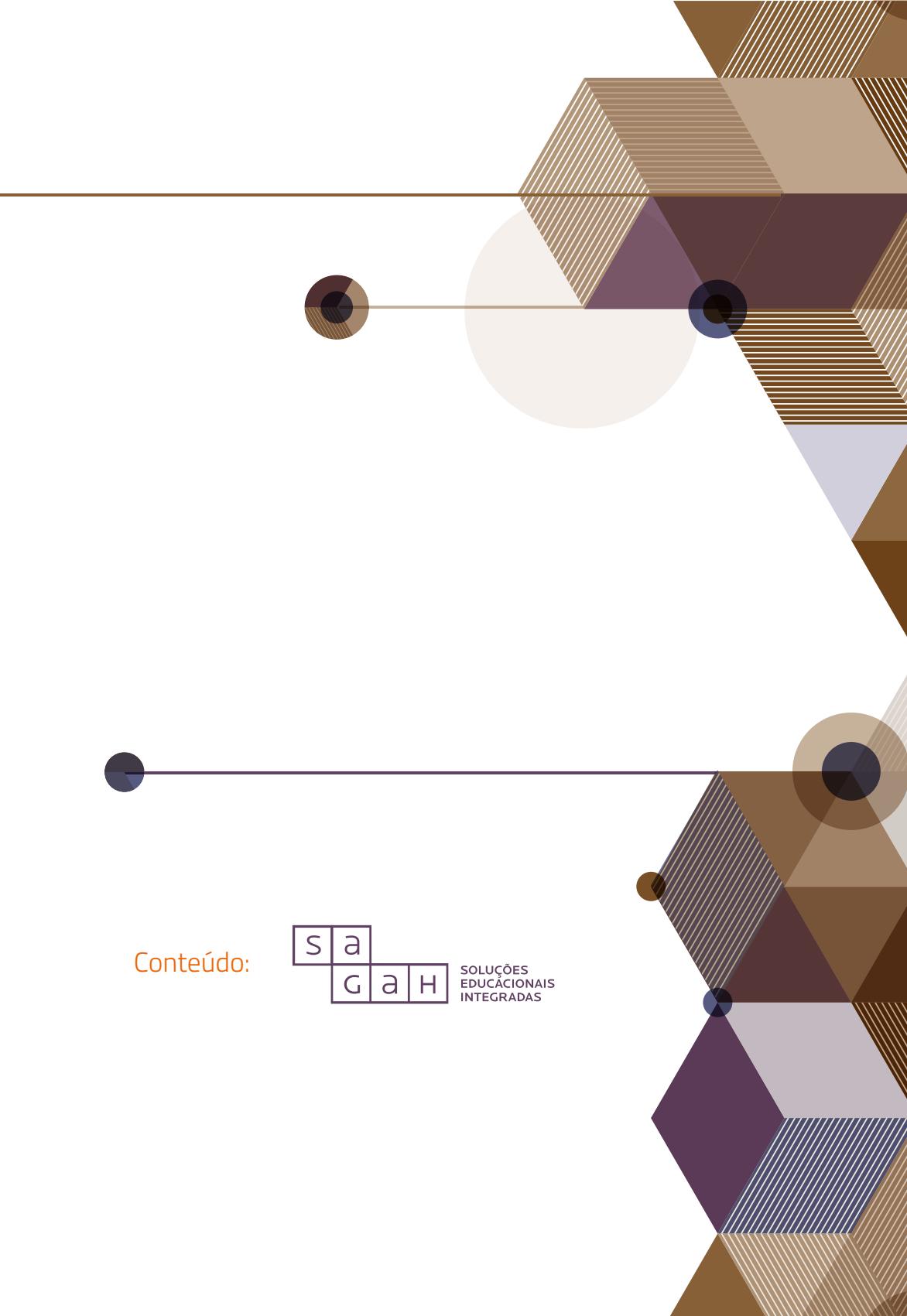
BAUER, W.; WESTFALL, G. D.; DIAS, H. *Física para universitários: eletricidade e magnetismo*. Porto Alegre: AMGH, 2012.

FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T.; FOGO, R. *Física básica*. 3. ed. São Paulo: Atual, 2009.

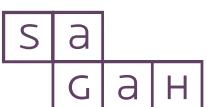
YAMAMOTO, K.; FUKE, L. F. *Física para o ensino médio 3: eletricidade e física moderna*. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2017.

**Encerra aqui o trecho do livro disponibilizado para esta Unidade de Aprendizagem. Na Biblioteca Virtual da Instituição, você encontra a obra na íntegra.**





Conteúdo:



SOLUÇÕES  
EDUCACIONAIS  
INTEGRADAS



## DICA DO PROFESSOR

Nesta Dica do Professor, você vai ver como utilizar as tabelas de consumo de energia elétrica e eficiência energética disponibilizadas pelo Inmetro. Também vai conhecer melhor o selo Procel, criado pelo Inmetro para caracterizar os equipamentos e auxiliar o consumidor no ato da compra.

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!



## EXERCÍCIOS

- 1) Um bipolo apresenta um comportamento linear. Quando é submetido a uma diferença de potencial de 10 V, ele é atravessado por uma corrente elétrica de 500 mA. Determine qual a resistência elétrica do elemento e qual deve ser a ddp aplicada quando a corrente que atravessa é 3 A, respectivamente:
  - A)  $20 \Omega$  e 60 V.
  - B)  $10 \Omega$  e 50 V.
  - C)  $20 \Omega$  e 30 V.
  - D)  $10 \Omega$  e 60 V.
  - E)  $10 \Omega$  e 10 V.
- 2) Dois condutores possuem bitolas de  $1,0 \text{ mm}^2$ ,  $1,5\text{mm}^2$  e  $2,0 \text{ mm}^2$ , os fios têm o mesmo comprimento de 1m. O material do primeiro condutor é o cobre com resistividade igual a  $1,69 \cdot 10^{(-8)}$ , o segundo condutor é feito de alumínio com resistividade igual a  $2,75 \cdot 10^{(-8)}$  e, por fim, o terceiro condutor é de tungstênio com resistividade igual a  $5,25 \cdot 10^{(-8)}$ . Em ordem crescente da resistência dos condutores,

**tem-se:**

- A) Cobre, alumínio e tungstênio.
  - B) Alumínio, cobre e tungstênio.
  - C) Tungstênio, cobre e alumínio.
  - D) Cobre, tungstênio e alumínio.
  - E) Alumínio, tungstênio e cobre.
- 3) **Um aquecedor de água elétrico utiliza-se do efeito Joule para transformar a energia elétrica em energia térmica. Se considerarmos o aquecedor com eficiência de 100%, qual a potência em Watts transferida para a água, sabendo que o aparelho tem uma resistência de  $11\ \Omega$  e é alimentado por uma tensão de 110 Volts?**
- A) 1.000 W.
  - B) 1.100 W.
  - C) 1.210 W.
  - D) 10 W.
  - E) 12.100 W.
- 4) **Uma casa com 3 moradores consome em média 250kWh de energia elétrica. Nessa casa, os moradores utilizam duas geladeiras de 80 W que ficam ligadas 24 horas. Para economizar na conta de energia elétrica, optaram por desligar uma das**

**geladeiras. Com a tarifa do kWh sendo de cinquenta centavos (R\$ 0,50), calcule a economia mensal que essa casa terá na conta de energia.**

- A) R\$ 23,80.
  - B) R\$ 28,80.
  - C) R\$ 57,60.
  - D) R\$ 96,20.
  - E) R\$ 125,00.
- 5) O disjuntor é um dispositivo eletromecânico, destinado a proteger um circuito elétrico contra ocorrências de curto-circuitos e sobrecargas elétricas. Para calcular o valor do dispositivo de proteção, é necessário saber a corrente nominal que percorre no circuito. Os disjuntores têm valores comerciais de 6, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40 Ampères, entre outros. Para escolher o correto para a instalação elétrica, utiliza-se o valor maior mais próximo do valor da corrente nominal do aparelho a ser instalado.

**Um aparelho vai ser instalado em uma alimentação bifásica de 220 V, a potência nominal do aparelho é de 3.500 W. Qual será o dispositivo de proteção que deve ser instalado no equipamento?**

- A) 6 A.
- B) 10 A.
- C) 13 A.
- D) 16 A.

E) 20 A.



## NA PRÁTICA

O chuveiro elétrico pode ser considerado um resistor imerso em água, uma resistência que é atravessada por corrente elétrica e, pelo efeito Joule, produz calor. Algumas especificações no manual do produto são interessantes, assim como eficiência energética e tensão de alimentação. Veja algumas outras informações a respeito desse dispositivo comum no nosso dia a dia:



O chuveiro elétrico é um equipamento que converte energia elétrica em energia térmica.

Com a passagem de uma corrente elétrica sobre um condutor, a resistência do chuveiro, ele sofre o efeito Joule.

Nessa passagem de corrente, os elétrons colidem-se com os átomos do condutor e ocorre uma transformação de energia elétrica em energia térmica gerada pelas sucessivas colisões dos elétrons.

A potência nominal (W) é a potência de trabalho do equipamento, e a potência mínima (W) é a taxa mínima de conversão de energia que o aparelho executa.

## Características técnicas

Verifique se o circuito elétrico exclusivo e independente que alimentará o Chuveiro Tradicional está com a seção mínima (bitola) do condutor conforme tabela abaixo

CONDUTOR NESTE APARELHO	TENSÃO (VOLTS)	POTÊNCIA NOMINAL (WATTS)	POTÊNCIA MÍNIMA (WATTS)	SEÇÃO MÍNIMA DO CONDUTOR (mm²)	DISJUNTOR OU FUSÍVEL LAMPEADO	BUST. MÁX. DO QUADRO DE MEDIDAÇÃO (A)
VERIFICAR ESPECIFICAÇÕES NO PRODUTO NA DISTRIBUIDORA	127	3.000	2.000	4.0	25	20
	127	4.800	3.000	6.0	40	35
	127	5.200	3.400	10.0	50	38
	220	3.000	2.000	2.5	15	26
	220	4.800	3.000	4.0	25	37
	220	6.400	3.400	6.0	35	38

(\*) Para distâncias maiores consulte um profissional habilitado. Quando ocorrer variação na tensão (voltagem também haverá variação na temperatura da água).

O circuito elétrico deverá ter também o condutor de aterramento com impedância máxima de 2 ohms ao qual será conectado o condutor verde-amarelo Chuveiro Tradicional, para garantir a proteção do usuário.

A distância máxima especificada é válida para a seção mínima dos condutores. Esse fato deve-se ao condutor apresentar uma resistência que aumenta com o seu comprimento, aumentando a queda de tensão que ocorre nele. Por norma, os valores máximos de queda de tensão são determinados e, por isso, os condutores devem possuir uma distância máxima para cada valor de seção transversal.

O chuveiro elétrico comporta-se como um resistor quando em funcionamento. Dessa maneira, pode-se calcular a resistência de dois chuveiros de potências e tensões diferentes, como a seguir:

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

Isolando o valor da resistência:

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

Para o modelo de 4.800 W e 127 V:

$$R = \frac{127^2}{4.800}$$

$$R = 3,36\Omega$$

$$R = \frac{220^2}{6.400}$$

$$R = 7,56\Omega$$

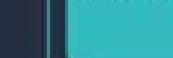
### Energia (Elétrica)

Marca	Corona
Modelo	Quatro Estações
Tensão Nominal	220 V
Potência Nominal	6.500 W
Potência Econômica	2.300 W

### Chuveiro

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA SUPERIOR A  
95%**

#### Classe de potência



A eficiência energética representa o quanto de energia elétrica está sendo convertida em trabalho, no caso do chuveiro, produzindo calor para esquentar a água.





## SAIBA MAIS

Para ampliar o seu conhecimento a respeito desse assunto, veja abaixo as sugestões do professor:

### Lei de Ohm

**Para entender bem a Primeira Lei de Ohm, que parte do princípio de que a corrente elétrica é diretamente proporcional à tensão e inversamente proporcional à resistência, utilize este simulador. Nele, você pode variar os valores e observar o comportamento das variáveis. Acesse o simulador em:**

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!

### Resistência em um Fio

**A resistência de um condutor pode ser determinada por meio de suas características construtivas, área da seção transversal, comprimento do fio e resistividade do material. Essa relação geralmente é chamada de Segunda Lei de Ohm. Utilize este simulador e verifique a influência dessas características na resistência do condutor. Acesse o simulador em:**

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!





## APRESENTAÇÃO

Nesta unidade, estudaremos sobre resistores: tipos, utilizações, especificações, código de cores, configurações.

Bons estudos.

**Ao final desta Unidade de Aprendizagem, você deve apresentar os seguintes aprendizados:**

- Identificar os diferentes tipos de resistores e as maneiras como são especificados.
- Utilizar o código de cores dos resistores para determinar o valor da resistência.
- Calcular a resistência total de diferentes configurações de resistores em série e em paralelo.



## DESAFIO

Explore o conteúdo e pesquise. Use todas as ferramentas disponíveis para solucionar o problema.

Vamos ao desafio!

Você tem um equipamento de som tipo mini-system de três canais: um subwoofer (graves) de 5 Watts e 8 Ohms, e dois canais estéreo de 2,5 Watts cada. No caso de você não utilizar o subwoofer, você tem de ligar um resistor de carga no lugar do alto-falante para não queimar o circuito de saída. Você tem dois resistores de 4,7 Ohms de resistência e 3 Watts de potência de dissipação. Como você vai fazer a ligação desses resistores de modo a atender a necessidade do equipamento?



## INFOGRÁFICO

Veja, na ilustração, um esquema do que veremos nesta unidade referente ao entendimento dos

conceitos de resistor: tipos, aplicações, especificações, código de cores, usos como divisores de tensão e corrente.

## RESISTORES E APLICAÇÕES EM ELETROTÉCNICA

**PROBLEMA:** o resistor de uso geral de quatro bandas (anéis) possui as seguintes cores:

Primeira banda: **vermelho**  
Segunda banda: **azul**  
Terceira banda: **laranja**  
Quarta banda: **dourado**

Determine o seu valor nominal e a margem de tolerância

**QUAL O VALOR DO RESISTOR?**

Valor nominal = 1000 Ohms (1K)  
Tolerância = +10%

Primeiro dígito = 1  
Segundo dígito = 0  
Multiplicador = 100

**Qual a resistência e qual a corrente?**

Color	Digit	Multiplier	Tolerance
Preto	0	$10^0 = 1$	$\pm 1\%$
Marron	1	$10^1 = 10$	$\pm 2\%$
Vermelho	2	$10^2 = 100$	
Laranja	3	$10^3 = 1,000$	
Amarillo	4	$10^4 = 10,000$	
Verde	5	$10^5 = 100,000$	$\pm 0.5\%$
Azul	6	$10^6 = 1,000,000$	$\pm 0.25\%$
Violeta	7	$10^7 = 10,000,000$	$\pm 0.1\%$
Cinza	8	$10^8 = 100,000,000$	
Branco	9	$10^9 = 1,000,000,000$	
Dourado		$10^1 = 0.01$	$\pm 5\%$
Prateado		$10^{-1} = 0.1$	$\pm 10\%$
Nenhum			$\pm 20\%$

**Resistência de fio de alta potência**

**Resistência de precisão**

**Resistor de alta potência**

**Resistência variável**

**Potenciômetro**



## CONTEÚDO DO LIVRO

Leia o capítulo Resistores e Aplicações em Eletrotécnica que faz parte da obra *Eletrotécnica* e é a base teórica desta Unidade de Aprendizagem.

Boa leitura.

# ELETROTÉCNICA

Diogo Braga da  
Costa Souza



S719e Souza, Diogo Braga da Costa.  
Eletrotécnica [recurso eletrônico] / Diogo Braga da Costa Souza, Rodrigo Rodrigues. – Porto Alegre : SAGAH, 2017.

Editado como livro em 2017.  
ISBN 978-85-9502-055-9

1. Eletrotécnica. 2. Engenharia elétrica. I. Rodrigues, Rodrigo. II. Título.

CDU 621.3

# Resistores e aplicações em eletrotécnica

## Objetivos de aprendizagem

Ao final deste texto, você deve apresentar os seguintes aprendizados:

- Identificar os diferentes tipos de resistores e as maneiras como são especificados.
- Utilizar o código de cores dos resistores para determinar o valor da resistência.
- Calcular a resistência total de diferentes configurações de resistores em série e em paralelo.

## Introdução

Neste capítulo, você vai saber mais sobre os resistores, conhecendo seus principais tipos, suas utilizações, suas especificações, seu código de cores e suas configurações.

## Os resistores comerciais

Os resistores são utilizados para regular o nível de corrente nos circuitos eletrônicos. Como é inviável produzir todos os valores de resistência, há valores comerciais de resistores os quais estão disponíveis na Tabela 1:

**Tabela 1.** Valores comerciais de resistores.

1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6
1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0
3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1
5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1

*Fonte:* Adaptada de Boylestad (2011).

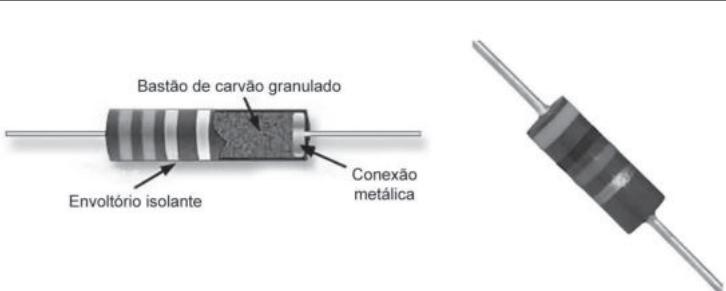
Os múltiplos e submúltiplos dos valores presentes na Tabela 1 são os valores de resistências dos resistores comerciais.

Como há uma vasta variedade de utilização dos resistores, há também diferentes tipos, e cada tipo possui especificações que atendem a utilizações específicas.

## Resistores de resistência fixa

Os resistores de resistência fixa estão presentes em diversos circuitos eletrônicos. Sua principal característica é seu valor constante de resistência quando utilizado em suas condições nominais. Seus tipos são diferenciados pelas possíveis aplicações, pela potência nominal e pelo seu nível de tolerância (MARCUS, 2001). Você vai ver agora alguns dos mais utilizados:

- Resistor de filme de carbono: É o tipo de resistor mais antigo do mercado e comumente o mais barato. Sua composição é com grãos de carvão misturados com um material isolante (antigamente era a borracha vulcanizada, mas ela foi substituída pela cerâmica), conforme mostrado na Figura. Possui valores de tolerância que variam entre 5 e 10%, sendo um tipo de resistor de baixa precisão.



**Figura 1.** Ilustração de composição de um resistor de filme de carbono.

*Fonte:* Mundo da Elétrica (2017).

- Resistor de filme metálico: São resistores que constituem filmes metálicos enrolados junto a um bastão de cerâmica, conforme a Figura 2. Seu valor de resistência é definido pela espessura do filme metálico, conforme a segunda lei de Ohm. Estes resistores possuem valores de tolerância menores que os dos resistores de filme de carbono, variando de 1 a 5%.



**Figura 2.** Ilustração de composição de um resistor de filme metálico.

*Fonte:* Mundo da Elétrica (2017).

- Resistores de fio: São resistores aplicados em circuitos de potências maiores, pois são o tipo de resistor fixo que suporta os maiores níveis de potência. Os resistores de fio são constituídos por um longo fio

condutor, normalmente de nicromo, conforme a Figura 3. Seu valor de resistência é determinado pelo comprimento e pela seção do fio utilizado, conforme a segunda lei de OHM. Diferentemente dos outros tipos descritos, este resistor não é especificado pelo código de cores, mas, sim, por um código impresso no dispositivo. Estes resistores possuem altos níveis de tolerância, que variam entre 5 e 20%.



**Figura 3.** Ilustração de composição de um resistor de fio.

*Fonte:* Mundo da Elétrica (2017).

- Resistores SMD: Todos os outros resistores citados anteriormente são do tipo PTH, os quais necessitam de furos na placa para fixação. Já os componentes SMD não necessitam destes furos, possibilitando uma menor ocupação de espaço físico, reduzindo muito o tamanho dos circuitos. Estes resistores possuem baixas tolerâncias, que variam entre 1 e 5%, devido a sua aplicação.



**Figura 4.** Resistores SMD.

**Fonte:** Szasz-Fabian Jozsef / Shutterstock.com.

## Resistores de resistência variável

São resistores que variam o seu valor de resistência mesmo em condições nominais de acordo com um estímulo externo (MARCUS, 2001). Os tipos de resistores variáveis manualmente são:

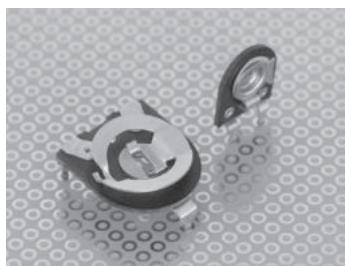
- Potenciômetros: São resistores variáveis manuais que podem ser rotativos ou deslizantes. Estes dispositivos são utilizados como interface de equipamentos com o usuário, como no controle de volume de equipamentos sonoros.



**Figura 5.** Potenciômetro rotativo.

*Fonte:* Optimarc / Shutterstock.com

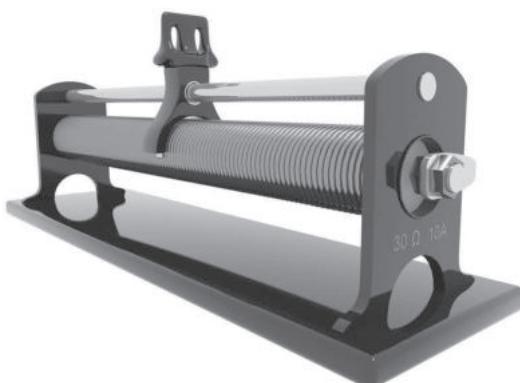
- *Trimpot*: Possui funcionamento similar ao dos potenciômetros, mas com intuitos diferentes. Os *trimpots* são utilizados em aplicações que exigem ajustes internos, realizados apenas por profissionais qualificados, não sendo acessíveis ao usuário.



**Figura 6.** Trimpots.

Fonte: Lefteris Papaulakis/ Sutterstock.com.

- Reostato: É um tipo de resistência variável manualmente que se diferencia dos potenciômetros e dos *trimpots* pelos seus altos níveis de potências nominais. Este equipamento é utilizado para controle em motores.



**Figura 7.** Reostato.

Fonte: Egorcos / Shutterstock.com.

- Década resistiva: É um equipamento que possui vários ajustes para a determinação de valores de resistência com muita precisão. Este tipo de equipamento é utilizado em laboratórios de calibração.



**Figura 8.** Década resistiva.

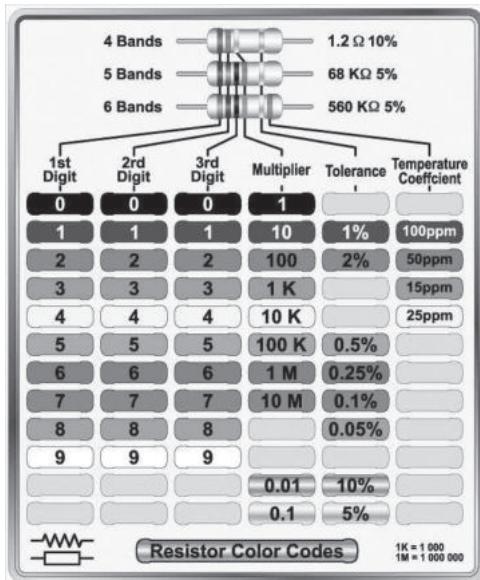
Fonte: Bagarel (c2006-2017).

### Saiba mais

Para conhecer mais sobre a aplicação de décadas resistivas nos processos de calibração de equipamentos de medição de resistência, consulte o *Manual de instruções técnicas* (COPEL, 2007).

## Código de cores

Para determinar as características do resistor, é impresso em cada componente um código que representa os seus valores nominais. Um dos tipos mais comuns de código para resistores é o código de cores, em que cada cor representa um valor, conforme a Figura 9. Com a leitura correta, é possível determinar a especificação do resistor (MARCUS, 2001).



Para visualizar os códigos de cores de resistores com mais detalhes, utilize o código abaixo.



**Figura 9.** Valores correspondentes às cores.

Fonte: Fouad A. Saad / Shutterstock.com

No comércio existem resistores de 4 faixas, 5 faixas e 6 faixas, sendo que cada um destes possui uma leitura adequada. Com base na Figura 8, você vai ver agora como é feita essa leitura.

## Resistores de 4 faixas

Os resistores de 4 faixas possuem os maiores valores de tolerância de seus valores de resistência, de 5 a 10%, e o menor preço. Assim, essas características o tornam o tipo mais utilizado em equipamentos simples, com baixa precisão (BOYLESTAD, 2011).

Sua leitura é realizada de acordo com os seguintes passos:

1. As cores das duas primeiras faixas são lidas juntas, formando um número de dois algarismos decimais.
2. A cor da terceira faixa é o expoente de 10, o qual representará o fator multiplicador para o valor encontrado nas duas primeiras faixas.

3. A cor da quarta faixa representa o valor de tolerância da resistência do resistor. Se o resistor possuir apenas 3 faixas, isso significa que não há faixa de tolerância, considerando-se, assim, +/-20% como valor de tolerância.



### Exemplo



1<sup>a</sup> Faixa: marrom = 1  
2<sup>a</sup> Faixa: vermelho = 2  
3<sup>a</sup> Faixa: dourado = -1  
4<sup>a</sup> Faixa: prata = 10%

4. Unimos os valores das duas primeiras faixas:

12

5. Aplicamos o expoente de 10, presente na terceira faixa, para formar o fator multiplicador:

$12 \cdot 10^{-1}$

6. Aplicamos o valor da tolerância, representado pela cor da quarta faixa:

$12 \cdot 10^{-1} +/ - 10\%$

Com a leitura realizada, o valor da resistência do resistor do exemplo é  $1,2 \Omega$ , com tolerância de  $+/-10\%$ . Assim, este resistor pode possuir qualquer valor de resistência entre  $1,08$  e  $1,32 \Omega$ .

## Resistores de 5 faixas

Esses resistores possuem maior precisão (daí sua classificação como “resistores de precisão”), e seu valor de tolerância comumente é menor, de 1 a 2%.

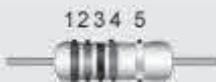
As aplicações desse tipo de resistor incluem os equipamentos utilizados em instrumentação e os equipamentos hospitalares, que exigem alta precisão (BOYLESTAD, 2011).

A leitura do seu valor de resistência é realizada de acordo com os seguintes passos:

1. As cores das três primeiras faixas são lidas juntas, formando um número de três algarismos decimais, o que possibilita uma maior precisão do valor de resistência.
2. A cor da quarta faixa é o expoente de 10, o qual representará o fator multiplicador para o valor encontrado nas duas primeiras faixas.
3. A cor da quinta faixa representa o valor de tolerância da resistência do resistor. Se o resistor possuir apenas 3 faixas, isso significa que não há faixa de tolerância, considerando-se, assim, +/-20% como valor de tolerância.



### Exemplo



- 1<sup>a</sup> Faixa: azul = 6
- 2<sup>a</sup> Faixa: prata = 8
- 3<sup>a</sup> Faixa: preto = 0
- 4<sup>a</sup> Faixa: vermelho = 2
- 5<sup>a</sup> Faixa: dourado = 5%

4. Unimos os valores das três primeiras faixas:

**680**

5. Aplicamos o expoente de 10, presente na quarta faixa, para formar o fator multiplicador:

$$680 \cdot 10^2$$

6. Aplicamos o valor da tolerância, representado pela cor da quinta faixa:

$$680 \cdot 10^2 \text{ } +/- 5\%$$

7. Com a leitura realizada, o valor da resistência do resistor do exemplo é  $68 \text{ k}\Omega$ , com tolerância de  $+/-5\%$ . Assim, este resistor pode possuir qualquer valor de resistência entre  $64,6$  e  $71,4 \text{ k}\Omega$ .

## Resistores de 6 faixas

Estes resistores são muito parecidos com os de 5 faixas, mas com uma informação que torna o seu valor de resistência mais preciso. A sexta faixa determina a variação de resistência referente à variação de temperatura (BOYLESTAD, 2011).

A leitura desse tipo de resistor é feita de acordo com os seguintes passos:

1. As cores das três primeiras faixas são lidas juntas, formando um número de três algarismos decimais, o que possibilita uma maior precisão do valor de resistência;
2. A cor da quarta faixa é o expoente de dez, o qual representará o fator multiplicador ao valor encontrado nas duas primeiras faixas;
3. A cor da quinta faixa representa o valor de tolerância da resistência do resistor. Se o resistor possuir apenas 3 faixas significa que não há faixa de tolerância, sendo assim, considera-se  $+/-20\%$  como valor de tolerância.
4. A cor da sexta faixa representa o coeficiente de temperatura da resistência cuja unidade representa parte por milhão por grau Kelvin.



### Exemplo



1<sup>a</sup> Faixa: verde = 5

2<sup>a</sup> Faixa: azul = 6

3<sup>a</sup> Faixa: preto = 0

4<sup>a</sup> Faixa: alaranjado = 3

5<sup>a</sup> Faixa: dourado = 5%

6<sup>a</sup> Faixa: vermelho = 50 ppm

1. Unimos os valores das três primeiras faixas:

560

2. Aplicamos o expoente de 10, presente na quarta faixa, para formar o fator multiplicador:

$560 \cdot 10^3$

3. Aplicamos o valor da tolerância, representado pela cor da quinta faixa:

$560 \cdot 10^3 \text{ } +/ - 5\%$

4. Aplicamos o valor do coeficiente de temperatura sobre o valor do resistor, representado pela cor da sexta faixa. Isso significa que, com a variação de temperatura, sua resistência variará:

$$50 \cdot 560 \cdot 10^3 / 106 = 28 \Omega/K$$

5. Haverá variação de  $28 \Omega$  a cada grau Kelvin de variação de temperatura.

Com a leitura realizada, o valor da resistência do resistor do exemplo é  $560 \text{ k}\Omega$ , com tolerância de  $+/-5\%$ . Assim, este resistor pode possuir qualquer valor de resistência entre  $532$  e  $588 \text{ k}\Omega$ , com uma variação de  $28 \Omega/\text{K}$  (isto é, uma variação de  $0,005\%$  por grau Kelvin).



### Saiba mais

Para saber mais sobre a influência da variação de temperatura na resistência dos resistores, consulte o livro *Introdução à Análise de Circuitos* (BOYLESTAD, 2011).

## Associação de resistores

Os resistores podem ser associados de diversas formas, possibilitando a obtenção de circuitos cuja resistência equivalente seja um valor diferente dos valores comerciais de resistências. A associação de resistores é feita de duas formas básicas: associação série e associação paralela. Qualquer outra associação diferente consiste na junção das duas, e é denominada associação mista (BOYLESTAD, 2011).

### Associação série

Os resistores estão em série se estiverem no mesmo ramo, não havendo nós entre eles, conforme o circuito da Figura 10. A mesma corrente circula em todos os resistores (BOYLESTAD, 2011).

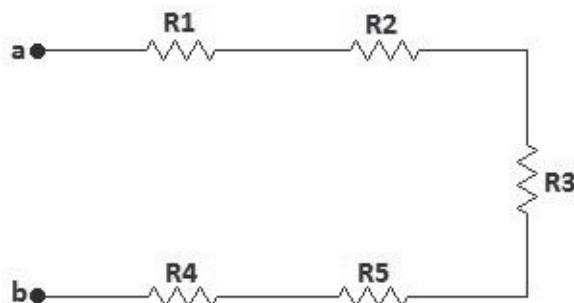


Figura 10. Circuito de associação série de resistores.

O cálculo da resistência total dos circuitos em série é realizado por meio da soma dos valores de resistência dos resistores associados. Para o circuito da Figura 10, obtemos o valor de resistência total,  $R_{ab}$ , por:

$$R_{ab} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5$$

Veja um exemplo:

### Exemplo

No circuito da Figura 10, considerando os valores dos resistores R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> e R<sub>5</sub> como 4,7 kΩ, 5,1 kΩ, 10 kΩ, 2,2 kΩ e 300 Ω, respectivamente, qual será o valor da resistência equivalente, R<sub>ab</sub>, do circuito?

Resolução: como as resistências estão em série, o valor de resistência total é obtido pela soma das resistências dos resistores. Assim:

$$R_{ab} = 4700 + 5100 + 10000 + 2200 + 300$$

$$R_{ab} = 22,3 \text{ k}\Omega$$

## Associação paralela

Nesse tipo de associação, os resistores estão em paralelo, e todos eles estão ligados nos mesmos nós, como mostrado na Figura 11. Observe que todos os resistores estão ligados diretamente aos pontos “a” e “b” (BOYLESTAD, 2011).

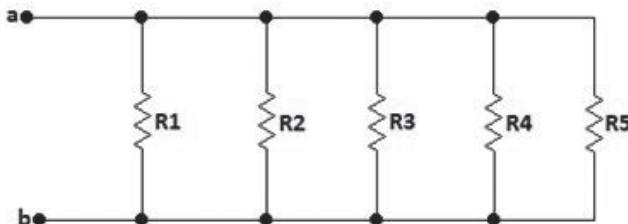


Figura 11. Circuito de associação paralela de resistores.

O cálculo da resistência total do circuito de associação paralela é realizado por meio da seguinte expressão:

$$\frac{1}{R_{ab}} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} + \frac{1}{R4} + \frac{1}{R5}$$

Essa expressão calcula a resistência total de qualquer circuito paralelo que tenha qualquer quantidade de resistores.

Veja um exemplo.



### Exemplo

No circuito da Figura 11, considerando os valores dos resistores R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> e R<sub>5</sub> como 4,7 kΩ, 5,1 kΩ, 10 kΩ, 2,2 kΩ e 300 Ω, respectivamente, qual será o valor da resistência total, R<sub>ab</sub>, do circuito?

Resolução: Como as resistências estão em paralelo, o valor do inverso da resistência total é obtido pela soma dos inversos das resistências dos resistores.

$$\frac{1}{R_{ab}} = \frac{1}{4700} + \frac{1}{5100} + \frac{1}{10000} + \frac{1}{2200} + \frac{1}{300}$$

$$R_{ab} = 232,74 \Omega$$

### Associação mista

Na associação de resistores mista, utilizamos parte do circuito em série, e parte em paralelo, formando um circuito diferente dos tipos série e paralelo (BOYLESTAD, 2011).

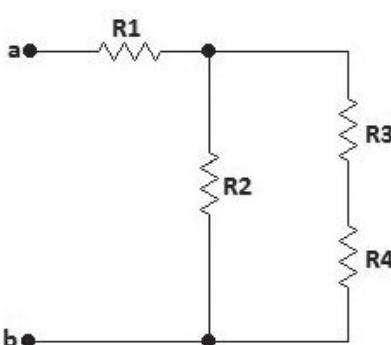


Figura 12. Circuito de associação mista de resistores.

O melhor método para a resolução desse tipo de associação é utilizar as expressões de solução dos métodos básicos, série e paralelo, unindo as resistências. Assim, primeiro calculamos as resistências equivalentes série; depois, calculamos as resistências paralelas, até que o circuito seja reduzido a apenas um valor de resistência, a resistência total.

Veja um exemplo.



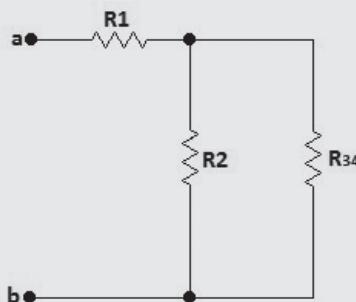
## Exemplo

No circuito da Figura 12, considerando os valores dos resistores R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub> como 4,7 kΩ, 5,1 kΩ, 10 kΩ, 2,2 kΩ, respectivamente, qual será o valor da resistência total, R<sub>ab</sub>, do circuito?

Resolução: Iniciamos a análise dos circuitos mistos por meio da associação de resistores em série, como os resistores R<sub>3</sub> e R<sub>4</sub>:

$$R_{34} = R_3 + R_4 = 10000 + 2200 = 12,2 \text{ k}\Omega$$

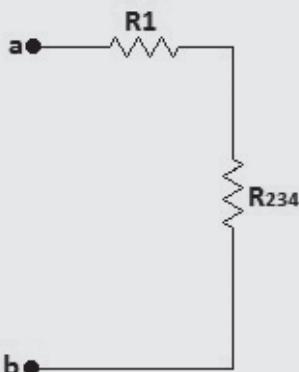
O valor equivalente à associação série de R<sub>34</sub> é 12,2 kΩ, reduzindo o circuito inicial ao circuito equivalente 1, mostrado a seguir.



A partir do circuito equivalente 1, é possível verificar a associação paralela entre R<sub>2</sub> e R<sub>34</sub>. Assim, o próximo passo é calcular R<sub>234</sub>:

$$\frac{1}{R_{234}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{34}} = \frac{1}{5100} + \frac{1}{12200} = 3596,53 \Omega$$

O valor equivalente à associação série de  $R_{234}$  é 3596,53  $\Omega$ , reduzindo o circuito equivalente 1 ao circuito equivalente 2, mostrado a seguir.



A partir do circuito equivalente 2, é possível determinar a última associação necessária ao exemplo. Neste caso, é uma associação série entre R1 e  $R_{234}$ .

$$R_{ab} = R1 + R_{234} = 4700 + 3596,53 =$$

$$R_{ab} = 8296,53 \Omega$$



### Fique atento

O resultado do cálculo do valor da resistência total do circuito representa um valor de resistência que pode substituir todos os resistores do circuito, possuindo a mesma resposta de corrente se aplicado o mesmo nível de tensão nos dois circuitos.



## Exercícios

1. O valor da resistência elétrica de um condutor ôhmico não varia se mudarmos somente:

  - a) O material de que ele é feito.
  - b) Seu comprimento.
  - c) A diferença de potencial a que ele é submetido.
  - d) A área de sua seção reta.
  - e) A sua resistividade.
2. Dispõe-se de três resistores de resistência 300 Ohms cada um. Para obter uma resistência de 450 Ohms, utilizando os três resistores, como devemos associá-los?

  - a) Dois em paralelo, ligados em série com o terceiro.
  - b) Os três em paralelo.
  - c) Dois em série, ligados em paralelo com o terceiro.
  - d) Os três em série.
  - e) Nenhuma resposta anterior.
3. Temos três resistores ligados em série com as resistências de 120, 330 e 470 Ohms. Qual é a resistência total?

  - a) 450 Ohms.
  - b) 920 Ohms.
- c) 800 Ohms.
- d) 590 Ohms.
- e) 120 Ohms.
4. Um resistor tem as cores amarelo, violeta, vermelho e dourado. Determine a resistência e a tolerância desse resistor.

  - a) 3300 Ohms e 10% de tolerância.
  - b) 4300 Ohms e 10% de tolerância.
  - c) 5300 Ohms com 20 % de tolerância.
  - d) 3900 Ohms com 10% de tolerância.
  - e) 4700 Ohms com 5% de tolerância.
5. Temos quatro alto-falantes de 8 Ohms e 50 Watts de potência. Para termos uma associação total dos quatro alto-falantes também de 8 Ohms, como devemos ligar e qual é a potência resultante?

  - a) Série, 100 Watts
  - b) Série/paralelo, 200 Watts
  - c) Paralelo, 100 Watts
  - d) Paralelo, 200 Watts
  - e) Nenhuma das respostas anteriores.



## Referências

BAGAREL. *Década Resistiva MDR-611 Minipa*. Bagarel, c2006-2017. Disponível em: <<http://loja.bagarel.com.br/decada-resistiva-mdr-611-minipa-p186>>. Acesso em: 03 fev. 2017.

BOYLESTAD, R. L. *Introdução à análise de circuitos*. 10. ed. São Paulo: Pearson Education, 2011.

COPEL DISTRIBUIÇÃO. *Manual de instruções técnicas*. [S.I.]: Copel, 2007. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/0/CFBB161F21D48B81032574F1005C9003/\\$FILE/MIT\\_161705-Procedimentos\\_de\\_Ensaios\\_Mecanicos\\_de\\_Equipamentos\\_e\\_Ferramentas.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/0/CFBB161F21D48B81032574F1005C9003/$FILE/MIT_161705-Procedimentos_de_Ensaios_Mecanicos_de_Equipamentos_e_Ferramentas.pdf)>. Acesso: 27 jan. 2017.

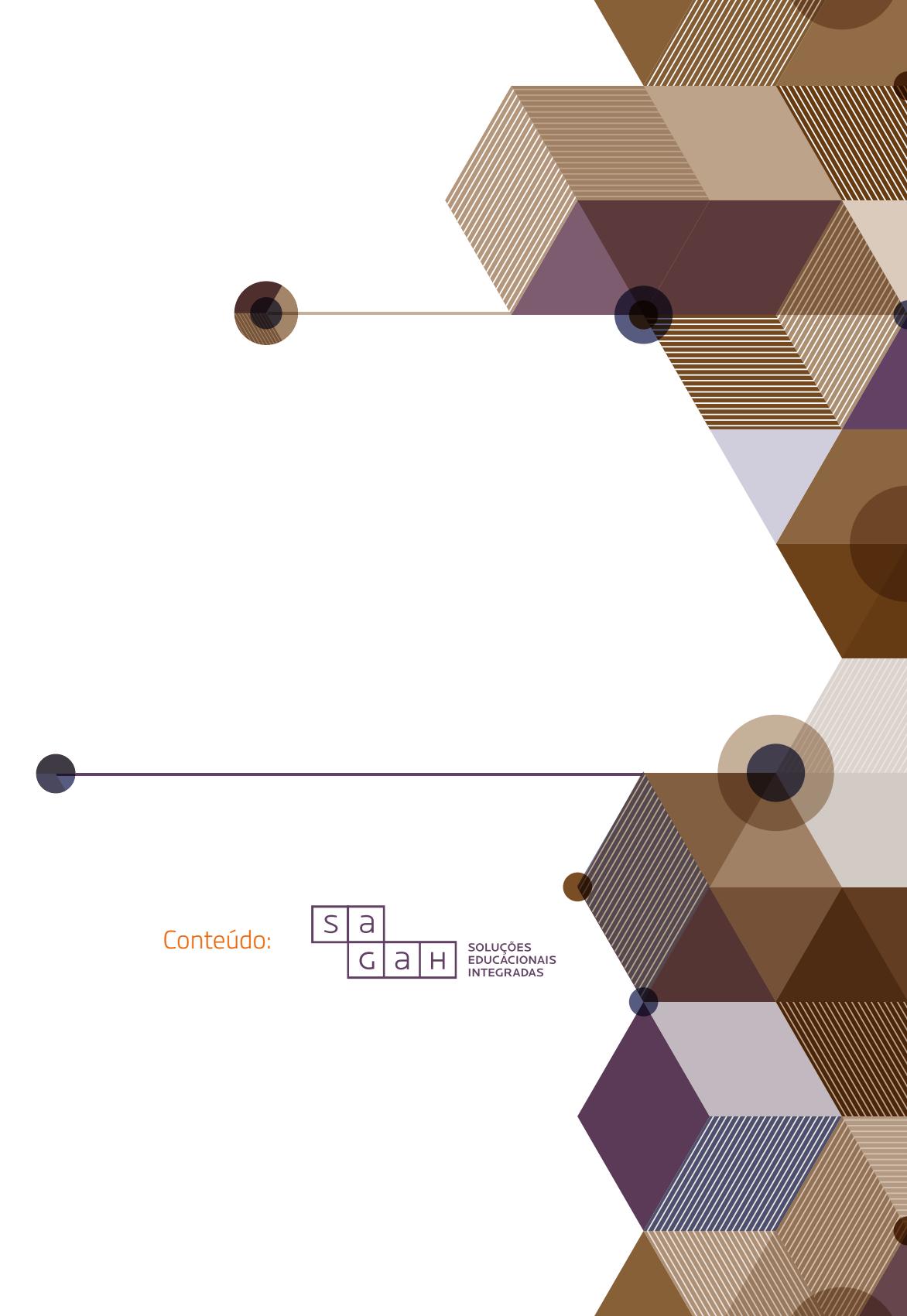
MARKUS, O. *Circuitos elétricos: corrente contínua e corrente alternada*. São Paulo: Érica, 2001.

MUNDO DA ELÉTRICA. *Resistores fixos*. [S.I.]: Munda da elétrica, 2017. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/resistores-fixos/>>. Acesso em: 01 fev. 2017.

## Leitura recomendada

NILSSON, J.; RIELDEL, S.; *Circuitos elétricos*. 8. ed. São Paulo: Pearson Education, 2009

Encerra aqui o trecho do livro disponibilizado para esta Unidade de Aprendizagem. Na Biblioteca Virtual da Instituição, você encontra a obra na íntegra.



Conteúdo:



SOLUÇÕES  
EDUCACIONAIS  
INTEGRADAS



## DICA DO PROFESSOR

Resistores são componentes elétricos especificamente projetados para oferecer resistência à passagem da corrente elétrica, limitando a corrente e dividindo a tensão (circuitos divisores de tensão).

Servem para representar uma carga resistiva, e a teoria da eletricidade pode ser aplicada em fórmulas, como a Lei de Ohm e a Lei da Potência.

O resistor, ao oferecer resistência à passagem da corrente elétrica, gera calor, que tem de ser dissipado (chamado de Efeito Joule). O tamanho físico de um resistor vai definir a potência dissipada pelo mesmo.

Vamos acompanhar mais detalhes no vídeo.

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!



## EXERCÍCIOS

- 1) **O valor da resistência elétrica de um condutor ôhmico não varia se mudarmos somente:**
  - A) O material de que ele é feito
  - B) Seu comprimento
  - C) A diferença de potencial a que ele é submetido
  - D) A área de sua secção reta
  - E) A sua resistividade

- 2) Dispõe-se de três resistores de resistência 300 Ohms cada um. Para obter uma resistência de 450 Ohms, utilizando os três resistores, como devemos associá-los?
- A) Dois em paralelo, ligados em série com o terceiro.
- B) Os três em paralelo.
- C) Dois em série, ligados em paralelo com o terceiro.
- D) Os três em série.
- E) Nenhuma resposta acima
- 3) Temos três resistores ligados em série com as resistências de 120, 330 e 470 Ohms. Qual a resistência total?
- A) 450 Ohms
- B) 920 Ohms
- C) 800 Ohms
- D) 590 Ohms
- E) 120 Ohms
- 4) Um resistor tem as cores: amarelo, violeta, vermelho e dourado. Qual a resistência e a tolerância?

- A) 3300 Ohms e 10% de tolerância
- B) 4300 Ohms e 10% de tolerância
- C) 5300 Ohms com 20 % de tolerância
- D) 3900 Ohms com 10% de tolerância
- E) 4700 Ohms com 5% de tolerância.
- 5) Temos quatro alto-falantes de 8 Ohms e 50 Watts de potência. Para termos uma associação total dos quatro alto-falantes também de 8 Ohms, como devemos ligar e qual a potência resultante?
- A) Série, 100 Watts
- B) Série/paralelo, 200 Watts
- C) Paralelo, 100 Watts
- D) Paralelo, 200 Watts
- E) Nenhuma das respostas acima.



NA PRÁTICA



Resistores são muito utilizados como elemento de carga para circuitos. Um equipamento de som profissional tem uma determinada potência em Watts e tem impedância (resistência) de carga de cada canal definida no equipamento. Os alto-falantes devem ser ligados em uma configuração em série/paralelo, tal que a impedância (resistência) resultante seja igual ou pouco maior que a especificada. Se temos quatro alto-falantes de 8 Ohms, para que a impedância resultante seja igual à do equipamento, no caso também 8 Ohms, os alto-falantes devem ser ligados em série/paralelo, adequando a carga ao equipamento de som.



## SAIBA MAIS

Para ampliar o seu conhecimento a respeito desse assunto, veja abaixo as sugestões do professor:

### Conhecendo o Resistor

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!

### **Associação de Resistores**

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!

### **Física: Leis de Ohm e Resistores**

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!

# Leis Básicas da Eletricidade



## APRESENTAÇÃO

O engenheiro elétrico adquire vários conhecimentos durante a graduação, e um dos aspectos mais importantes e fundamentais para a sua formação é geralmente chamado de circuito elétrico.

Círculo elétrico é um modelo matemático que se comporta como um sistema elétrico real, proporcionando importante fundamentação à aprendizagem.

Nesta Unidade de Aprendizagem, você vai conhecer a lei fundamental para circuitos elétricos, denominada lei de Ohm, vai analisar circuitos aplicando as leis de Kirchhoff para as tensões (LKT) e para as correntes (LKC), e vai compreender ainda as aplicações das leis básicas da eletricidade.

Bons estudos.

**Ao final desta Unidade de Aprendizagem, você deve apresentar os seguintes aprendizados:**

- Reconhecer a lei de Ohm.
- Determinar as leis de Kirchhoff.
- Analisar aplicações das leis básicas da eletricidade.



## DESAFIO

Todos os anos há acidentes fatais causados por choques elétricos em áreas residenciais, onde os circuitos elétricos são, normalmente, alimentados por 120 V. O choque elétrico provoca efeitos danosos pela passagem da corrente através do corpo humano. Segundo a lei de Ohm, a corrente depende da tensão aplicada e também da resistência do corpo humano. Dependendo das condições do corpo humano, se seco ou molhado de água do mar, por exemplo, a resistência pode variar de  $100 \Omega$  (se encharcado com água salgada) até cerca de  $500.000 \Omega$  (se a pele estiver seca). Sabe-se que uma corrente igual ou superior a 0,07 A pode fazer com que o coração sofra um distúrbio sério e provavelmente fatal.

Você, professor de engenharia elétrica, está lendo para a sua turma de alunos sobre o caso de

Roberto.

Roberto está de férias com a família em sua casa de praia e, após um banho de mar, corre até a casa para ligar o som, conectando-o à eletricidade. Roberto esquece que está molhado e descalço e acaba sofrendo um choque elétrico. Nesse caso, a tensão fixa é de 120 V e a resistência do corpo molhado de Roberto é igual a  $1000\ \Omega$ .

Nessas condições, explique para a turma o valor da corrente elétrica que circulará no corpo de Roberto. Esse choque elétrico poderá causar distúrbios sérios ao coração? Por quê?



## INFOGRÁFICO

Em um circuito elétrico, podemos analisar e calcular o valor da corrente, da tensão e/ou da potência elétrica. Uma das maneiras de chegar a esses valores é conhecendo a lei de Ohm. Conhecer essa e outras leis permite que você aplique técnicas para analisar circuitos simples ou complexos.

No Infográfico a seguir, você poderá observar a lei de Ohm, representada por uma função linear. A resistência é representada pelo quociente  $V/I$ , que é constante.

# LEI DE Ohm

A lei de Ohm afirma que a **tensão V** em um **resistor R** é diretamente proporcional à **corrente I** através dele.

Onde:

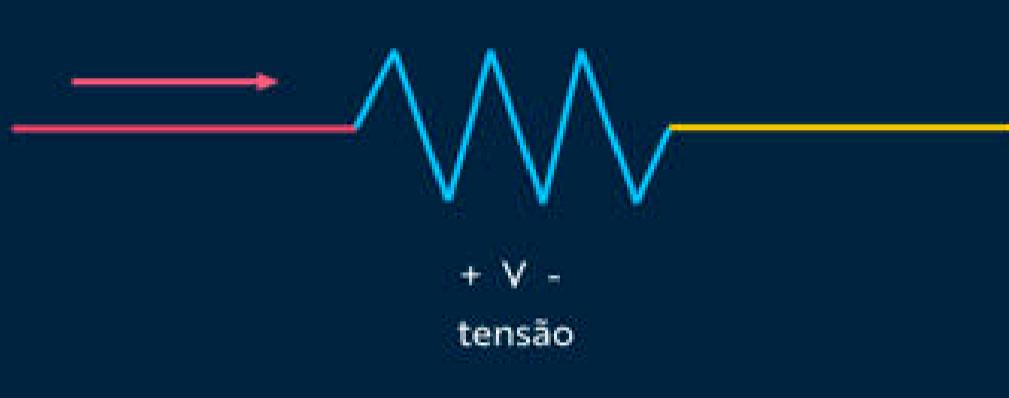
$$V=RI$$

V = tensão (volt ou V)

I = corrente (ampère ou A)

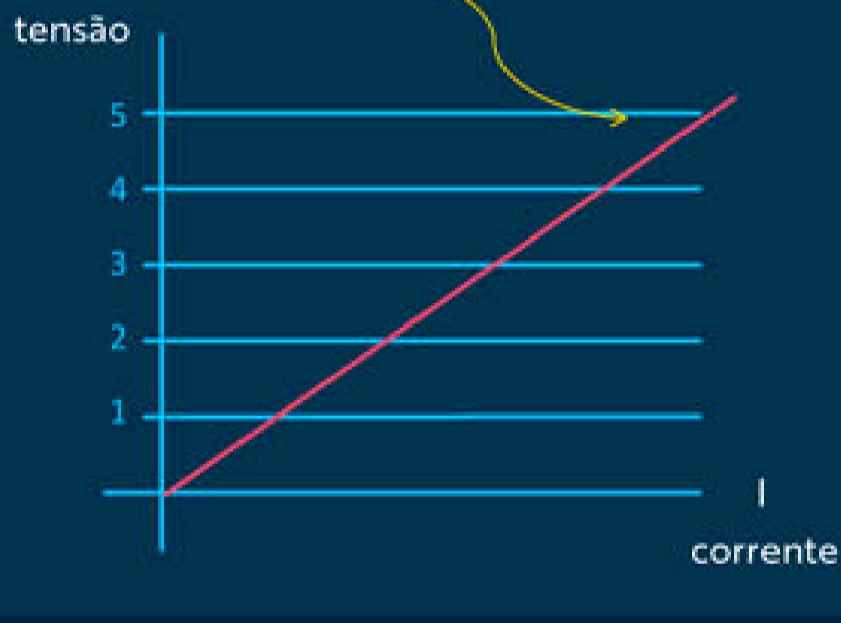
R = resistência (ohm ou Ω)

## Corrente e tensão nos terminais de um resistor



Para a tensão e a corrente indicadas, a lei de Ohm é:  $V = RI$ .

## Característica tensão-corrente para um resistor linear



$$V=RI$$

ou

$$I = \frac{V}{R}$$

ou

$$R = \frac{V}{I}$$

Como **R** é constante,  $V = RI$  é a equação de uma linha reta, e por isso o resistor é dito linear.

Para que a relação entre V e I seja constante, uma linha reta é a única solução possível para todos os valores da corrente I.

O quociente  $V/I$  é uma constante

V Tensão	I Corrente	R Resistor
1,0	0,5	2,0
2,0	1,0	2,0
3,0	1,5	2,0
4,0	2,0	2,0
5,0	2,5	2,0



## CONTEÚDO DO LIVRO

Compreender as leis básicas da eletricidade, como a lei de Ohm e as leis de Kirchhoff, é fundamental para conhecer e calcular os valores da corrente, da tensão e/ou da potência elétrica de um circuito elétrico. Depois de entender como elas são aplicadas, pode-se iniciar a análise de circuitos elétricos, dos mais simples aos mais complexos.

No capítulo Leis básicas da eletricidade, da obra *Circuitos elétricos*, você verá uma das leis mais conhecidas e aplicadas em análise de circuitos elétricos, a lei de Ohm. Em seguida, irá aplicar as leis de Kirchhoff, a saber, a lei de Kirchhoff para as tensões (LKT) e a lei de Kirchhoff para as correntes (LKC). Por fim, irá conhecer algumas aplicações das leis básicas da eletricidade.

Boa leitura.

# CIRCUITOS ELÉTRICOS

Jordana Leandro Seixas

# Leis básicas da eletricidade

## Objetivos de aprendizagem

Ao final deste texto, você deve apresentar os seguintes aprendizados:

- Reconhecer a lei de Ohm.
- Determinar a lei de Kirchhoff.
- Analisar aplicações das leis básicas da eletricidade.

## Introdução

Na análise de circuitos elétricos, geralmente calculamos o valor da corrente, da tensão e/ou da potência elétrica. Para encontrarmos esses valores de forma eficiente, é necessário conhecer as leis fundamentais da teoria de circuitos: a lei de Ohm e as leis de Kirchhoff. Após a compreensão dessas leis, estaremos prontos para aplicar técnicas de análise de circuitos simples ou mais complexos, como a associação de resistores em série, em paralelo ou mistos, a divisão de tensão, a divisão de corrente, entre outras.

Neste capítulo, você vai conhecer a mais popular dentre as leis da teoria de circuitos: a lei de Ohm. Na sequência, você vai analisar circuitos aplicando as leis de Kirchhoff, que são compostas pela lei de Kirchhoff para as tensões (LKT) e pela lei de Kirchhoff para as correntes (LKC). Por fim, você vai verificar aplicações para as leis básicas da eletricidade.

## Lei de Ohm

Um condutor elétrico apresenta propriedades que são características de um resistor, ou seja, quando uma corrente flui por ele, os elétrons colidem com os átomos no condutor — isso impede o movimento dos elétrons. Quanto maior o número de colisões, maior será a resistência do condutor. Basicamente, um resistor é qualquer dispositivo que apresenta resistência. A resistência é definida como a habilidade do elemento em resistir ao fluxo de corrente elétrica. A unidade de medida da resistência é o ohm ( $\Omega$ ).

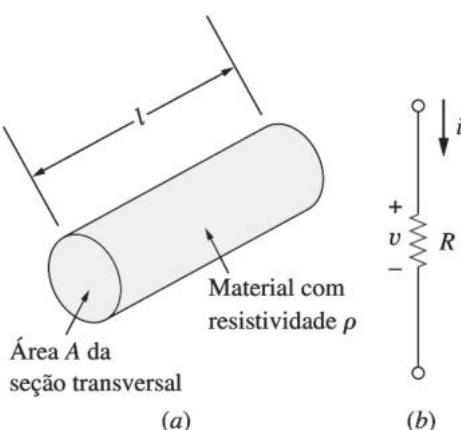
A resistência ( $R$ ) para qualquer material com área uniforme de seção transversal  $A$  e comprimento  $l$  é diretamente proporcional ao comprimento e inversamente proporcional à área da seção transversal. Na forma matemática,

$$R = \rho \frac{l}{A} \text{ (definição de resistência)} \quad (1)$$

Onde:

- $\rho$  = resistividade do material ( $\Omega\text{-m}$ )
  - $l$  = comprimento (m)
  - $A$  = área ( $\text{m}^2$ )

O resistor é um modelo para o comportamento da resistência do material à passagem da corrente elétrica. A Figura 1a apresenta um condutor com seção transversal uniforme, com área  $A$ , comprimento  $l$  e resistividade  $\rho$  do material. A Figura 1b ilustra o símbolo do resistor utilizado em circuitos elétricos; ele é o elemento passivo mais simples.



**Figura 1.** (a) Condutor com seção transversal uniforme; (b) símbolo da resistência usado em circuitos.

*Fonte:* Alexander e Sadiku (2013, p. 27).

O cobre e o alumínio são considerados bons condutores, pois eles possuem baixa resistividade; já os materiais isolantes, como o vidro e o teflon, apresentam alta resistividade. O Quadro 1 apresenta a resistividade ( $\rho$ ) de alguns materiais comuns, como a prata, o ouro, o carbono e o papel.

**Quadro 1.** Resistividade de alguns materiais comuns

Material	Resistividade ( $\Omega \cdot m$ )	Emprego
Prata	$1,64 \times 10^{-8}$	Condutor
Cobre	$1,72 \times 10^{-8}$	Condutor
Alumínio	$2,8 \times 10^{-8}$	Condutor
Ouro	$2,45 \times 10^{-8}$	Condutor
Carbono	$4 \times 10^{-5}$	Semicondutor
Germânia	$47 \times 10^{-2}$	Semicondutor
Silício	$6,4 \times 10^2$	Semicondutor
Papel	$10^{10}$	Isolante
Mica	$5 \times 10^{11}$	Isolante
Vidro	$10^{12}$	Isolante
Teflon	$3 \times 10^{12}$	Isolante

Fonte: Alexander e Sadiku (2013, p. 27).

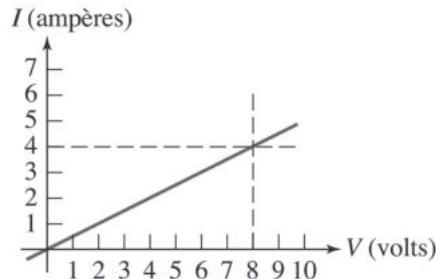
A lei de Ohm afirma que a tensão  $v$  em um resistor  $R$  é diretamente proporcional à corrente  $i$  que passa através dele, conforme lecionam Alexander e Sadiku (2013). Assim,

$$v = iR \text{ (lei de Ohm)} \quad (2)$$

Onde a constante de proporcionalidade  $R$  é denominada de resistência, e a unidade de resistência é o ohm ou  $\Omega$ .

Representando a Equação linear (2) graficamente em  $i \cdot v$ , a Figura 2 ilustra o resultado de uma reta que passa pela origem. Portanto, consideramos o resistor como um resistor linear.

Aplicando-se a lei de Ohm conforme a Equação (2), devemos ficar atentos ao sentido da corrente  $i$  e à polaridade da tensão  $v$ , que devem estar de acordo com a convenção de sinal passivo, ilustrada na Figura 1b, implicando que a corrente passa de um potencial superior (+) para um mais inferior (-), de forma que  $v = iR$ . Caso a corrente flua de um potencial inferior (-) para um potencial superior (+), teremos  $v = -iR$ .



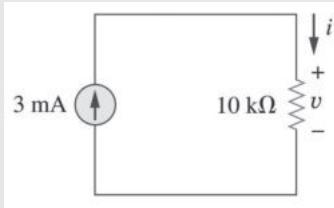
**Figura 2.** Relação corrente–tensão para um resistor linear.

Fonte: Hayt Jr, Kemmerly e Durbin (2014, p. 24).



### Exemplo

Encontre a tensão  $v$  para o circuito ilustrado na Figura 3.



**Figura 3.** Circuito para o exemplo acima.

Fonte: Alexander e Sadiku (2013, p. 31).

#### Solução:

Encontrando a tensão  $v$  pela lei de Ohm, Equação (2), obtemos:

$$v = iR = (3 \times 10^{-3}) \times (10 \times 10^3) = 30 V$$

## Lei de Kirchhoff

Analizar circuitos empregando apenas a lei de Ohm nem sempre é suficiente; somente nos casos de circuitos mais simples, quando a tensão nos terminais de cada elemento e a corrente correspondente forem determinadas, conforme

lecionam Nilsson e Riedel (2009). Utilizando-se a lei de Ohm juntamente com as leis de Kirchhoff, o estudo de circuitos elétricos ficará mais completo e satisfatório.

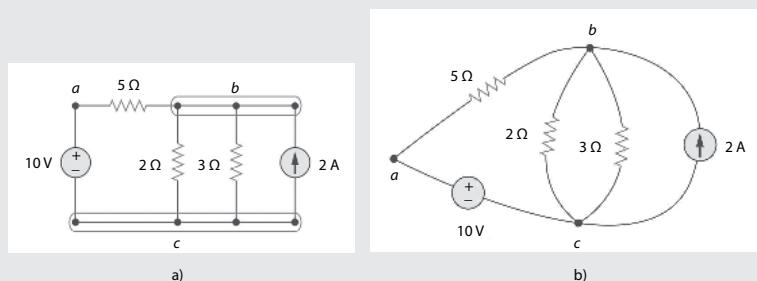
As leis de Kirchhoff são compostas por duas leis: a lei de Kirchhoff para tensão (LKT), ou lei das malhas, e a lei de Kirchhoff para corrente (LKC), ou lei dos nós.



### Fique atento

Os elementos de um circuito elétrico geralmente são interligados de várias maneiras diferentes, e a interconexão entre elementos ou dispositivos é denominada rede. A configuração dos elementos da rede inclui ramos, nós e laços, conforme explicam Alexander e Sadiku (2013). Seguem as definições desses elementos:

- **Ramo:** representa um único elemento de dois terminais, seja resistor ou fonte. Na Figura 4a, há 5 ramos: a fonte de tensão de 10 V, a fonte de corrente de 2 A e os três resistores.
- **Nó:** é o ponto em que um ou mais elementos têm uma conexão em comum. Na Figura 4a, há três nós: a, b e c.
- **Laço:** é o caminho fechado que é formado a partir de um nó, passa por uma série de nós e retorna ao nó de partida. A Figura 4b apresenta três laços abca: com o resistor de  $2\Omega$ , com o resistor de  $3\Omega$  e com a fonte de corrente de 2 A. Outro laço é formado com o resistor de  $2\Omega$  em paralelo com o resistor de  $3\Omega$ .



**Figura 4.** (a) nós, ramos e laços; (b) Figura (a) redesenhada.

*Fonte:* Alexander e Sadiku (2013, p. 32).

## Lei de Kirchhoff para tensão (LKT)

Conforme Alexander e Sadiku (2013), a soma algébrica de todas as tensões em torno de um caminho fechado (ou laço) é zero, segundo a LKT. Matematicamente, essa lei pode ser representada por:

$$\sum_{m=1}^M v_m = 0 \quad (3)$$

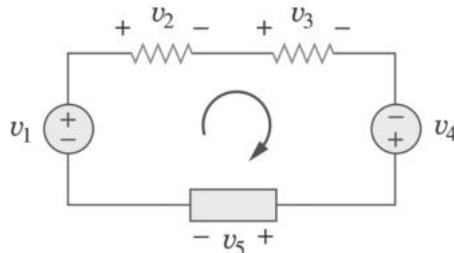
Onde  $M$  é o número de tensões no laço e  $v_m$  é a m-ésima tensão.

Aplicando-se a LKT, Equação (3), no circuito ilustrado na Figura 5 e escolhendo a convenção do laço no sentido horário (ou anti-horário) para as tensões, a soma algébrica das tensões seria  $-v_1 + v_2 + v_3 - v_4 + v_5$ . Dessa forma, a LKT será:

$$-v_1 + v_2 + v_3 - v_4 + v_5 = 0$$

E pode ser reescrita desta maneira:

$$v_2 + v_3 + v_5 = v_1 + v_4$$



**Figura 5.** Circuito com um laço ilustrando a LKT.

*Fonte:* Alexander e Sadiku (2013, p. 36).



## Exemplo

Encontre as tensões  $v_1$  e  $v_2$  no circuito ilustrado na Figura 6.

### Solução:

1<sup>a</sup> forma de solução: aplicando-se a LKT, usando a Equação (3). Adotando o sentido horário para a corrente que passa pelo circuito (Figura 6b), teremos:

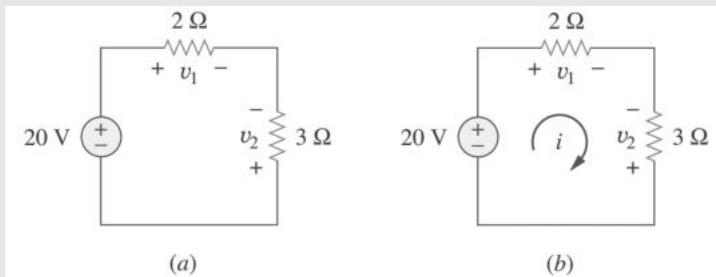
$$-20 + v_1 + v_2 = 0 \Rightarrow -20 + 2i + 3i = 0 \Rightarrow -20 + 5i = 0 \Rightarrow i = 4A \Rightarrow i = 4A$$

Como  $v_1 = 2i$  e  $v_2 = 3i$ , teremos:  $v_1 = 8V$  e  $v_2 = 12V$ .

2<sup>a</sup> forma de solução: aplicando-se a divisão de tensão para encontrar as tensões  $v_1$  e  $v_2$ . Assim, obtemos:

$$v_1 = \frac{2}{2+3} 20 = 8V$$

$$v_2 = \frac{3}{3+2} 20 = 12V$$



**Figura 6.** Circuito com uma fonte de tensão independente e dois resistores em série.

*Fonte:* Alexander e Sadiku (2013, p. 37).

## Lei de Kirchhoff para corrente (LKC)

Conforme Alexander e Sadiku (2013), a soma algébrica das correntes que entram em um nó é zero, segundo a LKC. Matematicamente, essa lei pode ser representada por:

$$\sum_{n=1}^N i_n = 0 \quad (4)$$

Onde  $N$  é o número de ramos conectados ao nó e  $i_n$  é a enésima corrente que entra (ou sai) do nó.

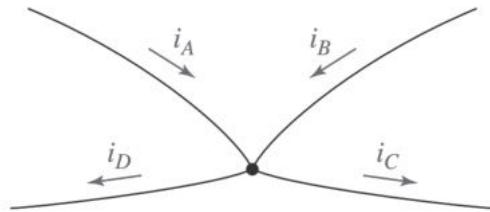
A convenção das correntes que entram e saem do nó pode ser adotada como positiva para a corrente que entra no nó e negativa para a corrente que sai do nó, ou vice-versa.

A Figura 7 ilustra correntes entrando ( $i_A$  e  $i_B$ ) e saindo ( $i_C$  e  $i_D$ ) do nó. Aplicando-se a LKC, Equação (4):

$$i_A + i_B + (-i_C) + (-i_D) = 0$$

Isso pode ser reescrito desta outra forma:

$$i_A + i_B = i_C + i_D$$



**Figura 7.** Correntes em um nó ilustrando a LKC.

Fonte: Hayt Jr., Kemmerly e Durbin (2014, p. 40).



## Exemplo

Encontre as correntes  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  no circuito ilustrado na Figura 8a.

### Solução:

1<sup>a</sup> forma de solução: aplicando-se a LKC ao nó M, usando a Equação (4). Inicialmente definimos o nó inferior como o nó de referência (ou nó terra), exibido na Figura 8a. Assim, obtemos:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \Rightarrow \frac{20 - V_M}{16} - \frac{V_M}{36} - \frac{V_M}{72} = 0$$

O MMC de 16, 36 e 72 é igual a 144. Assim, obtemos o valor de  $V_M$ :

$$\frac{9(20 - V_M) - 4V_M - 2V_M}{144} = 0 \Rightarrow 15V_M = 180 \Rightarrow V_M = 12$$

Mas,

$$I_1 = \frac{20 - V_M}{16} = \frac{20 - 12}{16} = 0,5 \text{ A}; I_2 = \frac{V_M}{36} \cong 333,3 \text{ mA}; I_3 = \frac{V_M}{72} \cong 166,7 \text{ mA}$$

2<sup>a</sup> forma de solução: aplicando-se a divisão de corrente para encontrar as correntes  $I_2$  e  $I_3$ , sendo  $I_1$  conhecida. Inicialmente, encontramos a resistência equivalente:

$$R_{eq1} = \frac{36 \times 72}{36 + 72} = 24 \Omega$$

A resistência equivalente total, no circuito ilustrado na Figura 8b, será:

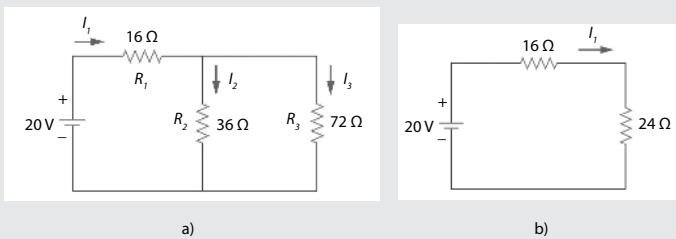
$$R_{eqT} = 16 \Omega + 24 \Omega = 40 \Omega$$

A corrente  $I_1$  é a corrente total do circuito que sai da fonte de 20 V. Pela lei de Ohm, obtemos:

$$I_1 = \frac{20}{40} = 0,5 \text{ A}$$

Para as correntes  $I_2$  e  $I_3$ , aplicando-se a divisão de corrente, obtemos:

$$I_2 = \frac{72}{72+36} \times 0,5 \cong 333,3 \text{ mA} \text{ e } I_3 = \frac{36}{36+72} \times 0,5 \cong 166,7 \text{ mA}$$



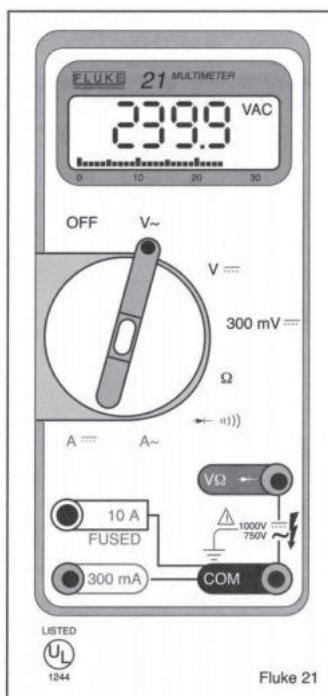
**Figura 8.** (a) Circuito com duas malhas e alimentado por uma fonte de tensão independente; (b) O circuito em (a) simplificado.

**Fonte:** Sadiku, Musa e Alexander (2014, p. 110).

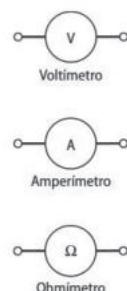
# **Aplicações das leis básicas da eletricidade**

Uma das aplicações mais utilizadas na área da eletricidade está relacionada às medições de tensão, corrente e resistência. O instrumento utilizado para medir tensões é o voltímetro. O amperímetro é utilizado para medir corrente. Já o ohmímetro é utilizado para medir resistências. Essas instrumentações podem ser reunidas em um único instrumento, denominado multímetro.

O multímetro mais utilizado pelos eletricistas é o multímetro digital, ilustrado na Figura 9. Ele é de fácil interpretação, evitando erros de leitura pelo usuário, já que a saída digital do medidor indica o valor numérico da medição. Ele apresenta seletores de função, faixa e conectores de entrada para receber as pontas de prova. Os multímetros digitais precisam, basicamente, de baterias internas para alimentar os circuitos eletrônicos internos, para auxiliar nas medições de tensão, corrente e resistência.



#### A. Multimetro digital

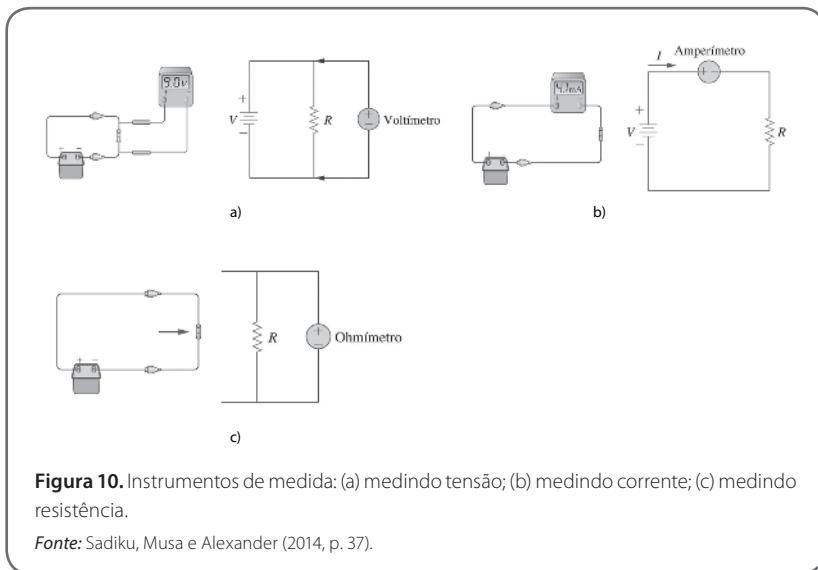


### B. Símbolos de medidores típicos

**Figura 9.** Multímetro digital.

**Fonte:** Petruzella (2014, p. 152).

Para medir a tensão, precisamos conectar o voltímetro, ou o multímetro na função voltímetro, em paralelo com o elemento que desejamos medir a tensão, como ilustrado na Figura 10a. Para medir a corrente, precisamos conectar o amperímetro, ou o multímetro na função amperímetro, em série com o elemento por onde a corrente flui e deseja-se medir, como ilustra a Figura 10b. Para medir a resistência de um elemento, é preciso conectar o ohmímetro, ou o multímetro na função ohmímetro, através dele; antes, porém, uma das extremidades do elemento deve estar desconectada do circuito, para que a resistência possa ser medida de forma eficiente, como ilustra a Figura 10c.



**Figura 10.** Instrumentos de medida: (a) medindo tensão; (b) medindo corrente; (c) medindo resistência.

*Fonte:* Sadiku, Musa e Alexander (2014, p. 37).



## Fique atento

Na maioria dos resultados, a unidade do Sistema Internacional de Unidades (SI) é muito pequena ou muito grande para ser utilizada de forma conveniente. Dessa forma, prefixos baseados na potência de 10 são aplicados para a obtenção de unidades maiores e menores em relação às unidades básicas, como mostrado a seguir.

Prefixos SI		
Multiplicador	Prefixo	Símbolo
$10^{12}$	tera	T
$10^9$	giga	G
$10^6$	mega	M
$10^3$	quilo	k
$10^2$	hecto	h
10	deca	da
$10^{-1}$	deci	d
$10^{-2}$	centi	c
$10^{-3}$	mili	m
$10^{-6}$	micro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	N
$10^{-12}$	pico	p

Todos esses prefixos estão corretos, mas os engenheiros costumam utilizar com mais frequência os prefixos que representam potências divisíveis por 3. Já os prefixos centi, deci, deca e hecto são raramente utilizados. Por exemplo, a maioria dos engenheiros descreveria  $10^{-5}$  s ou 0,00001 s como 10  $\mu$ s, em vez de 0,01 ms ou 10.000.000 ps.

Fonte: Adaptado de Sadiku, Musa e Alexander (2014, p. 5).



## Fique atento

### Precavações ao trabalhar com eletricidade

Antes de trabalhar com eletricidade, siga rigorosamente as seguintes regras, para evitar o risco de choque elétrico:

- Verifique se o circuito está desligado antes de iniciar os trabalhos.
- Desligue sempre o aparelho ou a lâmpada antes de consertá-lo.
- Deixe um aviso para que ninguém ligue a eletricidade enquanto você trabalha; coloque um adesivo sobre o disjuntor, interruptor ou sobre o soquete vazio do fusível.
- Verifique se o isolante do metal está em bom estado e utilize as ferramentas adequadamente.
- Para medir a tensão ou a corrente, ligue a energia e anote a leitura. Para medir a resistência, não ligue a energia.
- Não utilize roupas folgadas, para não ter o risco de ficar preso em algum aparelho.
- Utilize calças, camisas de manga longa e sapatos adequados; mantenha-os secos.
- Não fique em piso molhado ou metálico, pois a junção de eletricidade e água oferece riscos.
- Procure ficar em área com iluminação adequada.
- Não use adornos (relógios, anéis, pulseiras, etc.).
- Descarregue qualquer capacitor que possa reter alta tensão.
- Não trabalhe sozinho.
- Em caso de áreas em que a tensão é elevada, procure trabalhar com apenas uma mão por vez.

Estas são algumas informações importantes para evitar choques e acidentes, que podem causar lesões e danos ao trabalhador que lida com eletricidade. Zelar pela segurança é uma regra fundamental para o ser humano.

Fonte: Sadiku, Musa e Alexander (2014).



## Referências

ALEXANDER, C. K.; SADIKU, M. N. O. *Fundamentos de circuitos elétricos*. Porto Alegre: Bookman, 2013.

HAYT JR., W. H.; KEMMERLY, J. E.; DURBIN, S. M. *Análise de circuitos em engenharia*. 8. ed. Porto Alegre: Mc Graw Hill, 2014.

NILSSON, J. W.; RIEDEL, S. A. *Circuitos elétricos*. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2009.

PETRUZELLA, F. D. *Eletrotécnica I*. Porto Alegre: Bookman, 2014. (Série Tekne).

SADIKU, M. N. D.; MUSA, S.; ALEXANDER, C. K. *Análise de circuitos elétricos com aplicações*. Porto Alegre: Bookman, 2014.

## Leituras recomendadas

BOYLESTAD, R. L. *Introdução a análise de circuitos*. 12. ed. São Paulo: Pearson, 2012.

JOHNSON, D. E.; HILBURN, J. L.; JOHNSON, J. R. *Fundamentos de análise de circuitos elétricos*. 4. ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1994.

NAHVI, M.; EDMinISTER, J. A. *Circuitos elétricos*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014. (Coleção Schaum).

Encerra aqui o trecho do livro disponibilizado para esta Unidade de Aprendizagem. Na Biblioteca Virtual da Instituição, você encontra a obra na íntegra.

Conteúdo:





## DICA DO PROFESSOR

As leis de Ohm e de Kirchhoff podem ser aplicadas na resolução de problemas em um circuito elétrico. Trabalhar em conjunto com essas leis garante que a compreensão dos circuitos elétricos será mais completa e satisfatória. Vale ressaltar que as leis de Kirchhoff se dividem em duas: a lei de Kirchhoff para tensão (LKT) ou lei das malhas; a lei de Kirchhoff para corrente (LKC) ou lei dos nós.

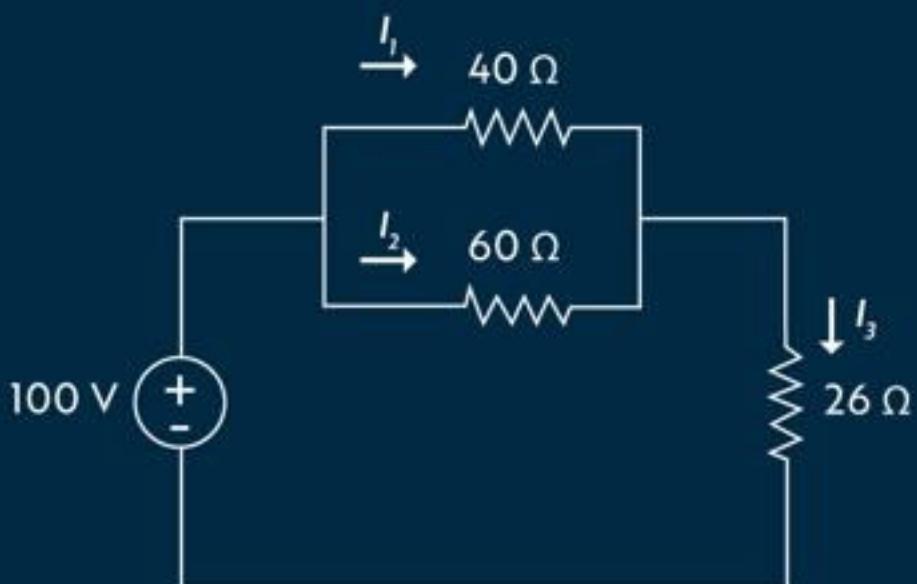
Nesta Dica do Professor, vamos analisar um circuito elétrico para calcular a corrente que circula em um resistor, aplicando as leis de Ohm e de Kirchhoff para a resolução do problema.

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!



## EXERCÍCIOS

1) No circuito da figura a seguir, as correntes  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  são, respectivamente:



- A) 1,2 A; 0,8 A; 2 A.

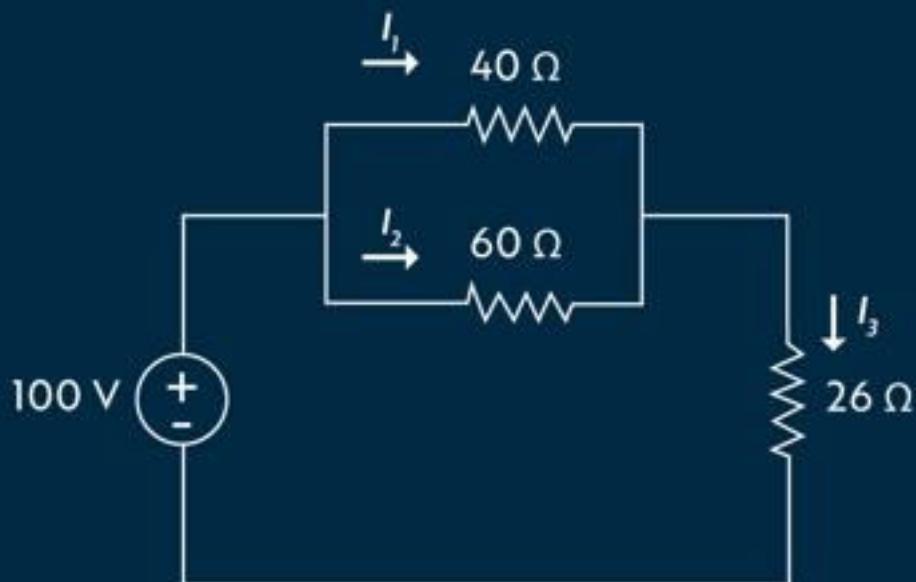
B) 0,8 A; 1,2 A; 2 A.

C) 2 A; 1,2 A; 0,8 A.

D) 2,2 A; 1,8 A; 4 A.

E) 1,8 A; 2,2 A; 4 A.

2) No circuito da figura a seguir, as tensões sobre os resistores de  $40\ \Omega$ ,  $60\ \Omega$  e  $26\ \Omega$  são, respectivamente:



A) 52 V; 52 V; 48 V.

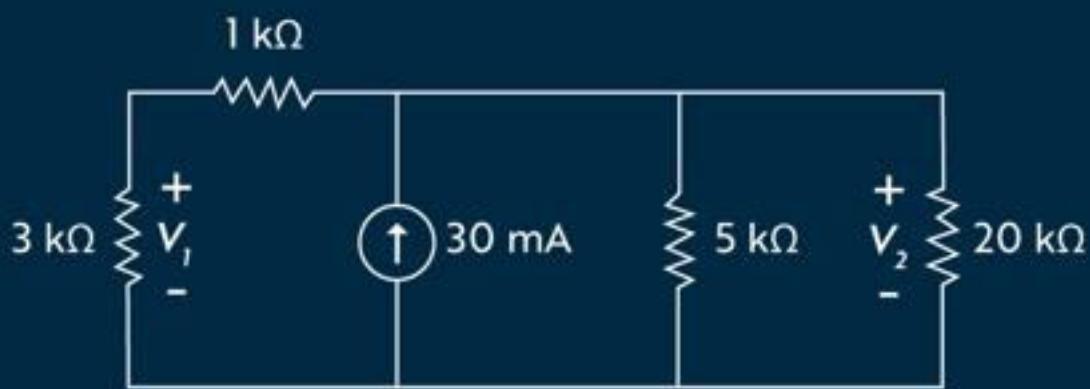
B) 48 V; 48 V; 52 V.

C) 40 V; 40 V; 60 V.

D) 50 V; 50 V; 50 V.

E) 45 V; 45 V; 55 V.

3) No circuito da figura a seguir, as tensões  $v_1$  e  $v_2$  são, respectivamente:



A) 50 V e 50 V.

B) 60 V e 45 V.

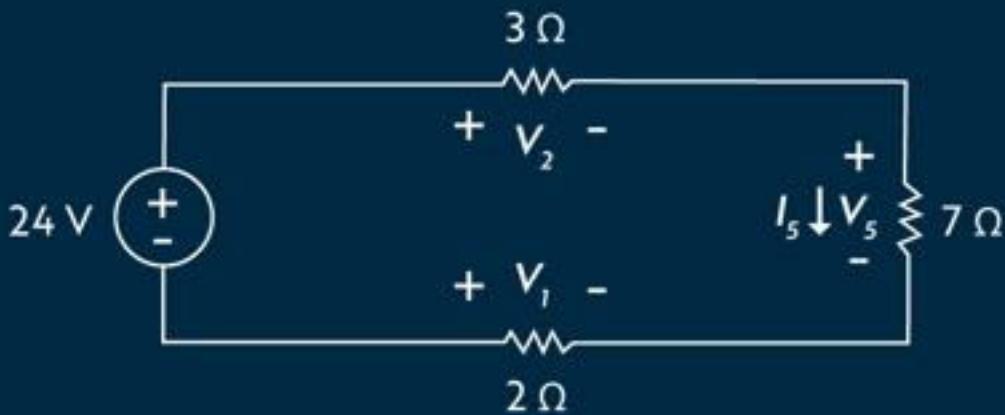
C) 45 V e 60 V.

D) 35 V e 70 V.

E) 70 V e 35 V.

4) No circuito da figura a seguir, os valores da corrente  $I_5$ , da tensão  $v_1$  e da tensão

v<sub>2</sub> são, respectivamente:



A) 4 A; 2 V; 5 V.

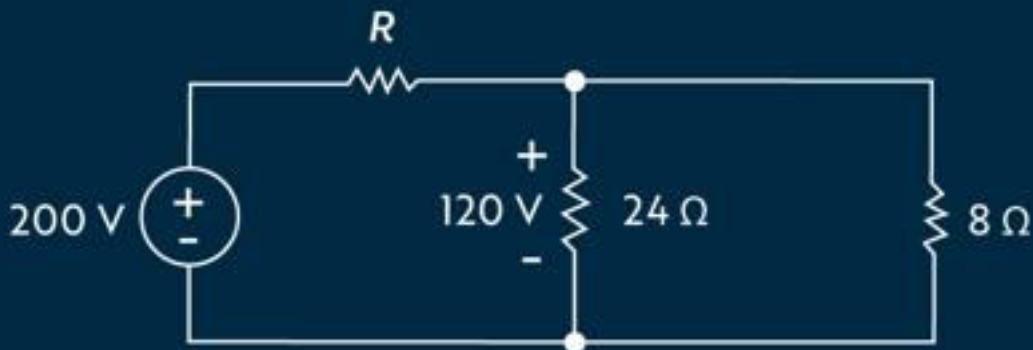
B) -2 A; -4 V; 6 V.

C) -2 A; 4 V; 6 V.

D) 2 A; -4 V; 6 V.

E) 2 A; 4 V; 5 V.

5) No circuito da figura a seguir, aplicando as leis de Ohm e Kirchhoff, o valor da resistência R será:



A)  $5\Omega$ .

B)  $3\Omega$ .

C)  $2\Omega$ .

D)  $6\Omega$ .

E)  $4\Omega$ .



## NA PRÁTICA

Com a aplicação da lei de Ohm, podemos calcular valores da corrente, da tensão e/ou da potência elétrica de um circuito elétrico. Essa lei pode ser aplicada em diversas situações do dia a dia, como, por exemplo, para encontrar a corrente que circula pelo chuveiro elétrico e descobrir se ele gasta mais energia no verão ou no inverno.

Veja um circuito simples de chuveiro e entenda como aplicar a lei de Ohm e descobrir em qual estação do ano o gasto de energia é maior.

# FUNCIONAMENTO DE UM CHUVEIRO ELÉTRICO APLICANDO A LEI DE OHM

## Lei de Ohm

$$V = RI$$

ou

$$R = V/I$$

ou

$$I = V/R$$

## Potência

$$P = VI$$

para

$$V = RI \Rightarrow P = R I^2$$

para

$$I = V/R \Rightarrow P = V^2/R$$

## CIRCUITO DO CHUVEIRO ELÉTRICO



I = corrente

R = resistência

## EXEMPLO

Chuveiro de  $P = 4000 \text{ W}$  e  $R = 10 \Omega$

Inverno

Verão

$$I_1 = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{4000}{10}} = 20\text{A}$$

$I_1 = 20 \text{ A}$  (água mais quente)

Gasta mais energia

$$I_2 = \sqrt{\frac{P}{2R}} = \sqrt{\frac{4000}{2 \times 10}} = 14,14\text{A}$$

$I_2 = 14,14 \text{ A}$  (água menos quente)

Gasta menos energia



## SAIBA MAIS

Para ampliar o seu conhecimento a respeito desse assunto, veja abaixo as sugestões do professor:

### **Lei de Ohm: resolução de exercícios**

Neste vídeo você irá ver três exemplos práticos de aplicação da lei de Ohm.

**Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!**

### **Lei de Kirchhoff para as correntes (LKC): definições e exercícios**

Este vídeo apresenta definições da lei de Kirchhoff para as correntes ou lei dos nós, bem como a resolução de exercícios sobre o tema.

**Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!**

### **Lei de Kirchhoff para as tensões (LKT): definições e exercícios**

Você verá neste vídeo definições da lei de Kirchhoff para as tensões ou lei das malhas, além de exercícios resolvidos sobre o tema.

**Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!**

### **Circuitos Elétricos - Aula 1 - Grandezas Elétricas**

**Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!**

### **Circuitos Elétricos - Aula 4 - Leis de Kirchhoff**

**Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!**



# Campo Magnético e fontes de campo magnético



## APRESENTAÇÃO

O magnetismo está presente em muitas situações cotidianas, seja de forma explícita, como no caso dos imãs de geladeira, no uso de bússolas, etc. seja de forma menos evidente, como no funcionamento de aparelhos alto-falantes, televisões, telefones, entre outras. Desde as primeiras descobertas na Grécia, do material magnetita, capaz de atrair certos metais, até o desenvolvimento da teoria do eletromagnetismo, se passou um grande período. Hoje, somos capazes de criar eletroímãs, dispositivos que utilizam corrente elétrica para gerar campos magnéticos, capazes de elevar toneladas de metais por vez. Dos imãs permanentes, como a magnetita, até os eletroímãs, comportam-se segundo algumas leis, como a lei de atração e repulsão magnética, Lei de Ampere e outras que serão discutidas nesta unidade.

Nesta Unidade de Aprendizagem, você vai entender o que é o campo elétrico, quais as propriedades do campo, irá verificar que é possível gerar campos magnéticos de diferentes fontes e, por fim, verá como traçar as linhas de campo magnético e encontrar a intensidade desse campo em algumas configurações geométricas definidas.

Bons estudos.

**Ao final desta Unidade de Aprendizagem, você deve apresentar os seguintes aprendizados:**

- Explicar o conceito de campo magnético e suas propriedades.
- Exemplificar as diferentes fontes de campo magnético.
- Relacionar a forma funcional do campo magnético em regiões do espaço dependente da geometria da fonte que gera o campo.



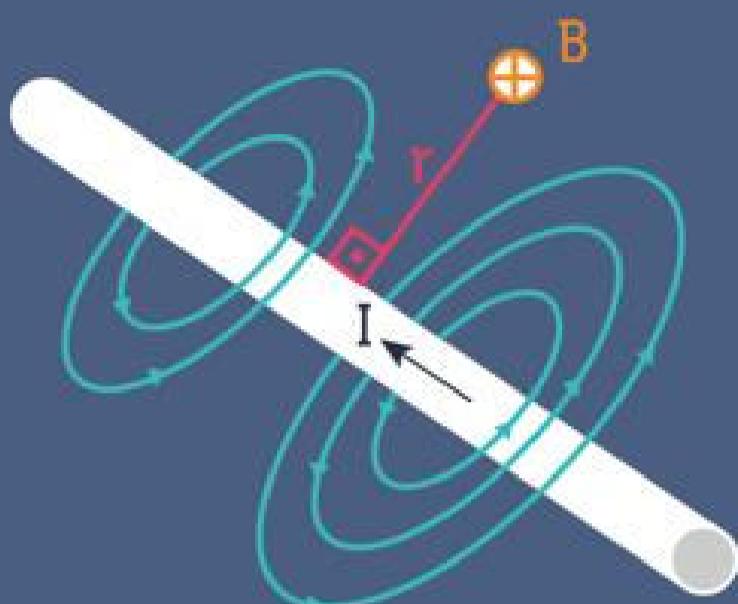
## INFOGRÁFICO

Para gerar campos magnéticos, podemos utilizar materiais que possuem um

**comportamento magnético natural, como as magnetitas, que compõem o que chamamos de imãs permanentes, pois não dependem da presença de outra condição para produzirem campo magnético.** Porém, não são só materiais desse tipo que podem ser considerados fontes de campo magnético, condutores retilíneos, espiras condutoras e solenoides, quando atravessados por uma corrente elétrica, são capazes de produzir campo magnético.

**Veja no infográfico como são as orientações das linhas de campo para esses componentes e veja, também, as equações que permitem calcular a intensidade do campo magnético em certos pontos.**

# CAMPOS MAGNÉTICOS



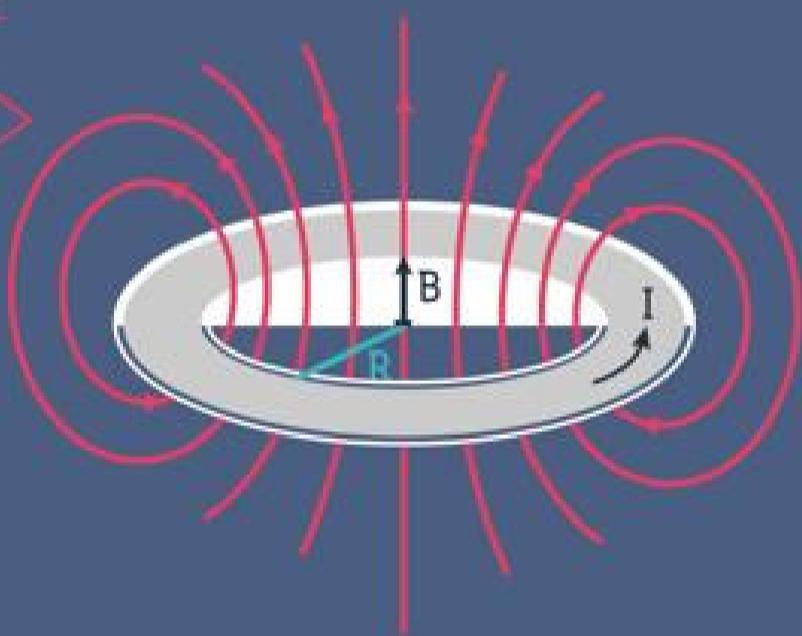
Campo magnético produzido por uma corrente em um fio retilíneo infinito.

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot r}$$



Campo magnético produzido por uma corrente em uma espira circular.

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2R}$$



Campo magnético produzido por uma corrente em um solenoide.

$$B = \mu_0 \cdot i \cdot \frac{N}{L}$$





## CONTEÚDO DO LIVRO

**Os fenômenos magnéticos já são estudados desde as idades antigas, quando os gregos utilizavam uma pedra, magnetita, para atrair materiais metálicos. Contudo, somente a partir de 1819, com o físico Oersted, seguido pelo físico Ampère e do físico Faraday, é que foi possível compreender melhor o magnetismo e, então, desenvolver a teoria do eletromagnetismo, que, por sua vez, estuda os comportamentos magnéticos associados aos comportamentos magnéticos.**

No capítulo **Campo magnético e fontes de campo magnético**, do livro *Eletromagnetismo*, você verá como é o comportamento do campo magnético produzido pela passagem de corrente elétrica em condutores retilíneos, condutores em forma de espira e em forma de solenoide.

Boa leitura.

# ELETROMAGNETISMO

Guilherme de Lima Lopes



# Campo magnético e fontes de campo magnético

## Objetivos de aprendizagem

Ao final deste texto, você deve apresentar os seguintes aprendizados:

- Explicar o conceito de campo magnético e suas propriedades.
- Exemplificar as diferentes fontes de campo magnético.
- Relacionar a forma funcional do campo magnético em regiões do espaço dependente da geometria da fonte que gera o campo.

## Introdução

O magnetismo está presente em muitas situações cotidianas, seja de forma explícita — como no caso dos ímãs de geladeira, no uso de bússolas, etc. — seja de forma menos evidente — como no funcionamento de aparelhos de alto-falantes, televisões, telefones, entre outras (Válio, 2016).

Desde as primeiras descobertas do material magnetita, na Grécia, capaz de atrair certos metais, até o desenvolvimento da teoria do eletromagnetismo, passou-se um grande período. Hoje, somos capazes de criar eletroímãs, dispositivos que utilizam corrente elétrica para gerar campos magnéticos, capazes de elevar toneladas de metais por vez.

Dos ímãs permanentes, como a magnetita, até os eletroímãs, comportam-se segundo algumas leis, como a de atração e repulsão magnética, lei de Ampère e outras que serão discutidas aqui.

Neste capítulo, você vai entender o que é o campo elétrico, quais as propriedades do campo que é possível gerar campos magnéticos de diferentes fontes e, por fim, como traçar as linhas de campo magnético e encontrar a intensidade dele em algumas configurações geométricas definidas.

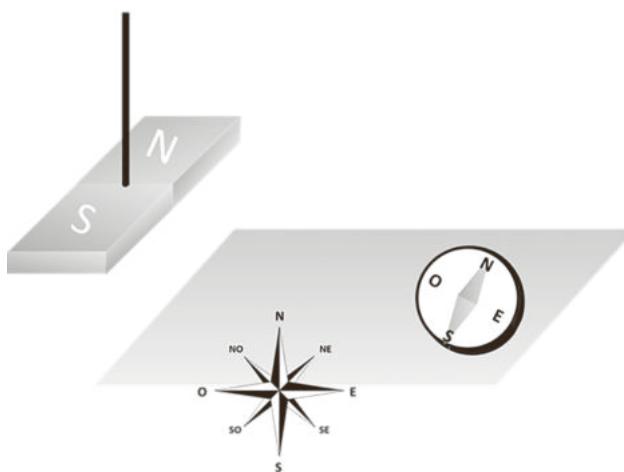
## Campo magnético

Em uma região da Magnésia (na Grécia central), os gregos antigos encontraram diversos tipos de minerais naturais capazes de atrair e repelir uns aos outros e certos tipos de metal, como o ferro (BAUER, 2012).

Aos materiais que, em seu estado natural, produzem campo magnético, damos o nome de “ímãs permanentes”.

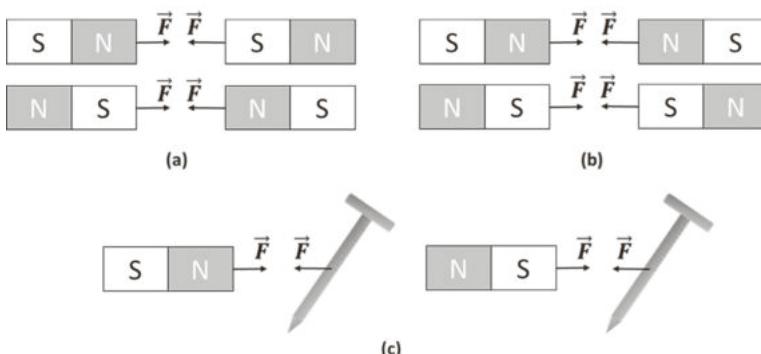
As interações entre ímãs permanentes e agulhas de bússolas podem ser explicadas por meio do conceito de polos magnéticos. Dessa maneira, quando suspenso pelo centro de gravidade, um ímã permanente tende a se orientar com os polos terrestres. Assim, definimos polo norte como a parte do ímã que aponta próximo ao norte geográfico da Terra; utilizando o mesmo raciocínio, a parte que aponta ao sul geográfico é denominada polo sul. Esse é o princípio de funcionamento de uma bússola, que aponta sempre ao norte geográfico da Terra. Observe a Figura 1.

Agora, vamos analisar as forças de atração e repulsão magnéticas que ocorrem entre os polos e, depois, aprofundaremos o estudo do campo magnético terrestre e suas orientações geográficas.



**Figura 1.** Definição de polo norte e polo sul.

A partir desses ímãs permanentes, e semelhante ao observado com as cargas elétricas, podemos definir a Lei de Atração e Repulsão Magnética. Desta maneira, os polos diferentes atraem-se, e polos iguais repelem-se. Ainda sobre a atração e repulsão magnética, um material ferromagnético é atraído por um ímã permanente ou temporário, independentemente da polaridade em que o ímã é posicionado. Veja a representação na Figura 2.



**Figura 2.** (a) Polos opostos atraem-se; (b) Polos iguais repelem-se; e (c) Qualquer polo de um ímã atraí um objeto não imantado.

No século 18, o físico dinamarquês, Hans Christian Oersted, fez as primeiras observações de campos magnéticos gerados por corrente elétrica. Em uma demonstração aos seus alunos, Oersted mostrou que uma bússola variava sua indicação quando um condutor, próximo a ela, era percorrido por corrente elétrica.

Mas foi somente o físico francês André-Marie Ampère que propôs que toda partícula carregada em movimento gera um campo magnético próprio. Ou seja, cargas elétricas em movimento geram campos magnéticos.

O campo magnético  $\vec{B}$  pode ser definido como a região em volta de um ímã, onde ocorrem interações magnéticas. O campo magnético, similar ao campo elétrico, consegue produzir forças magnéticas em um corpo a distância, ou seja, existe uma força de interação mesmo sem o contato dos corpos.

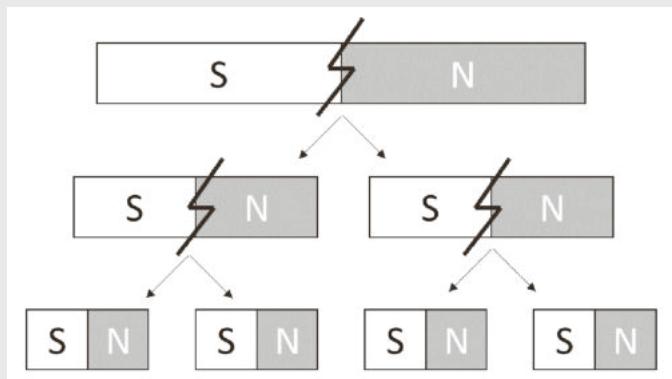
Cargas elétricas em movimento geram campos magnéticos. Portanto, correntes elétricas, percorrendo condutores, são capazes de gerar campo

magnético. Aos componentes que produzem campo magnético a partir de corrente elétrica dá-se o nome de eletroímã.



### Fique atento

O conceito de polo magnético pode parecer semelhante ao de carga elétrica. O polo norte e o polo sul podem parecer análogos a uma carga positiva e uma negativa. Porém, essa analogia é capaz de causar confusão. Embora existam cargas negativas e positivas isoladas, não existe nenhuma evidência experimental da existência de um polo magnético isolado. Os polos magnéticos sempre existem formando pares. Quando uma barra imantada é partida ao meio, cada extremidade de cada pedaço constitui um polo (YOUNG, 2012).



## Fontes de campo magnético

A Terra possui um campo magnético próprio. Dessa maneira, as agulhas das bússolas são imantadas e alinham-se com as posições geográficas da Terra.

Conforme já mencionado, os polos iguais repelem-se e polos diferentes atraem-se. Dessa maneira, quando definimos a parte da agulha da bússola que aponta para o norte geográfico como sendo o polo norte, temos que os polos magnéticos na Terra são contrários aos polos geográficos. Assim, o polo norte geográfico é o polo sul magnético da Terra, e o polo sul geográfico é o polo norte magnético.

O campo magnético da Terra já é conhecido há muitos séculos, porém, a explcação dele não é conhecida precisamente e constitui um tema de pesquisa corrente.

Com maior probabilidade, ele é causado por correntes elétricas intensas no interior da Terra, devido à rotação do núcleo líquido de ferro e níquel. A rotação é chamada com frequênciade efeito geodinamo (BAUER, 2012).

Esse campo magnético é importantíssimo, pois nos protege de um tipo de energia radiante de alta energia oriunda do espaço. Essa energia radiante é constituída principalmente de partículas eletrizadas que são desviadas da superfície terrestre devido ao seu campo magnético.



### Saiba mais

O campo magnético da Terra é distorcido por vento solar, um fluxo de partículas ionizadas, principalmente prótons, emitidas pelo Sol a cerca de 400 km/s. Duas faixas dessas partículas carregadas que foram capturadas do vento solar circulam em volta da Terra. Elas são denominadas cinturões de radiação de Van Allen, em homenagem a James A. Van Allen (1914-2006). Os cinturões de radiação de Van Allen são mais próximos da superfície da Terra ao redor dos polos magnéticos norte e sul, onde as partículas carregadas mantidas dentro dos cinturões colidem com frequência com os átomos da atmosfera do planeta, excitando-os. Esses átomos excitados emitem luz de cores diferentes e perdem energia; o resultado é a fabulosa Aurora Boreal ("luzes do Norte"), em altas latitudes norte, e Aurora Austral ("luzes do Sul"), em altas latitudes sul. As auroras não são exclusivas da Terra; elas também têm sido observadas em planetas externos dotados de campos magnéticos intensos, como Júpiter e Saturno.



**Fonte:** Euro Dicas, c2018 (texto) e Simone Gramegna/Shutterstock.com (imagem).

Temos, então, as fontes de campo magnético, os ímãs permanentes, como a magnetita, os eletroímãs, como sendo qualquer condutor percorrido por corrente elétrica, os astros e planetas, com os ventos solares e o campo magnético terrestre.

Assim, para calcular o campo magnético resultante, causado por mais de uma fonte de campo magnético, ou, então, pelo movimento de conjuntos de cargas elétricas, devemos entender o princípio de superposição dos campos magnéticos.

Analogamente ao campo elétrico, o campo magnético total produzido por diversas fontes de campo magnético é a soma vetorial dos campos produzidos pelas fontes individuais. Dessa maneira, temos:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n$$

As semelhanças entre o campo elétrico e o campo magnético não se restringem apenas a isso. Vamos relembrar que o campo elétrico total, associado a uma distribuição genérica de cargas, pode ser encontrado calculando o campo elétrico elementar produzido por cada elemento de carga, sendo em geometrias complexas, mas com distribuições simétricas podem ser encontradas pelo uso da lei de Gauss.

O campo magnético produzido por uma distribuição de elementos com simetria pode ser calculado pela lei de Ampère, análoga à lei de Gauss, que diz o seguinte:

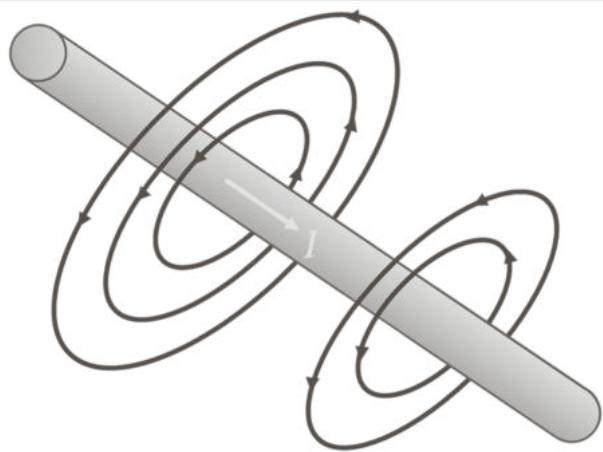
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i_{env}$$

Sendo assim, é possível encontrar o campo magnético em distribuições de corrente, necessitando conhecer a geometria de invólucro das cargas e a intensidade da corrente envolvida.



## Exemplo

A Figura 3 mostra um fio longo retilíneo percorrido por uma corrente  $i$ . O campo magnético produzido pela corrente tem o mesmo módulo em todos os pontos situados a uma distância do fio, com uma simetria cilíndrica em relação a este.



**Figura 3.** Corrente elétrica e campo magnético em um fio.

Aplicando as devidas simetrias, vemos que a integral do campo magnético dá-se por:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \oint \vec{B} \cdot \cos \theta \, ds = B \oint ds = B(2\pi r)$$

Sendo a corrente envolvida pela curva igual a  $i$ , temos o lado direito da lei de Ampère dado por:

$$B(2\pi r) = \mu_0 \cdot i$$

Então, o campo magnético, produzido por uma corrente elétrica em um fio condutor retilíneo a uma distância  $r$ , é dado por:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$$

## Linhas de campo magnético e campo magnético em geometria definidas

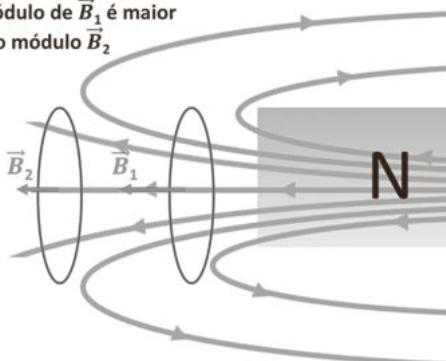
Assim como no caso do campo elétrico, podemos representar o campo magnético por meio de linhas de campo. As regras são as mesmas: (1) a direção da tangente a uma linha de campo magnético em qualquer ponto fornece a direção de  $\vec{B}$  neste ponto; (2) o espaçamento das linhas representa o módulo de  $B$  — quanto mais intenso o campo, mais próximas estão as linhas e vice-versa (HALLIDAY, 2012).

Observe as Figuras 4 e 5, que representam, respectivamente, a direção do campo magnético, que é tangente às linhas de campo, e a relação entre a quantidade de linhas de campo e a intensidade do campo magnético.



**Figura 4.** Campo magnético e linhas de campo.

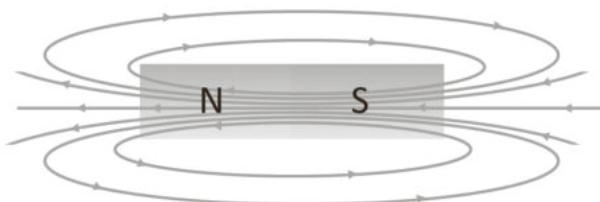
O módulo de  $\vec{B}_1$  é maior que o módulo  $\vec{B}_2$



**Figura 5.** Distribuição de linhas de campo.

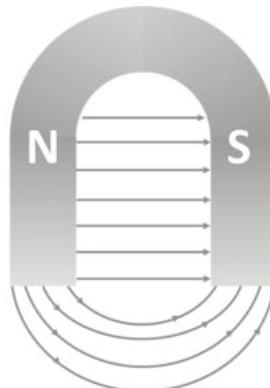
As linhas de campo magnético são sempre fechadas. O sentido das linhas de campo é saindo dos polos norte e entrando nos polos sul. Dessa maneira, é simples fazer uma analogia entre as linhas de campo elétrico e as polaridades das cargas elétricas envolvidas.

Observe as linhas de campo em um ímã permanente do tipo barra: as linhas são fechadas e saem do polo norte do ímã e entram no polo sul, como visto na Figura 6, a seguir.



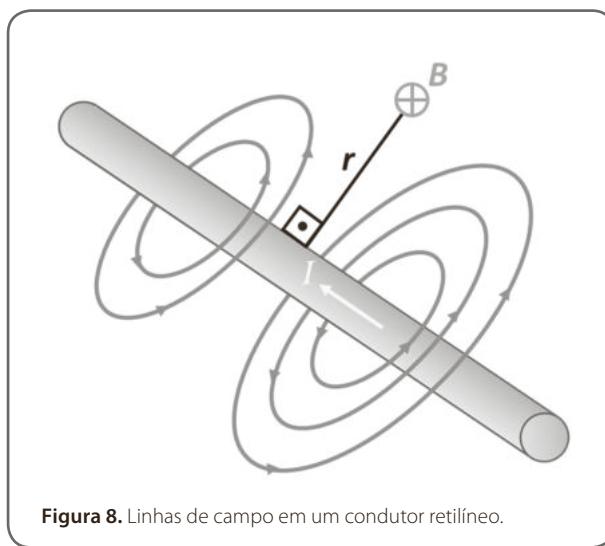
**Figura 6.** Linhas de campo em um ímã da barra.

Para um ímã do tipo U, os mesmos princípios devem ser seguidos. Dessa maneira, podemos verificar que o campo magnético produzido por um ímã permanente do tipo U é dado conforme representação da Figura 7.



**Figura 7.** Linhas de campo em um ímã do tipo U.

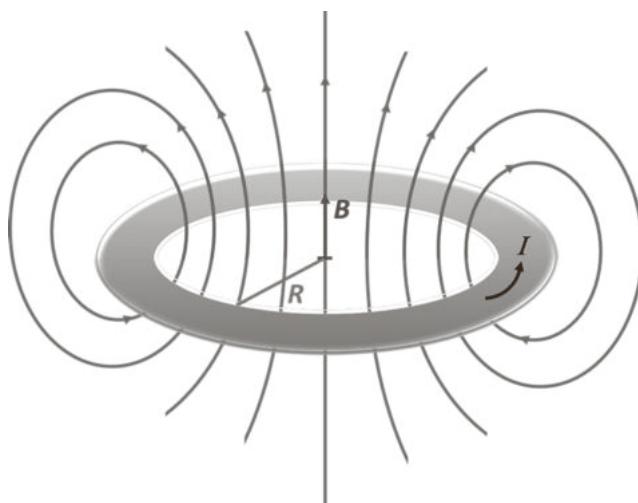
Um condutor elétrico percorrido por corrente elétrica possui um campo magnético circular a ele e que pode ter sua direção e seu sentido determinados pela regra da mão direita. Se apontarmos o dedo polegar na direção da corrente e fecharmos os demais dedos, teremos que o campo magnético é circular ao condutor e tem o mesmo sentido que apontam os dedos fechados. Veja a representação da Figura 8.



A intensidade do campo magnético em um ponto que dista  $r$  do condutor pode ser determinada por:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot r}$$

As linhas de campo em uma espira condutora podem ser determinadas também pela regra da mão direita, sendo que o campo magnético resultante é a soma dos campos magnéticos de cada segmento do fio condutor. Assim, o campo magnético no centro de uma espira tem a direção do seu eixo central, e sentido saindo para cima, quando a espira é percorrida por uma corrente elétrica no sentido anti-horário. Veja na Figura 9.



**Figura 9.** Linhas de campo em uma espira.

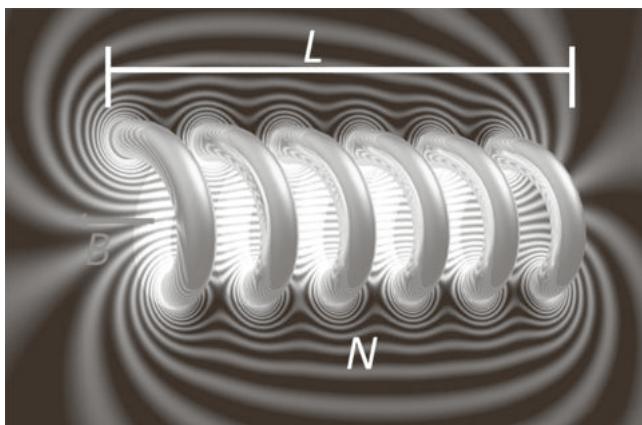
A intensidade do campo magnético no centro da espira geralmente é o valor mais importante para um projeto com esse dispositivo. Sendo assim, a intensidade do campo magnético no centro da espira circular é:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot r}$$

Ao unirmos várias espiras, criamos um dispositivo chamado solenoide. O campo magnético produzido por este componente é de grande aplicação. No interior do dispositivo, o campo magnético tem intensidade praticamente constante e pode ser determinado por:

$$B = \mu_0 \cdot i \cdot \frac{N}{L}$$

Esse dispositivo é muito utilizado, pois o seu intenso campo magnético é capaz de produzir forças magnéticas também muito intensas, sendo aplicadas em relés eletromecânicos, disjuntores termomagnéticos, entre outras aplicações. A Figura 10, a seguir, apresenta um exemplo de linhas de campo em um solenóide.



**Figura 10.** Linhas de campo em um solenoide.



## Referências

BAUER, W.; WESTFALL, G.; DIAS, H. *Física para universitários: eletricidade e magnetismo*. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2012.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Fundamentos de física, volume 3:eEletromagnetismo*. 9. ed.Rio de Janeiro: LTC, 2012.

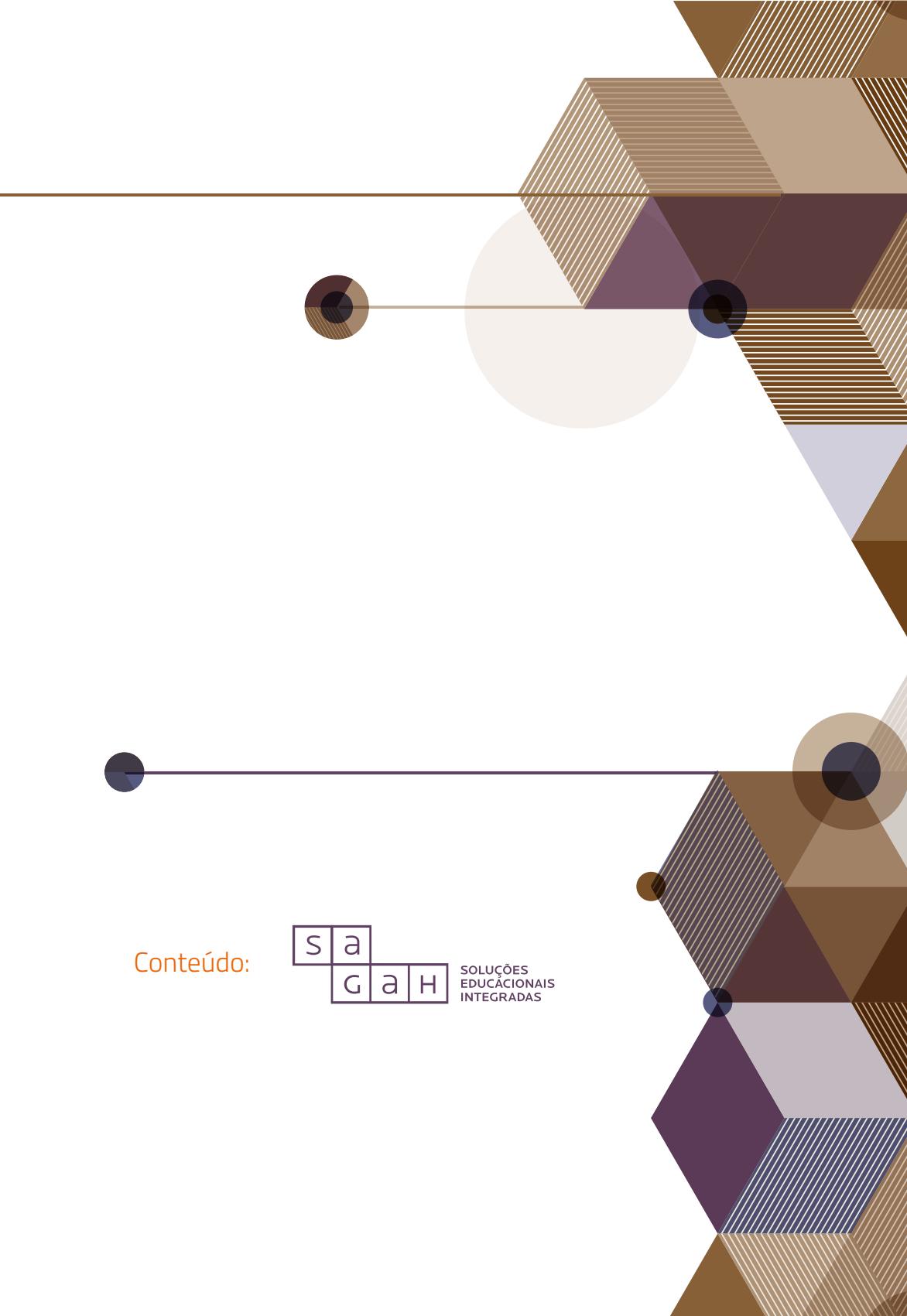
YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. *FÍSICA II :eletromagnetismo*. São Paulo: Pearson, 2012.

## Leituras recomendadas

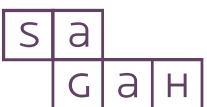
FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T.; FOGO, R. *FÍSICA básica*. São Paulo: Atual, 2009.

VÁLIO, A. B. M.; FUKUI, A.; FERDINIAN, B.; OLIVEIRA, G. A. ; MOLINA, M. M.; VENÉ. *Ser protagonista: fíica – 3*. São Paulo: Edições SM, 2016.

**Encerra aqui o trecho do livro disponibilizado para esta Unidade de Aprendizagem. Na Biblioteca Virtual da Instituição, você encontra a obra na íntegra.**



Conteúdo:



SOLUÇÕES  
EDUCACIONAIS  
INTEGRADAS



## DICA DO PROFESSOR

Os cientistas gregos foram capazes de observar alguns fenômenos que envolviam materiais encontrados na natureza, a magnetita, que possui a capacidade de atrair metais. Após essas e outras observações, **foi desenvolvida a bússola, capaz de apontar, por meio de uma agulha imantada, para o Norte geográfico da Terra.** Oersted, observou que correntes elétricas eram capazes de alterar a direção que a bussola apontava.

Entenda mais sobre o experimento de Oersted e sobre os campos magnéticos produzidos por corrente elétrica na Dica do professor.

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!

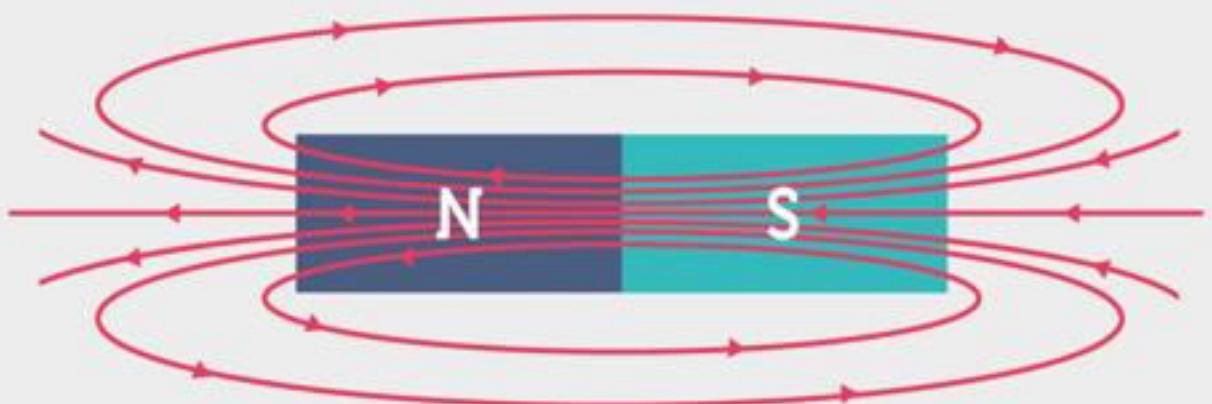


## EXERCÍCIOS

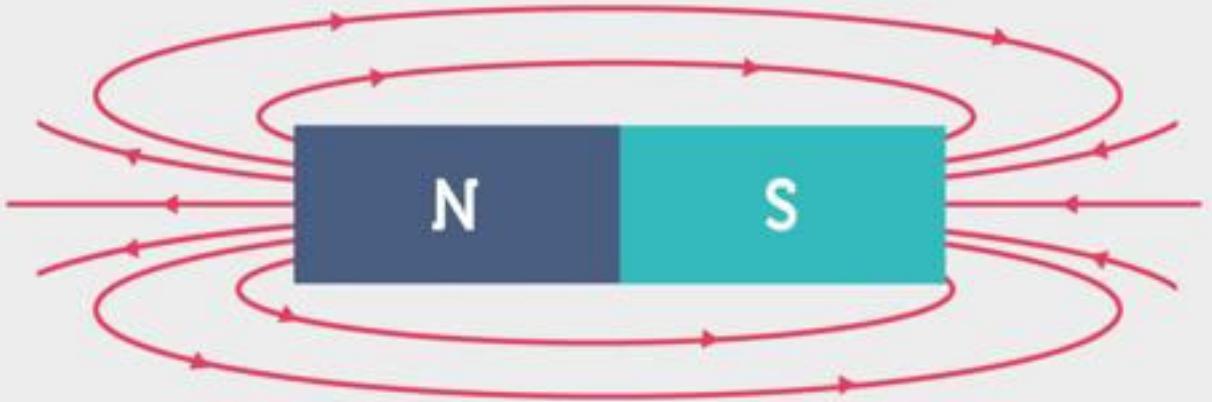
- 1) O físico francês Ampère propôs que partículas carregadas em movimento são capazes de gerar campo magnético. Assim, uma corrente elétrica percorrendo um condutor gera campo magnético. Ao dispositivo que cria um campo magnético por meio de uma corrente elétrica damos o nome de?
  - A) Imã Permanente.
  - B) Magnetita.
  - C) Eletroímã.
  - D) Paramagnético.
  - E) Bússola.

- 2) As linhas de campo magnético são uma boa representação para avaliar o comportamento do campo magnético em diversas geometrias. Assinale a alternativa que apresenta corretamente as linhas de campo magnético em um ímã permanente.

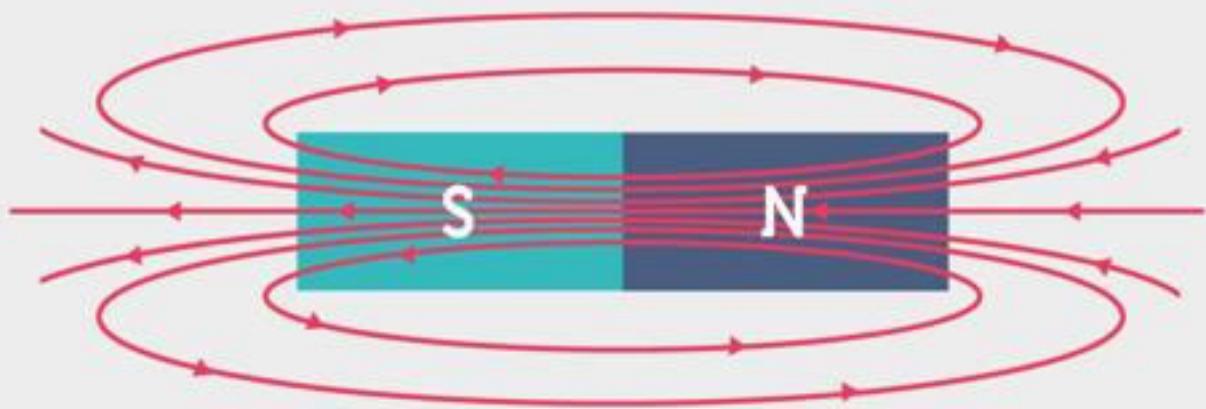
A)



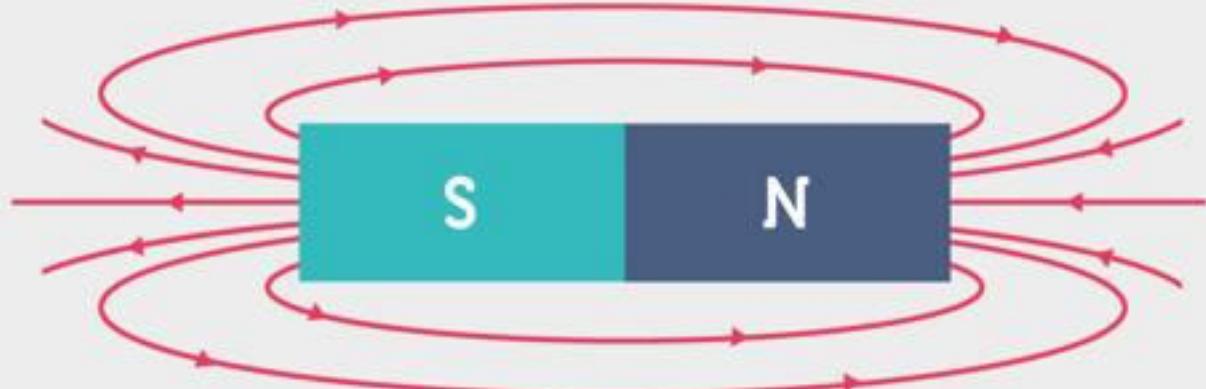
B)



C)



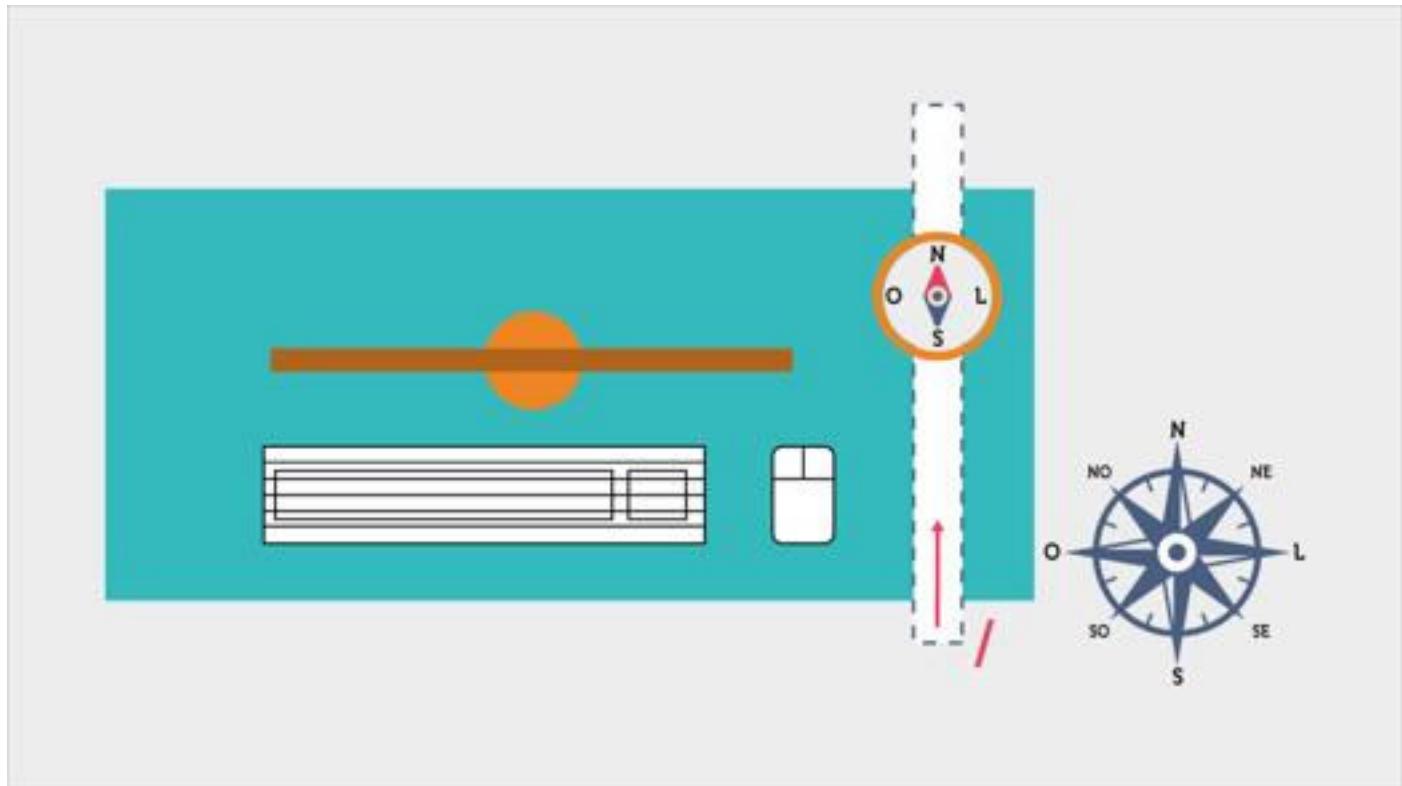
D)



E)



- 3) Um fio condutor reto e horizontal está abaixo de uma mesa. Sobre a mesa, está uma bússola. Observe a representação do esquema. Quando uma corrente, suficientemente grande para criar um campo magnético de mesma intensidade que o campo da Terra, no ponto, percorre o condutor, qual será a posição da agulha da bússola?



- A) A agulha não altera sua posição e continua apontando para o Norte geográfico.
- B) A agulha aponta para a direção Sul.
- C) A agulha aponta para a direção Leste.
- D) A agulha aponta para a direção Oeste.
- E) A agulha apontará para a direção Nordeste.
- 4) Na condição de equilíbrio, um corpo colocado sobre o ponto P não sofre força magnética, tendo em vista que, nesse ponto, o campo magnético é nulo. Assim, qual a relação entre as correntes,  $i_1$  e  $i_2$  que atravessam os condutores, sabendo que as correntes possuem sentidos contrários?



A)  $i_1/i_2 = 1/4.$

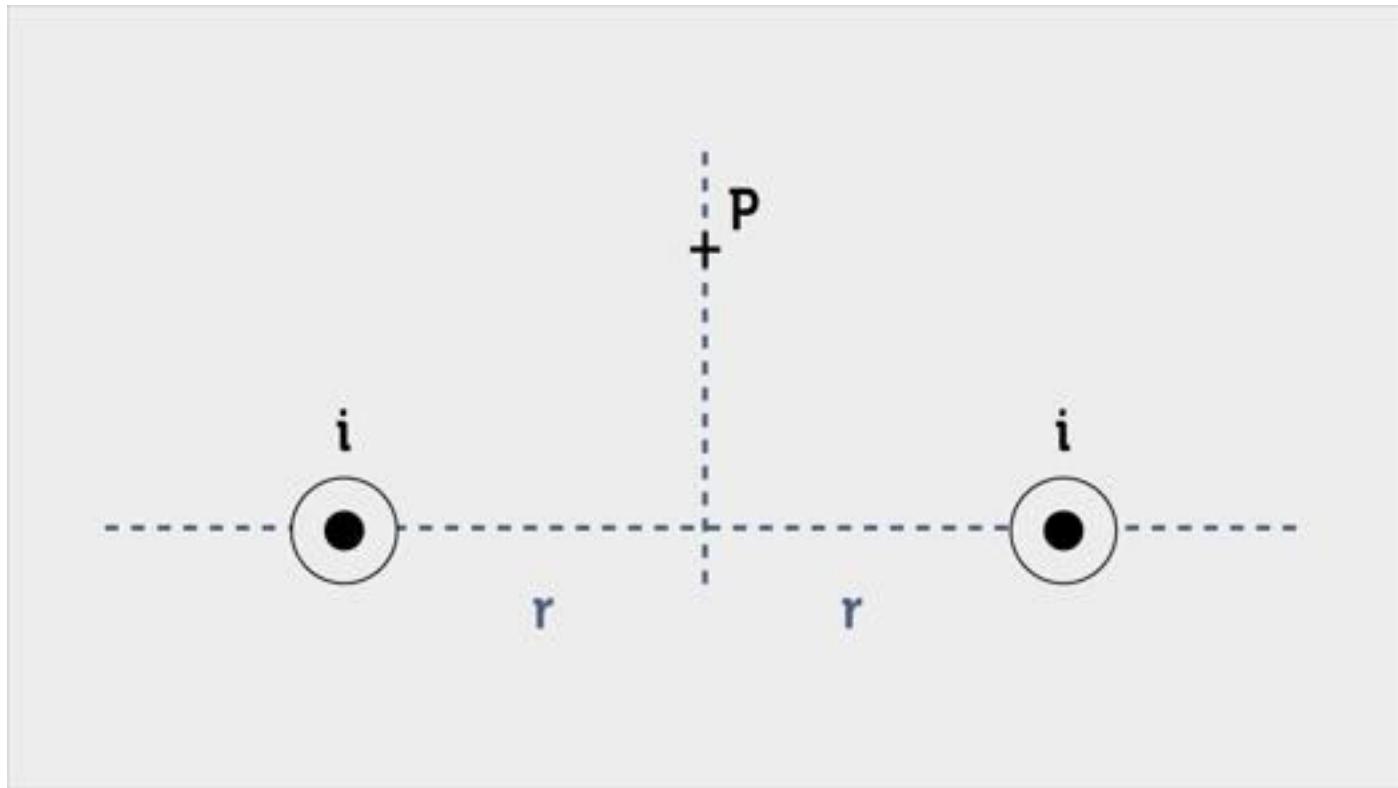
B)  $i_1/i_2 = 1/3.$

C)  $i_1/i_2 = 1.$

D)  $i_1/i_2 = 2.$

E)  $i_1/i_2 = 4.$

5) Dois condutores retilíneos infinitos estão alocados em paralelo. A direção desses condutores é perpendicular ao plano da tela, veja a imagem a seguir. Ambos condutores são percorridos por uma corrente de intensidade  $i$  saindo do plano da tela. No ponto P, localizado entre os condutores a uma certa altura deles, qual a direção e sentido do vetor campo magnético?



- A) Direção horizontal e sentido da direita para a esquerda.
- B) Direção horizontal e sentido da esquerda para a direita.
- C) Direção vertical e sentido da direita para a esquerda.
- D) Direção vertical e sentido da esquerda para a direita.
- E) O campo resultante no ponto P é nulo.



### NA PRÁTICA

Campos magnéticos podem ser gerados por condutores percorridos por uma corrente elétrica; nesse sentido, quando a corrente elétrica atravessa uma espira, ou um solenoide, campos magnéticos também são gerados. **Utilizando esse princípio, associado às forças magnéticas que são geradas por essas fontes de campo, podemos construir uma máquina que**

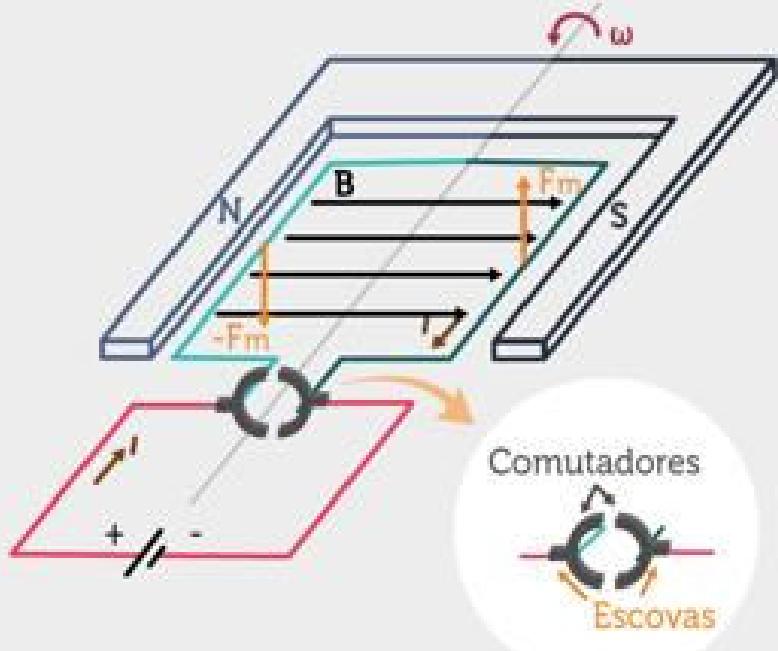
**transforma energia elétrica em energia mecânica.** O motor elétrico de corrente contínua é um dos tipos mais simples de motores.

Veja na imagem a seguir como funciona essa máquina.

Os motores elétricos convertem energia elétrica, corrente elétrica, em energia mecânica, movimento. Por meio de um imã permanente, ou uma bobina, cria-se um campo magnético, praticamente constante, que vai do polo norte ao polo sul, como indicado nas figuras a seguir.

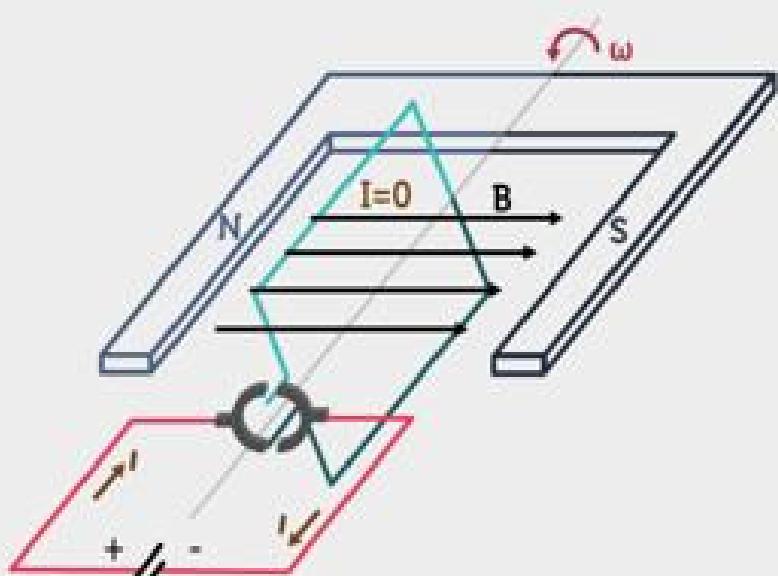
A parte móvel do motor é o **rotor**, e a parte estacionária é o **estator**. O rotor é uma espira que tem suas extremidades conectadas a dois segmentos condutores, chamados de **comutadores**. Estes, por sua vez, entram em contato cada um com uma **escova**, que conecta a espira a uma **força eletromotriz**.

++ --



Quando uma corrente percorre a espira, entrando pela direita e saindo pela esquerda, a interação da corrente elétrica com o campo magnético provocado pelos imãs permanentes gera duas forças magnéticas, uma em cada seção da espira.

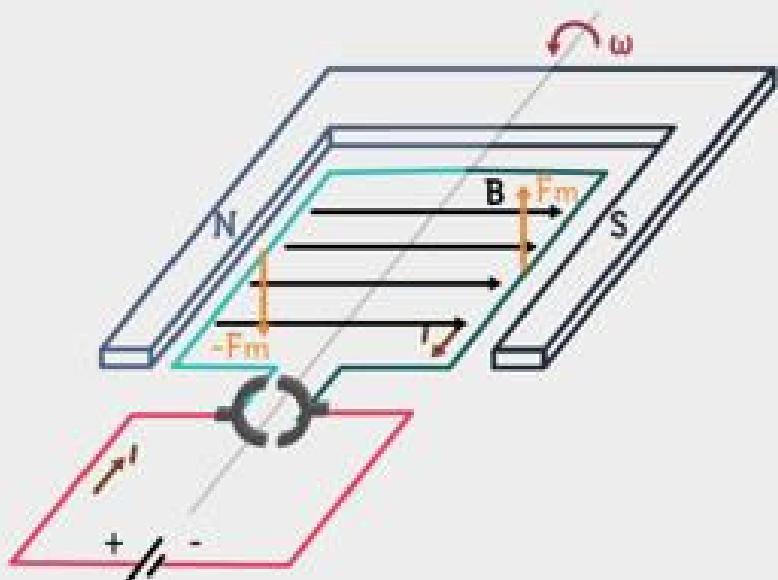
Essas forças fazem com que a espira gire no sentido anti-horário.



Ao rotacionar 90°, o rotor atingiria sua posição de equilíbrio, caso houvesse corrente circulando na espira.

O que ocorre é que, nessa posição, as escovas ficam em contato com as partes isolantes dos comutadores, ou seja, não há corrente na espira.

Em função da inércia do conjunto, o rotor continua seu movimento.



Por fim, após a inércia do movimento, os comutadores entram em contato novamente com as escovas, conduzindo novamente corrente elétrica.

Porém, agora é possível observar que a corrente está circulando em sentido contrário em relação aos comutadores.

Assim, a interação entre a corrente na espira e o campo magnético produz forças que movimentam o rotor no sentido anti-horário, continuando o giro.



## SAIBA MAIS

Para ampliar o seu conhecimento a respeito desse assunto, veja abaixo as sugestões do professor:

### Ímã e bússula

Utilize o simulador para explorar as interações entre uma bússola e um imã de barra e depois adicione a terra para verificar as mudanças. A partir disso, tente responder como a bussola aponta para o norte. Use o medidor de campo para medir como o campo magnético se altera.

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!

### Ímãs e eletroímãs

Por meio do simulador, descubra como você pode usar uma bateria e fio para fazer um ímã. Verifique também se é possível aumentar a sua intensidade e se o campo é reversível ou não. Acesse o simulador em:

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!

### Magnetismo em 3D - Simulando o magnetismo da terra

Veja o vídeo e verifique um experimento de como são as linhas de campo magnético tridimensional ao redor da Terra, entenda também um pouco mais sobre o campo magnético da Terra.

Conteúdo interativo disponível na plataforma de ensino!

