

The background of the cover features a warm, slightly blurred photograph of a group of students in a classroom or workshop setting, gathered around a table and working together. Overlaid on the left side of the image is a complex geometric pattern composed of various hexagons and triangles in shades of blue, purple, and grey, some with internal line patterns. A large, solid orange hexagon is positioned in the upper left, containing the title text.

# ANÁLISE DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

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

<b>Grandezas</b>	<b>Unidade básica</b>	<b>Símbolo</b>
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  $\mu$ 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:

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

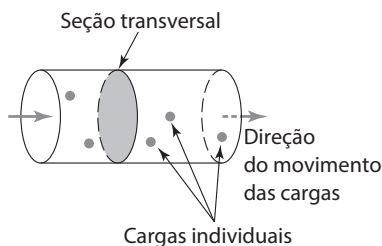
Onde:

$i$  = 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)

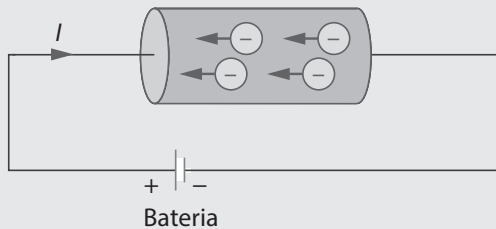
$w$  = energia em joules (J)

$q$  = 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,

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

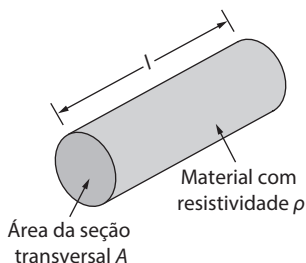
Onde:

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

$l$  = 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)

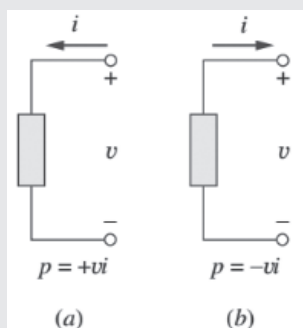
$v$  = tensão em volts (V)

$i$  = 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.

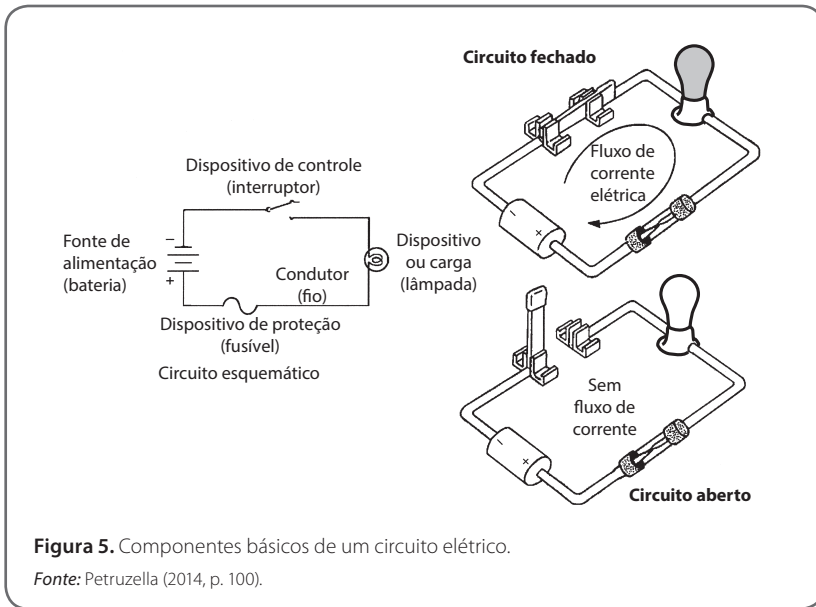
Fonte: Sadiku, Alexander e Musa (2014, p. 10).

## 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).



## 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-circuito.

## 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 Petruzella (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

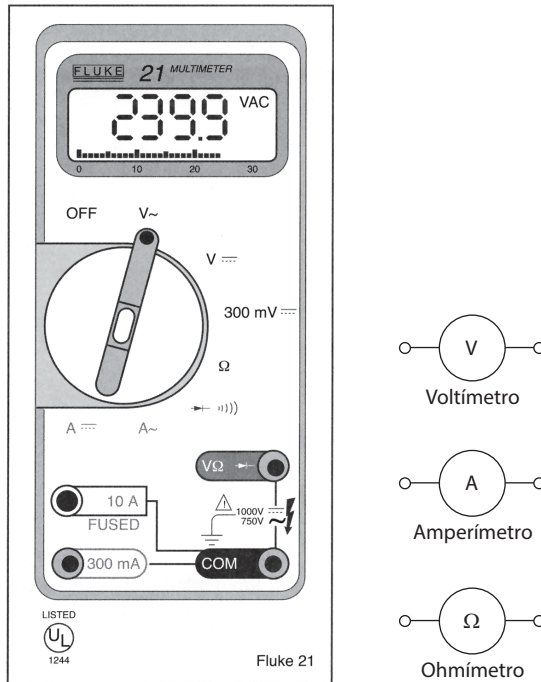
Quando o fluxo de corrente excede o valor permitido, um dispositivo de proteção pode entrar em ação. Os fusíveis e os disjuntores são exemplos de dispositivos de proteção. Correntes elevadas podem causar danos aos condutores e às cargas conectadas aos circuitos. No caso de níveis de correntes intensas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

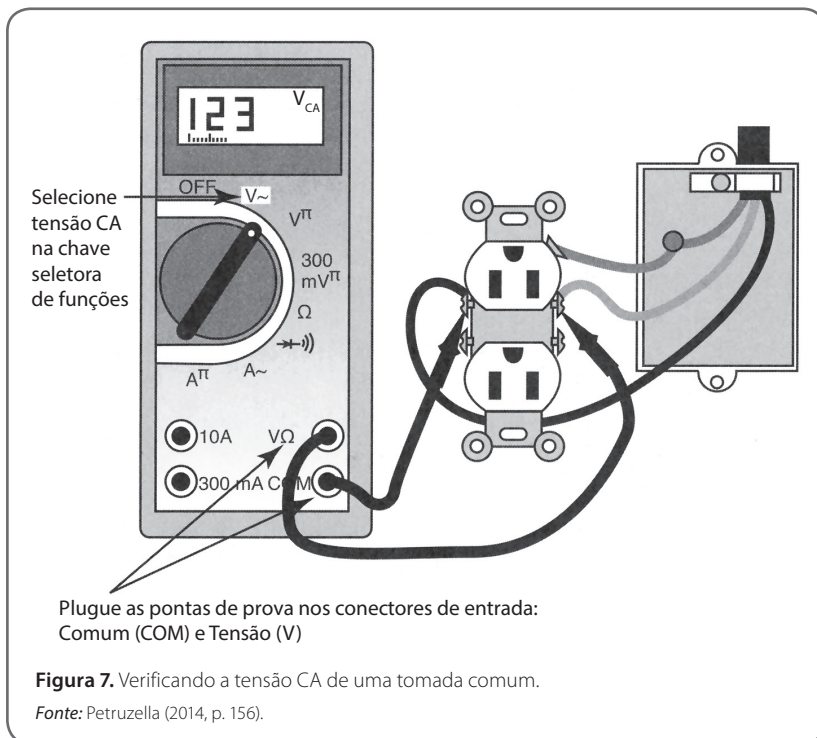


**Figura 6.** Multímetro digital.

Fonte: Petruzella (2014, p. 152).

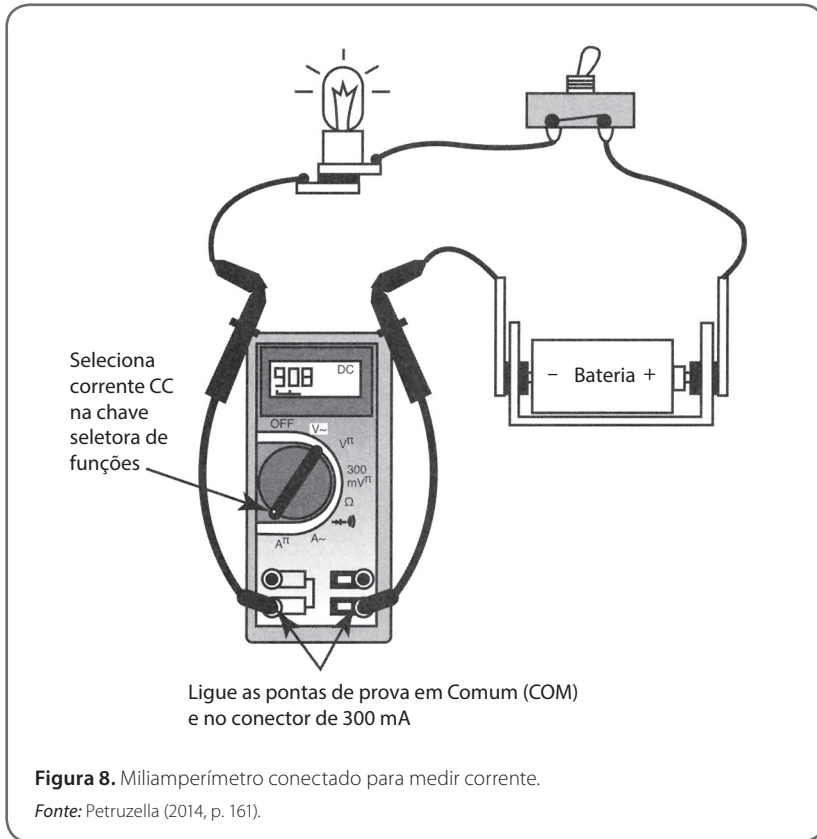
## Medição de tensão

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.



## 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.



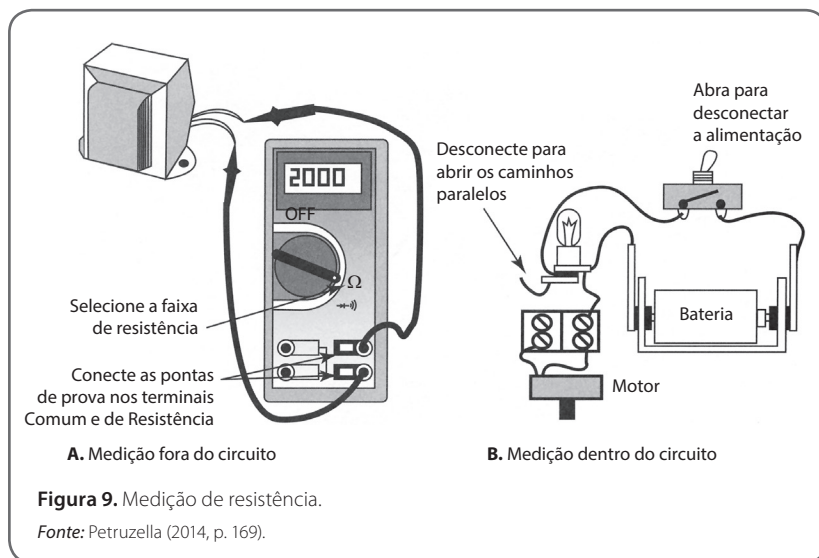
## Medição de resistência

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.



**Figura 9.** Medição de resistência.

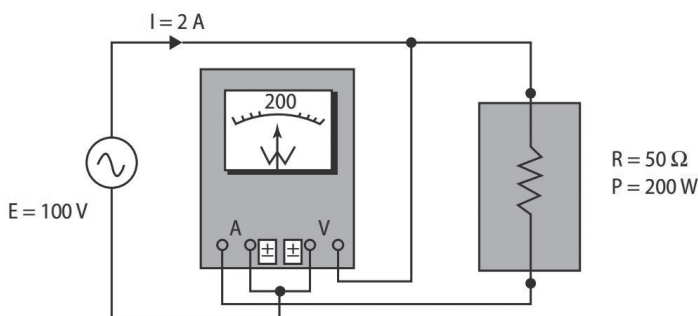
Fonte: Petruzella (2014, p. 169).

## 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 volímetro, 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).

SADIKU, 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