

Resistência



Objetivos

- Familiarizar-se com os parâmetros que determinam a resistência de um elemento e ser capaz de calcular a resistência dos materiais a partir de suas características e dimensões.
- Compreender os efeitos da temperatura sobre a resistência de um material e como calcular a mudança da resistência de acordo com a temperatura.
- Desenvolver a compreensão sobre os supercondutores e como eles afetam o desenvolvimento futuro da indústria.
- Familiarizar-se com a ampla gama de resistores comercialmente disponíveis e saber como ler o valor de cada um a partir do código de cores ou de rótulos.
- Tomar conhecimento da variedade de elementos como termistores, células fotocondutoras e varistores, e de como sua resistência terminal é controlada.

3.1 INTRODUÇÃO

No capítulo anterior, vimos que aplicar uma tensão através de um fio ou de circuito simples resulta em um fluxo de carga ou de corrente através do fio ou do circuito. Entretanto, permanece a questão: o que determina o nível da corrente que resulta da aplicação de uma tensão em particular? Por que a corrente é mais intensa em alguns circuitos do que em outros? A resposta está no fato de que há uma oposição ao fluxo de carga no sistema que depende dos componentes do circuito. Essa oposição ao fluxo de carga através de um circuito elétrico, chamada **resistência**, tem as unidades de **ohms**, e usa a letra grega *omega* (Ω) como símbolo. O símbolo gráfico da resistência, que lembra uma serra, é fornecido na Figura 3.1.

Essa oposição, devido fundamentalmente a colisões e fricção entre os elétrons livres e outros elétrons, íons e

átomos no curso do movimento, converte a energia elétrica fornecida em **calor**, que aumenta a temperatura do componente elétrico e do meio circundante. O calor que você sente vindo de um aquecedor elétrico é simplesmente o resultado da corrente que passa por um material de alta resistência.

Cada material e sua estrutura atômica única reagem diferentemente a pressões para estabelecer uma corrente através de seu núcleo. Condutores que permitem um fluxo generoso de carga com pouca pressão externa têm baixos níveis de resistência, enquanto isolantes têm como característica altos níveis de resistência.

3.2 RESISTÊNCIA: FIOS CIRCULARES

A resistência de qualquer material é devida fundamentalmente a quatro fatores:

1. *Material.*
2. *Comprimento.*
3. *Área do corte transversal.*
4. *Temperatura do material.*

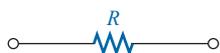


Figura 3.1 Símbolo da resistência e sua abreviação.

Como observado na Seção 3.1, a estrutura atômica determina quão facilmente um elétron livre passará por um material. Quanto maior o comprimento do caminho que o elétron livre tem de percorrer, maior o fator de resistência. Elétrons livres passam mais facilmente através de condutores com áreas de corte transversal maiores. Além disso, quanto mais alta a temperatura dos materiais condutivos, maiores a vibração interna e o movimento dos componentes que formam a estrutura atômica do fio, e mais difícil os elétrons livres encontrarem um caminho pelo material.

Os três primeiros elementos estão relacionados pela seguinte equação básica para resistência:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad \begin{array}{l} \rho = \text{CM-}\Omega/\text{pés a } T = 20^\circ\text{C} \\ l = \text{pés} \\ A = \text{área em mils circulares (CM)} \end{array} \quad (3.1)$$

com cada componente da equação definido pela Figura 3.2.

O material é identificado por um fator chamado **resistividade**, que usa a letra grega *rho* (ρ) como símbolo e é medido em CM- Ω /pés. Seu valor a uma temperatura de 20°C (temperatura ambiente = 68°F) é fornecido na Tabela 3.1 para uma série de materiais comuns. Tendo em vista que quanto maior a resistividade, maior a resistência para se estabelecer um fluxo de carga, ela aparece como um

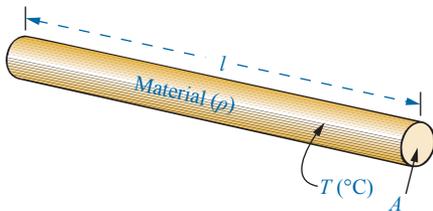


Figura 3.2 Fatores que afetam a resistência de um condutor.

Tabela 3.1 Resistividade (ρ) de vários metais.

Material	ρ (CM - Ω /pés)@20°C
Prata	9,9
Cobre	10,37
Ouro	14,7
Alumínio	17,0
Tungstênio	33,0
Níquel	47,0
Ferro	74,0
Constantan	295,0
Nicromo	600,0
Calorita	720,0
Carbono	21.000,0

fator multiplicador na Equação 3.1; isto é, ela aparece no numerador da equação. É importante perceber nesse ponto que, tendo em vista que a resistividade é fornecida a uma temperatura em particular, a Equação 3.1 é aplicável somente à temperatura ambiente. Os efeitos de temperaturas mais altas e mais baixas são considerados na Seção 3.4.

Tendo em vista que a resistividade está no numerador da Equação 3.1,

quanto maior a resistividade, maior a resistência de um condutor

como mostrado para dois condutores do mesmo comprimento na Figura 3.3(a).

Além disso,

quanto maior o comprimento de um condutor, maior a resistência,

tendo em vista que o comprimento também aparece no numerador da Equação 3.1. Observe a Figura 3.3(b).

Por fim,

quanto maior a área de um condutor, menor sua resistência,

porque a área aparece no denominador da Equação 3.1. Observe a Figura 3.3(c).

Mils circulares

Na Equação 3.1, a área é medida em uma quantidade chamada **mils circulares** (CM). É a quantidade usada na maioria das tabelas de fios comerciais, e desse modo ela precisa ser cuidadosamente definida. O *mil* é uma unidade de medida de comprimento, e se relaciona à polegada por:

$$1 \text{ mil} = \frac{1}{1.000} \text{ pol.}$$

ou

$$1.000 \text{ mils} = 1 \text{ pol.}$$

Em geral, portanto, o mil é uma unidade de medida de comprimento muito pequena. Há 1.000 mils em uma polegada, ou 1 mil é apenas 1/1.000 de uma polegada. Trata-se de um comprimento que não é visível a olho nu, apesar de ser medido usando-se instrumentos especiais. O termo *milling* (fresagem) usado em usinas de aço é derivado do fato de que alguns mils de material são muitas vezes removidos por máquinas pesadas como tornos mecânicos, e a espessura do aço é normalmente medida em mils.

Por definição,

um fio com um diâmetro de 1 mil possui uma área de 1 mil circular (CM),

como mostra a Figura 3.4.

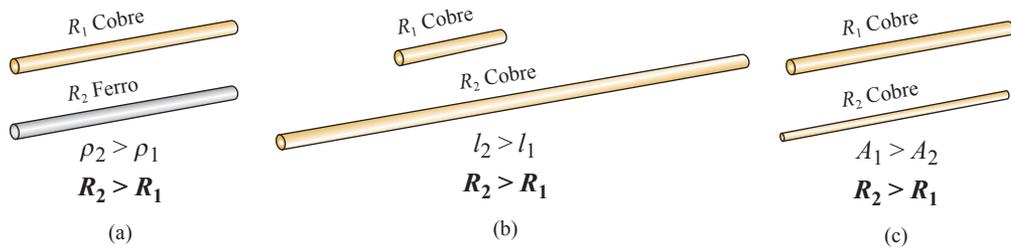


Figura 3.3 Casos em que $R_2 > R_1$. Em todos os casos, todos os outros parâmetros que influenciam a resistência são os mesmos.

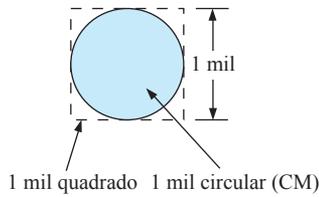


Figura 3.4 Definição de mil circular (CM).

O resultado interessante de uma definição como essa é o de que a área de um fio circular em mils circulares pode ser definida pela equação a seguir:

$$A_{CM} = (d_{mils})^2 \quad (3.2)$$

A verificação dessa equação aparece na Figura 3.5, que mostra que um fio com um diâmetro de 2 mils tem uma área total de 4 CM, e um fio com um diâmetro de 3 mils tem uma área total de 9 CM.

Lembre-se de que, para calcular a área de um fio em mils circulares quando o diâmetro for dado em polegadas, primeiro converta o diâmetro em mils escrevendo, simplesmente, o diâmetro em forma decimal e movendo o ponto decimal três casas para a direita. Por exemplo,

$$\frac{1}{8} \text{ pol.} = 0,125 \text{ pol.} = 125 \text{ mils}$$

3 posições

Então, a área é determinada por

$$A_{CM} = (d_{mils})^2 = (125 \text{ mils})^2 = 15.625 \text{ CM}$$

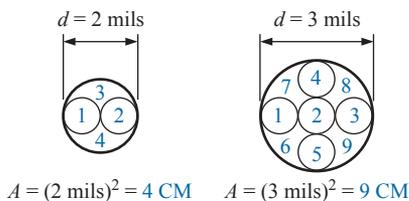


Figura 3.5 Verificação da Equação 3.2: $A_{CM} = (d_{mils})^2$.

Às vezes, quando você estiver trabalhando com condutores que não sejam circulares, precisará converter mils ao quadrado em mils circulares, e vice-versa. Aplicar a equação básica na área de um círculo e substituir um diâmetro de 1 mil resulta em

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (1 \text{ mil})^2}{4} = \frac{\pi}{4} \text{ mil quadrado} \equiv 1 \text{ CM}$$

por definição

a partir da qual poderemos concluir o seguinte:

$$1 \text{ CM} = \frac{\pi}{4} \text{ mil quadrado} \quad (3.3)$$

$$1 \text{ mil quadrado} = \frac{4}{\pi} \text{ CM} \quad (3.4)$$

EXEMPLO 3.1

Qual a resistência de um fio de cobre de 100 pés de comprimento que possui um diâmetro de 0,020 polegada a 20°C?

Solução:

$$\rho = 10,37 \frac{\text{CM} \cdot \Omega}{\text{p}\ddot{\text{E}}} \cdot 0,020 \text{ pol.} = 20 \text{ mils}$$

$$A_{CM} = (d_{mils})^2 = (20 \text{ mils})^2 = 400 \text{ CM}$$

$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{(10,37 \text{ CM} \cdot \Omega / \text{p}\ddot{\text{E}})(100 \text{ p}\ddot{\text{E}})}{400 \text{ CM}}$$

$$R = 2,59 \Omega$$

EXEMPLO 3.2

Um número indeterminado de pés de um fio foi removido da caixa mostrada na Figura 3.6. Determine o comprimento restante do fio de cobre, sendo que ele possui diâmetro de 1/16 polegada e resistência de 0,5 Ω.

Solução:

$$\rho = 10,37 \text{ CM} \cdot \Omega / \text{p}\ddot{\text{E}} \quad \frac{1}{16} \text{ pol.} = 0,0625 \text{ pol.}$$

$$= 62,5 \text{ mils}$$

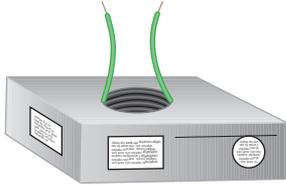


Figura 3.6 Exemplo 3.2.

$$A_{CM} = (d_{mils})^2 = (62,5 \text{ mils})^2 = 3.906,25 \text{ CM}$$

$$R = \rho \frac{l}{A} \Rightarrow l = \frac{RA}{\rho} = \frac{(0,5\Omega)(3.906,25 \text{ CM})}{10,37 \frac{\text{CM}\cdot\Omega}{\text{pés}}}$$

$$= \frac{1.953,125}{10,37}$$

$$l = \mathbf{188,34 \text{ pés}}$$

EXEMPLO 3.3

Qual a resistência de uma barra de cobre como aquela usada no painel de distribuição de energia de um prédio comercial, que possui as dimensões indicadas na Figura 3.7?

Solução:

$$A_{CM} \left\{ \begin{array}{l} 5,0 \text{ pol.} = 5.000 \text{ mils} \\ \frac{1}{2} \text{ pol.} = 500 \text{ mils} \\ A = (5.000 \text{ mils})(500 \text{ mils}) \\ = 2,5 \times 10^6 \text{ mils quadrados} \\ = 2,5 \times 10^6 \text{ mils quadrados} \left(\frac{4/\pi \text{ CM}}{1 \text{ mil quadrado}} \right) \\ A = 3,183 \times 10^6 \text{ CM} \end{array} \right.$$

$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{(10,37 \text{ CM}\cdot\Omega/\text{pés})(3 \text{ pés})}{3,183 \times 10^6 \text{ CM}} = \frac{31,11}{3,183 \times 10^6}$$

$$R = \mathbf{9,774 \times 10^{-6} \Omega}$$

(muito pequena, $0,000009774 \Omega \cong 0 \Omega$)

Veremos nos capítulos que se seguem que, quanto menor a resistência de um condutor, menores as perdas

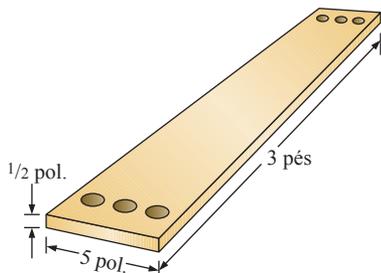


Figura 3.7 Exemplo 3.3.

na transmissão de energia elétrica da fonte para a carga. De modo similar, como a resistividade é um fator determinante na resistência de um condutor, quanto menor a resistividade, menor a resistência em condutores com as mesmas dimensões. Portanto, a Tabela 3.1 poderia sugerir que a prata, o cobre, o ouro e o alumínio seriam os melhores condutores, e os mais comuns. Entretanto, geralmente existem outros fatores como a **maleabilidade** (facilidade com que se pode moldar o material), a **ductilidade** (facilidade com que o material pode ser transformado em fios longos e finos), a sensibilidade à temperatura, a resistência à fadiga e, é claro, o custo que precisa ser levado em consideração quando escolhemos um condutor para uma determinada aplicação.

Em geral, o cobre é o material mais largamente usado, pois é bastante maleável, dúctil e pode ser facilmente encontrado, além de ter boas características térmicas e ser mais barato do que a prata e o ouro. Contudo, ele certamente não é barato. Os empreiteiros sempre garantem que a fiação de cobre seja removida de prédios a serem demolidos devido o seu baixo custo de recuperação. Durante algum tempo, o alumínio foi usado para fabricar fios comuns porque é mais barato do que o cobre, mas suas características térmicas criaram algumas dificuldades. Descobriu-se que o aquecimento gerado pela corrente e o resfriamento que ocorria quando o circuito era desligado provocavam expansões e contrações dos fios de alumínio a tal ponto que as conexões ficavam frouxas, o que podia resultar em acidentes perigosos. No entanto, o alumínio é usado ainda hoje em áreas como a de produção de circuitos integrados e em situações em que as conexões podem ser feitas de maneira segura. A prata e o ouro são, é claro, muito mais caros do que o cobre e o alumínio, mas há situações em que o custo se justifica. A prata possui excelentes características que a qualificam para cobrir superfícies, e o ouro é bastante usado em circuitos integrados. O tungstênio tem uma resistividade três vezes maior que a do cobre, mas há ocasiões em que suas características físicas (durabilidade e resistência mecânica) são os fatores mais importantes.

3.3 TABELAS DE FIOS

A tabela de fios foi idealizada originariamente para padronizar as dimensões dos fios produzidos pelos fabricantes nos Estados Unidos. O resultado disso foi que os fabricantes passaram a trabalhar com um mercado maior, e o consumidor passou a ter facilidade para encontrar fios com dimensões-padrão. A tabela foi projetada para ajudar o usuário de todas as maneiras possíveis; ela normalmente contém dados como a área da seção reta em mils circulares, o diâmetro em mils, a resistividade em ohms por 1.000 pés a 20°C e o peso por 1.000 pés.

As dimensões do American Wire Gage (AWG), ou Calibre Norte-americano para Fios, aparecem na Tabela 3.2 para fios cilíndricos maciços de cobre. Uma coluna indicando a corrente máxima permitida em ampères, como determinado pela National Fire Protection Association (Associação Nacional de Proteção contra Incêndios), também foi incluída.

As dimensões escolhidas possuem uma relação interessante entre si:

A área é duplicada para cada redução em 3 números no calibre, e é aumentada por um fator de 10 para cada redução em 10.

Analisando a Equação 3.1, notamos também que ao dobrar a área diminuimos a resistência pela metade, e ao aumentar a área por um fator de 10 diminuimos a resistência para 1/10 da original, mantendo constantes todos os outros parâmetros.

As dimensões reais de alguns dos fios listados na Tabela 3.2 são mostradas na Figura 3.8 com algumas de suas áreas de aplicação. Veja a seguir alguns exemplos usando a Tabela 3.2.

EXEMPLO 3.4

Determine a resistência de um fio de cobre #8 de 650 pés ($T = 20^\circ\text{C}$).

Solução:

Para o fio de cobre #8 (maciço), $\Omega/1.000$ pés a $20^\circ\text{C} = 0,6282 \Omega$, e

$$650 \cancel{\text{pés}} \left(\frac{0,6282 \Omega}{1000 \cancel{\text{pés}}} \right) = 0,408 \Omega$$

EXEMPLO 3.5

Qual o diâmetro, em polegadas, de um fio de cobre #12?

Solução:

Para um fio de cobre #12 (maciço), $A = 6.529,9 \text{ CM}^2$ e

$$d_{\text{mils}} = \sqrt{A_{\text{CM}}} = \sqrt{6529,9 \text{ CM}^2} \cong 80,81 \text{ mils}$$

$$d = 0,081 \text{ pol. (ou aproximadamente } 1/12 \text{ pol.)}$$

EXEMPLO 3.6

Para o sistema mostrado na Figura 3.9, a resistência total de cada linha de transmissão não pode exceder $0,025 \Omega$, e a corrente máxima drenada pela carga é 95 A . Qual calibre de fio deve ser usado?

Solução:

$$R = \rho \frac{l}{A} \Rightarrow A = \rho \frac{l}{R} = \frac{(10,37 \text{ CM}\cdot\Omega/\cancel{\text{pés}})(100 \cancel{\text{pés}})}{0,025 \Omega}$$

$$= 41.480 \text{ CM}^2$$

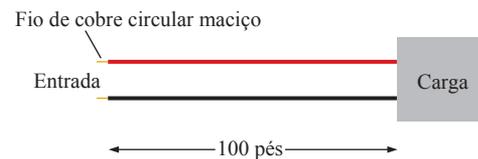


Figura 3.9 Exemplo 3.6.

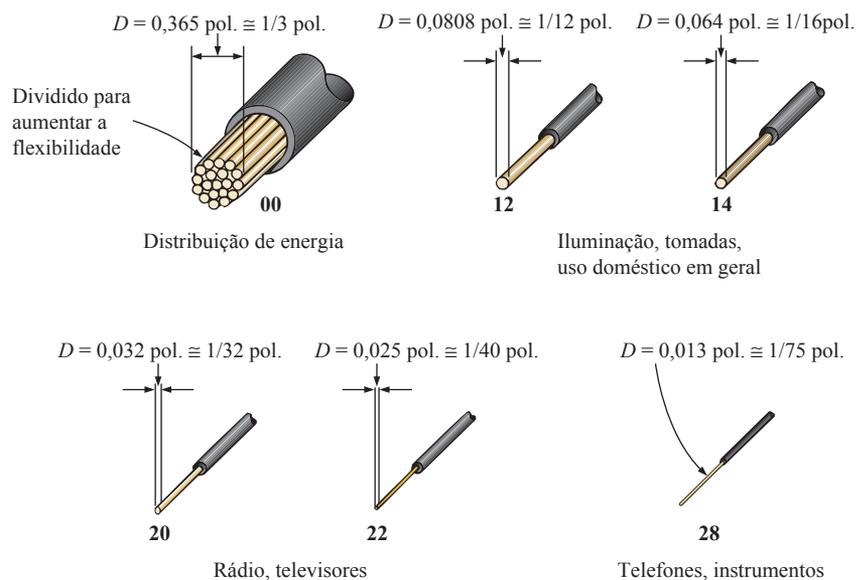


Figura 3.8 Tamanhos mais comuns de fios e algumas de suas áreas de aplicação.

Tabela 3.2 Dimensões AWG (American Wire Gage).

	AWG #	Área (CM)	$\Omega/1.000$ pés a 20°C	Corrente máxima permitida para isolamento RHW (A)*
(4/0)	0000	211.600	0,0490	230
(3/0)	000	167.810	0,0618	200
(2/0)	00	133.080	0,0780	175
(1/0)	0	105.530	0,0983	150
	1	83.694	0,1240	130
	2	66.373	0,1563	115
	3	52.634	0,1970	100
	4	41.742	0,2485	85
	5	33.102	0,3133	—
	6	26.250	0,3951	65
	7	20.816	0,4982	—
	8	16.509	0,6282	50
	9	13.094	0,7921	—
	10	10.381	0,9989	30
	11	8.234,0	1,260	—
	12	6.529,9	1,588	20
	13	5.178,4	2,003	—
	14	4.106,8	2,525	15
	15	3.256,7	3,184	
	16	2.582,9	4,016	
	17	2.048,2	5,064	
	18	1.624,3	6,385	
	19	1.288,1	8,051	
	20	1.021,5	10,15	
	21	810,10	12,80	
	22	642,40	16,14	
	23	509,45	20,36	
	24	404,01	25,67	
	25	320,40	32,37	
	26	254,10	40,81	
	27	201,50	51,47	
	28	159,79	64,90	
	29	126,72	81,83	
	30	100,50	103,2	
	31	79,70	130,1	
	32	63,21	164,1	
	33	50,13	206,9	
	34	39,75	260,9	
	35	31,52	329,0	
	36	25,00	414,8	
	37	19,83	523,1	
	38	15,72	659,6	
	39	12,47	831,8	
	40	9,89	1.049,0	

*Não mais de três condutores por conduíte, cabo ou vala.

Fonte: Reproduzido com permissão da NFPA nº SPP-6C, National Electrical Code®, Copyright© 1996, National Fire Protection Association, Quincy, MA 02269. Este material reproduzido não constitui a posição oficial e completa da NFPA sobre o referido assunto, a qual é representada somente pela versão completa. *National Electrical Code* é marca registrada da National Fire Protection Association, Inc., Quincy, MA, para uma publicação sobre eletricidade trianual. O termo *National Electrical Code*, como usado aqui, refere-se à publicação trianual denominada National Electrical Code e é usado com permissão da National Fire Protection Association.

Usando a tabela de fios, escolhemos o fio com a menor área que exceda o valor anterior, que é o #4, para que a resistência se mantenha dentro dos limites especificados. Entretanto, notamos que 95 A precisa fluir na linha. Essa especificação requer o uso do **fio #3**, já que o fio #4 pode suportar uma corrente de no máximo 85 A.

3.4 EFEITOS DA TEMPERATURA

A temperatura tem um efeito significativo sobre as resistências de condutores, semicondutores e isolantes.

Condutores

Os condutores possuem um grande número de elétrons livres, e qualquer acréscimo de energia térmica tem um impacto muito pequeno sobre o número total de portadores de carga livres. Na verdade, a energia térmica apenas provoca um aumento da vibração dos átomos do material, aumentando a dificuldade do fluxo de elétrons em qualquer direção estabelecida. O resultado é que

nos bons condutores, o aumento da temperatura resulta em um aumento no valor de resistência. Consequentemente, os condutores têm um coeficiente de temperatura positivo.

O gráfico da Figura 3.10(a) apresenta um coeficiente de temperatura positivo:

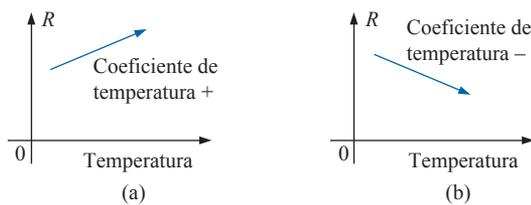


Figura 3.10 Demonstração dos efeitos de coeficientes de temperatura negativo e positivo sobre a resistência de um condutor.

Semicondutores

Nos semicondutores, o aumento de temperatura indica a medida da energia térmica do sistema que resulta em um aumento no número de portadores livres para a condução do material. O resultado é que

nos materiais semicondutores, o aumento da temperatura resulta na diminuição do valor da resistência. Consequentemente, os semicondutores têm coeficientes de temperatura negativos.

O termistor e a célula fotocondutiva, apresentados nas seções 3.12 e 3.13 deste capítulo, são excelentes exemplos de dispositivos semicondutores com coeficientes de temperatura negativos. O gráfico mostrado na Figura 3.10(b) apresenta um coeficiente de temperatura negativo.

Isolantes

Assim como acontece com os semicondutores, o aumento da temperatura resulta na diminuição da resistência dos isolantes. O resultado é um coeficiente de temperatura negativo.

Temperatura absoluta inferida

A Figura 3.11 revela que para o cobre (como para a maioria dos condutores metálicos) a resistência aumenta quase linearmente (representada graficamente por uma linha reta) com o aumento da temperatura. Como a temperatura pode ter uma influência significativa na resistência de um condutor, é importante conhecer alguns métodos para determinar a resistência a qualquer temperatura dentro dos limites de operação. Uma equação para esse fim pode ser obtida aproximando-se a curva mostrada na Figura 3.11 à linha reta tracejada que intercepta a escala de temperaturas em $-234,5^{\circ}\text{C}$. Embora a curva real se estenda até o **zero absoluto** ($-273,15^{\circ}\text{C}$ ou 0 K), a aproximação pela linha reta é bastante precisa para a faixa normal de temperaturas de operação. A duas temperaturas diferentes, T_1 e T_2 , as

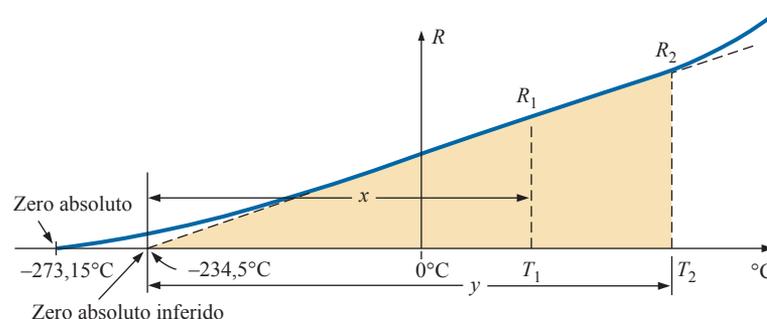


Figura 3.11 Efeito da temperatura sobre a resistência do cobre.

resistências do cobre são R_1 e R_2 , segundo indica a curva. Utilizando as propriedades de semelhanças de triângulos, podemos determinar uma relação matemática entre esses valores de resistência a diferentes temperaturas. Seja x igual à distância de $-234,5^\circ\text{C}$ para T_1 e y igual à distância de $-234,5^\circ\text{C}$ para T_2 , como mostra a Figura 3.11. Por semelhança de triângulos,

$$\frac{x}{R_1} = \frac{y}{R_2}$$

ou
$$\frac{234,5 + T_1}{R_1} = \frac{234,5 + T_2}{R_2} \quad (3.5)$$

A temperatura de $-234,5^\circ\text{C}$ é chamada **temperatura absoluta inferida** do cobre. Para diferentes materiais condutores, a interseção da linha reta com o eixo das abscissas ocorre a diferentes temperaturas. Alguns valores típicos são listados na Tabela 3.3.

O sinal negativo não aparece associado às temperaturas absolutas inferidas em ambos os lados da Equação 3.5 porque x e y são *distâncias* de $-234,5^\circ\text{C}$ a T_1 e T_2 , respectivamente, portanto são simplesmente valores absolutos. Para T_1 e T_2 menores do que zero, x e y são menores que $-234,5^\circ\text{C}$, e as distâncias são as diferenças entre a temperatura absoluta inferida e a temperatura de interesse.

A Equação 3.5 pode facilmente ser adaptada a qualquer material inserindo a temperatura absoluta inferida apropriada. Portanto, ela pode ser escrita da seguinte maneira:

$$\frac{|T_1| + T_1}{R_1} = \frac{|T_1| + T_2}{R_2} \quad (3.6)$$

onde $|T_1|$ indica que a temperatura absoluta inferida do material envolvido é inserida como um valor positivo na equação. Portanto, em geral, o sinal é associado apenas a T_1 e T_2 .

Tabela 3.3 Temperaturas absolutas inferidas.

Material	$^\circ\text{C}$
Prata	-243
Cobre	-234,5
Ouro	-274
Alumínio	-236
Tungstênio	-204
Níquel	-147
Ferro	-162
Nicromo	-2.250
Constantan	-125.000

EXEMPLO 3.7

Se a resistência de um fio de cobre é 50Ω a 20°C , qual será sua resistência a 100°C (ponto de ebulição da água)?

Solução:

A partir da Equação 3.5:

$$\frac{234,5^\circ\text{C} + 20^\circ\text{C}}{50 \Omega} = \frac{234,5^\circ\text{C} + 100^\circ\text{C}}{R_2}$$

$$R_2 = \frac{(50 \Omega)(334,5^\circ\text{C})}{254,5^\circ\text{C}} = \mathbf{65,72 \Omega}$$

EXEMPLO 3.8

Se a resistência de um fio de cobre à temperatura de congelamento da água (0°C) é 30Ω , qual será sua resistência a -40°C ?

Solução:

A partir da Equação 3.5:

$$\frac{234,5^\circ\text{C} + 0}{30 \Omega} = \frac{234,5^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}}{R_2}$$

$$R_2 = \frac{(30 \Omega)(194,5^\circ\text{C})}{234,5^\circ\text{C}} = \mathbf{24,88 \Omega}$$

EXEMPLO 3.9

Se a resistência de um fio de alumínio à temperatura ambiente (20°C) é $100 \text{ m}\Omega$ (medida com um miliohmímetro), a que temperatura sua resistência passará a ser $120 \text{ m}\Omega$?

Solução:

A partir da Equação 3.5:

$$\frac{236^\circ\text{C} + 20^\circ\text{C}}{100 \text{ m}\Omega} = \frac{236^\circ\text{C} + T_2}{120 \text{ m}\Omega}$$

e

$$T_2 = 120 \text{ m}\Omega \left(\frac{256^\circ\text{C}}{100 \text{ m}\Omega} \right) - 236^\circ\text{C}$$

$$T_2 = \mathbf{71,2^\circ\text{C}}$$

Coefficiente de temperatura da resistência

Há uma segunda equação popular para o cálculo da resistência de um condutor em diferentes temperaturas. Definindo:

$$\alpha_{20} = \frac{1}{|T_1| + 20^\circ\text{C}} \quad (\Omega/^\circ\text{C}/\Omega) \quad (3.7)$$

como o **coeficiente de temperatura da resistência** à temperatura de 20°C e R_{20} como a resistência da amostra a 20°C , a resistência R_1 à temperatura T_1 é determinada por:

$$R_1 = R_{20} [1 + \alpha_{20}(T_1 - 20^\circ\text{C})] \quad (3.8)$$

Tabela 3.4 Coeficiente de temperatura da resistência para vários condutores a 20°C.

Material	Coeficiente de temperatura (α_{20})
Prata	0,0038
Cobre	0,00393
Ouro	0,0034
Alumínio	0,00391
Tungstênio	0,005
Níquel	0,006
Ferro	0,0055
Constantan	0,000008
Nicromo	0,00044

Dos valores de α_{20} determinados para diferentes materiais, alguns deles estão listados na Tabela 3.4.

A Equação 3.8 pode ser escrita da seguinte maneira:

$$\alpha_{20} = \frac{\left(\frac{R_1 - R_{20}}{T_1 - 20^\circ\text{C}} \right)}{R_{20}} = \frac{\Delta R}{R_{20} \Delta T}$$

a partir da qual é definida a unidade $\Omega/^\circ\text{C}/\Omega$ para α_{20} .

Visto que $\Delta R/\Delta T$ é a inclinação da curva mostrada na Figura 3.11, podemos concluir que

quanto maior o coeficiente de temperatura da resistência de um material, mais sensível será o nível de resistência a mudanças de temperatura.

Observando a Tabela 3.3, notamos que o cobre é mais sensível a variações de temperatura do que a prata, o ouro e o alumínio, embora as diferenças sejam muito pequenas. A inclinação definida para o parâmetro α_{20} , no caso do constantan, é tão pequena que a curva é praticamente horizontal.

Visto que R_{20} , na Equação 3.8, é a resistência do condutor a 20°C e $T_1 - 20^\circ\text{C}$ é a mudança na temperatura a partir de 20°C, a Equação 3.8 pode ser escrita da seguinte maneira:

$$R = \rho \frac{l}{A} [1 + \alpha_{20} \Delta T] \tag{3.9}$$

que permite calcular a resistência a partir de todos os parâmetros relevantes.

PPM/°C

Para os resistores, assim como para os condutores, a resistência varia com as oscilações de temperatura. Essa especificação é normalmente fornecida em partes

por milhão por grau Celsius (**PPM/°C**), dando uma indicação imediata da sensibilidade do resistor à variação de temperatura. Para os resistores, um valor de 5.000 PPM é considerado alto, enquanto um valor de 20 PPM é considerado muito baixo. Um valor de 1.000 PPM/°C significa que uma variação de 1° na temperatura resulta em uma variação no valor da resistência igual a 1.000 PPM ou $1.000/1.000.000 = 1/1.000$ de seu valor nominal, o que não é uma variação significativa para a maioria das aplicações. Entretanto, uma variação de 10°C resultaria em uma alteração igual a 1/100 (1 por cento) do valor nominal, o que já começa a se tornar significativo. Portanto, a preocupação não reside apenas no valor em PPM, mas também na variação de temperatura esperada.

Na forma de equação, a variação de resistência é dada por:

$$\Delta R = \frac{R_{\text{nominal}}}{10^6} (\text{PPM})(\Delta T) \tag{3.10}$$

onde R_{nominal} é o valor nominal do resistor à temperatura ambiente e ΔT é a variação de temperatura a partir do valor de referência de 20°C.

EXEMPLO 3.10

Para um resistor de carbono de 1 kΩ cujo PPM é 2.500, determine a resistência a 60°C.

Solução:

$$\begin{aligned} \Delta R &= \frac{1.000 \Omega}{10^6} (2.500)(60^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) \\ &= 100 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e \quad R &= R_{\text{nominal}} + \Delta R = 1.000 \Omega + 100 \Omega \\ &= \mathbf{1.100 \Omega} \end{aligned}$$

3.5 TIPOS DE RESISTORES

Resistores fixos

Os resistores podem ser construídos em diversos formatos, mas todos eles podem ser divididos em dois grupos: fixos e variáveis. O mais comum dos resistores fixos de baixa potência é o resistor de filme mostrado na Figura 3.12. Ele foi construído com o depósito de uma camada fina de material resistivo (tipicamente carbono, metal ou óxido de metal) sobre uma haste cerâmica. A resistência desejada é, então, obtida cortando fora parte do material resistivo de maneira helicoidal para estabelecer uma faixa longa e contínua de material de alta resistência de uma extremidade do resistor até a outra. Em geral, resistores de carbono têm um corpo bege e são de baixa potência. O resistor de filme de metal é tipicamente de uma cor mais forte, como vermelho-tijolo

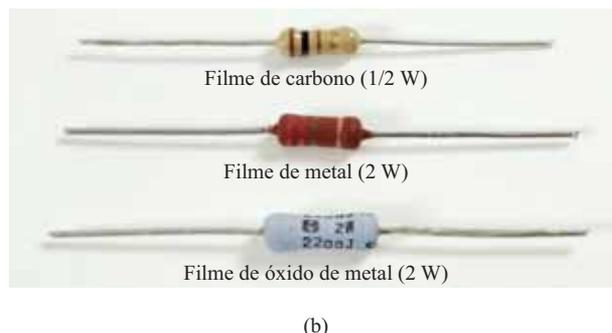
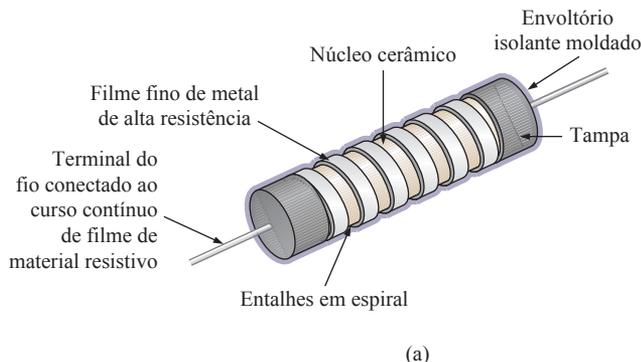


Figura 3.12 Resistores de película: (a) construção; (b) tipos.

ou verde-escuro, com especificações de potência mais altas. O resistor de óxido de metal normalmente tem uma cor pastel mais suave, e tem a especificação de potência mais alta dos três.

Quando você procurar na maioria dos catálogos eletrônicos ou for a um representante de produtos eletrônicos local para comprar resistores, verá que o resistor mais comum é o resistor de filme. Alguns anos atrás, o resistor de carbono na Figura 3.13 era o mais comum, mas cada vez menos empresas fabricam essa variedade, e sua gama de aplicações foi reduzida a usos nos quais temperaturas muito altas e efeitos indutivos (Capítulo 11) podem ser um problema. Sua resistência é determinada pelo material de composição de carbono moldado diretamente em cada extremidade do resistor. As características de alta resistividade do carbono ($\rho = 21.000 \text{ CM-}\Omega/\text{pés}$) proporcionam um curso de alta resistência para a corrente através do elemento.

Para estilos e fabricantes específicos, o tamanho de um resistor aumenta de acordo com a potência ou com a especificação de potência.

O conceito de potência é abordado em detalhes no Capítulo 4, mas por ora perceba que especificações de potência maiores são normalmente associadas à capacidade de suportar níveis de corrente e temperatura mais altos. A Figura 3.14 descreve o tamanho real de resistores de filme finos de óxido de metal no caso da especificação de potência de 1/4 W a 5 W. Todos os resistores na Figura 3.14 são de 1 M Ω , mostrando que

o tamanho de um resistor não define seu nível de resistência.

Uma série de outros resistores fixos é descrita na Figura 3.15. Os resistores da Figura 3.15(a) são formados ao se enrolar um fio de alta resistência em torno de um núcleo de cerâmica. A estrutura inteira é então cozida em

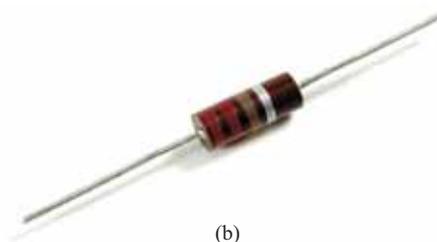
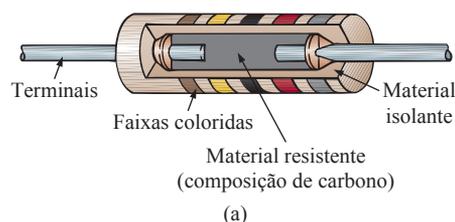


Figura 3.13 Resistores de composição fixa: (a) construção; (b) aparência.

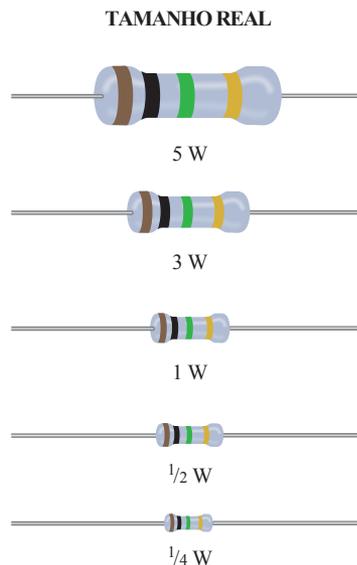


Figura 3.14 Resistores fixos de carbono com diferentes especificações de potência.

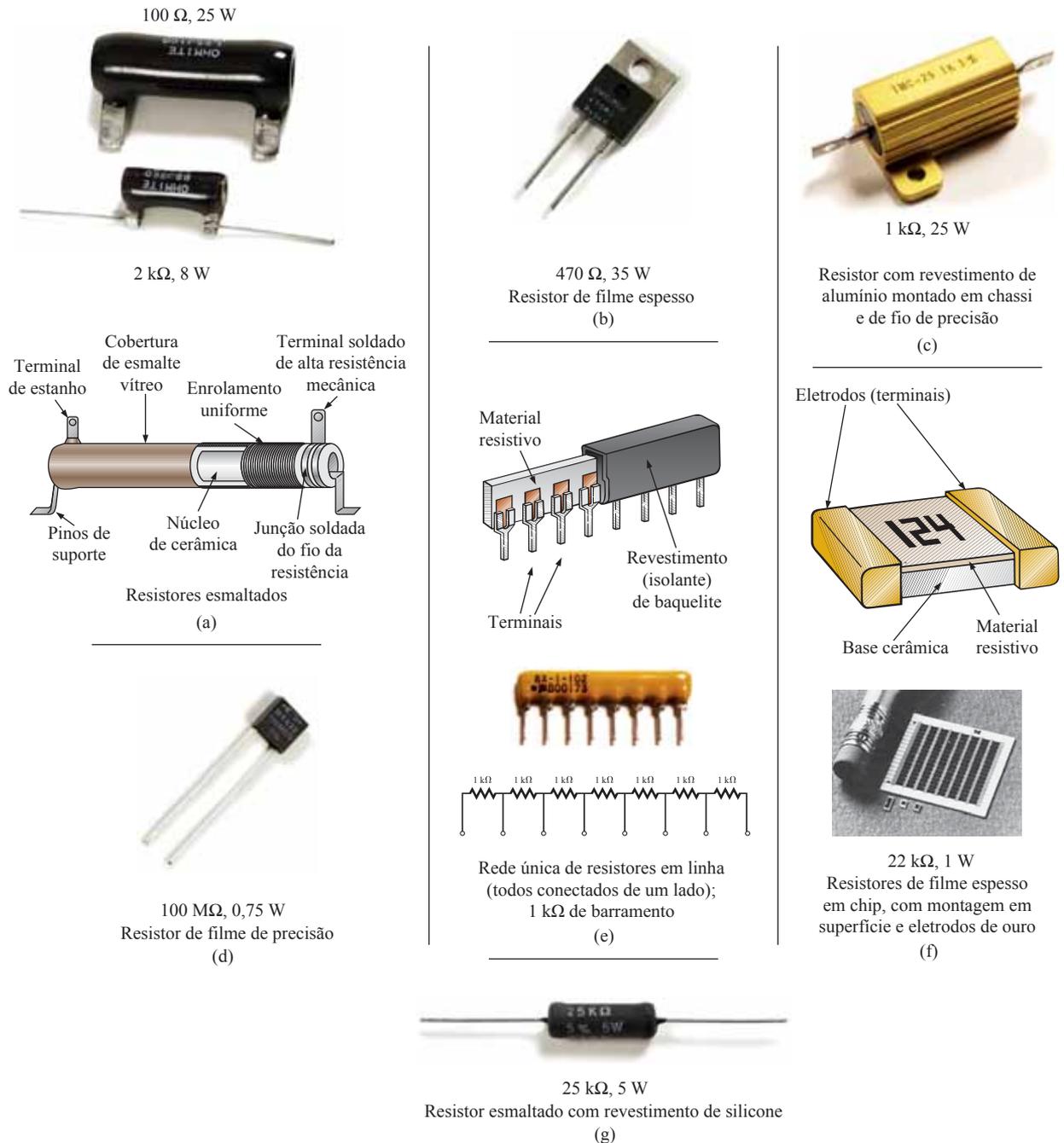


Figura 3.15 Vários tipos de resistores fixos.

um cimento cerâmico para fornecer uma camada protetora. Esses resistores são tipicamente usados para aplicações de potência maiores, apesar de também estarem disponíveis em especificações de potência muito pequenas e de precisão muito alta.

As figuras 3.15(c) e (g) são tipos especiais de resistores com baixa tolerância percentual. Observe, em particular, as altas especificações de potência para os resistores esmaltados para seus tamanhos relativamente pequenos.

As figuras 3.15(b), (d) e (f) são resistores de filme de potência que usam uma camada mais espessa de material de filme do que a usada no tipo mostrado na Figura 3.12. Os resistores de chip na Figura 3.15(f) são usados onde o espaço é uma prioridade, como sobre a superfície do painel de um circuito. Unidades desse tipo podem ter menos de 1/16 polegada de comprimento ou de largura, com uma espessura tão pequena quanto 1/30 polegada; entretanto, eles ainda podem suportar 0,5 W de potência com níveis de

resistência tão altos quanto $1.000\text{ M}\Omega$ — uma prova clara de que o tamanho não determina o nível de resistência. O resistor fixo na Figura 3.15(c) tem terminais aplicados a uma camada de material resistor, com a resistência entre os terminais sendo determinada pelas dimensões do material resistivo e da colocação de *pads* terminais.

Resistores variáveis

Os resistores variáveis, como o próprio nome sugere, têm uma resistência que pode ser variada ao se girar um botão, um parafuso ou o que for apropriado para a aplicação específica. Eles podem ter dois ou três terminais, mas a maioria possui três. Quando um dispositivo de dois ou três terminais é usado como um resistor variável, geralmente ele é denominado **reostato**. Se um dispositivo de três terminais é usado para controlar níveis de potência, então ele é normalmente denominado **potenciômetro**. Mesmo que um dispositivo de três terminais possa ser usado como reostato ou potenciômetro (dependendo de como ele é conectado), ele costuma ser denominado *potenciômetro* quando aparece em revistas especializadas ou em listas de componentes para aplicações específicas.

O símbolo de um potenciômetro de três terminais é mostrado na Figura 3.16 (a). Quando usado como um resistor variável (ou reostato), ele pode ser conectado de dois modos, como mostram as figuras 3.16(b) e (c). Na Figura 3.16(b), os pontos *a* e *b* estão conectados ao circuito, e o terminal restante é deixado desligado. A resistência introduzida é determinada pela porção do elemento resistivo entre os pontos *a* e *b*. Na Figura 3.16(c), a resistência é novamente aquela entre os pontos *a* e *b*, mas agora a resistência restante é ‘extraída’ (seu efeito é removido) pela conexão de *b* a *c*. O símbolo aceito universalmente para o reostato é mostrado na Figura 3.16(d).

A maioria dos potenciômetros tem três terminais nas posições relativas mostradas na Figura 3.17. O botão, a chave ou o parafuso situado no centro do encapsulamento controla o movimento de um contato que pode se mover ao longo de um elemento resistivo conectado entre os dois terminais externos. O contato está ligado ao terminal

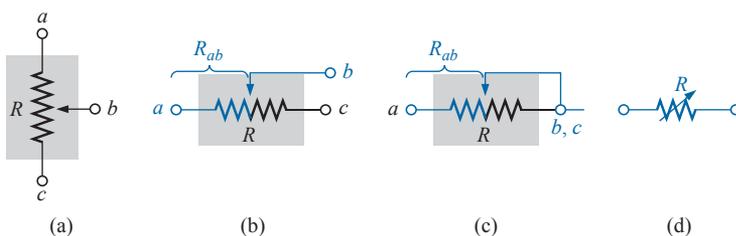


Figura 3.16 Potenciômetro: (a) símbolo; (b) e (c) conexões tipo reostato; (d) símbolo de reostato.

central, o que estabelece uma resistência entre o contato móvel e os terminais externos.

*A resistência entre os terminais externos *a* e *c* da Figura 3.18(a) (e da Figura 3.17) é sempre fixa no valor máximo do potenciômetro, independentemente da posição do cursor ligado a *b*.*

Em outras palavras, a resistência entre os terminais *a* e *c* vistos na Figura 3.18(a) para um potenciômetro de $1\text{ M}\Omega$ é sempre $1\text{ M}\Omega$, não importa o quanto giremos o controle, deslocando o contato. Na Figura 3.18(a), o contato central não está ligado ao circuito.

A resistência entre o terminal do cursor e um dos terminais externos pode variar entre um mínimo de $0\ \Omega$ e um valor máximo igual ao valor nominal do potenciômetro.

Na Figura 3.18(b), o cursor foi colocado a 1/4 da distância entre os pontos *a* e *c*. A resistência resultante entre os pontos *a* e *b* é, portanto, 1/4 do total, ou seja, $250\text{ k}\Omega$

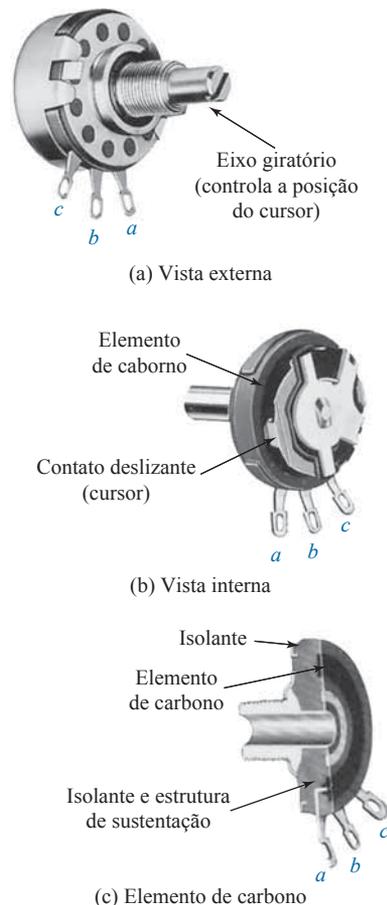


Figura 3.17 Potenciômetro com resistor de carbono. (Cortesia da Allen-Bradley Co.)

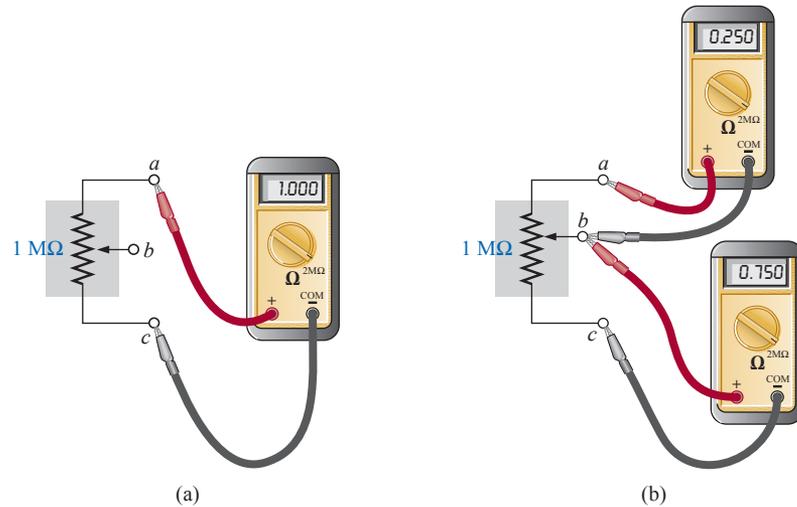


Figura 3.18 Componentes resistivos de um potenciômetro: (a) entre os terminais externos; (b) entre o contato móvel e cada terminal externo.

(para um potenciômetro de 1 MΩ), e a resistência entre *b* e *c* é 3/4 do total, isto é, 750 kΩ.

A soma das resistências entre o cursor e os dois terminais externos é igual à resistência total do potenciômetro.

Isso é demonstrado pela ilustração na Figura 3.18 (b), em que 250 kΩ + 750 kΩ = 1 MΩ. Especificamente,

$$R_{ac} = R_{ab} + R_{bc} \quad (3.11)$$

Portanto, conforme a resistência entre o cursor e um dos contatos externos aumenta, a resistência entre esse contato móvel e o outro terminal externo diminui na mesma proporção. Por exemplo: se R_{ab} de um potenciômetro de 1 kΩ for 200 Ω, a resistência R_{bc} deve ser 800 Ω. Se

R_{ab} diminui para 50 Ω, R_{bc} deve aumentar para 950 Ω, e assim por diante.

Os potenciômetros de carbono são geralmente usados em circuitos com menor consumo de energia, e são encontrados em valores de 20 Ω até 22 MΩ (valores máximos). Um *trimmer* miniatura (menos de 1/4 polegada em diâmetro) aparece na Figura 3.19(a), e uma série de potenciômetros que usam um material resistivo de cermet aparecem na Figura 3.19(b). O ponto de contato do resistor de três pontos Figura 3.19(c) pode ser movido para estabelecer a resistência entre os três terminais.

Quando o dispositivo é usado como potenciômetro, as conexões são feitas conforme indica a Figura 3.20. Nesse caso, ele pode ser usado para controlar os valores das tensões V_{ab} , V_{bc} ou ambas, dependendo da aplicação. Outras discussões sobre o uso dos potenciômetros conectados a cargas podem ser encontradas nos próximos capítulos.

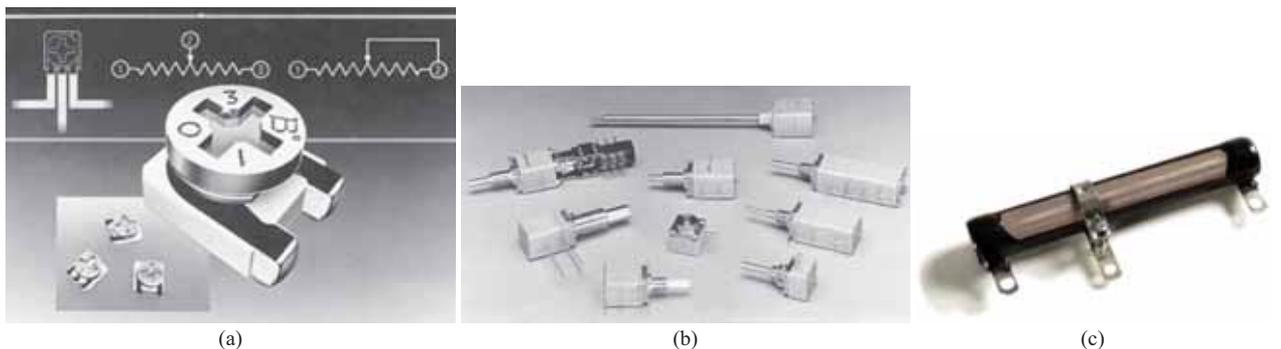


Figura 3.19 Resistores variáveis: (a) *Trimmer* de 4 mm (≈ 5/32 polegadas) (cortesia da Bourns, Inc.); (b) elementos condutores de plástico e cermet (cortesia da Honeywell Clarostat); (c) resistor esmaltado de três pontos.

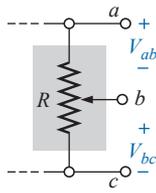


Figura 3.20 Controle de valores de tensão usando-se um potenciômetro.

3.6 CÓDIGO DE CORES E VALORES PADRONIZADOS DE RESISTORES

Há uma grande variedade de resistores, fixos e variáveis, suficiente para ter o valor da resistência escrita em ohms em seu encapsulamento. Entretanto, alguns são muito pequenos para terem números impressos, então um sistema de **código de cores** é usado. Para os resistores de filme fino, quatro, cinco ou seis faixas coloridas podem ser usadas. O esquema de quatro faixas é descrito aqui. Mais tarde, nesta seção, as finalidades da quinta e da sexta faixas serão descritas.

Para o esquema de quatro faixas, as faixas são *sempre lidas da extremidade que tem uma faixa mais próxima dela*, como mostra a Figura 3.21. As faixas são numeradas como mostrado, para que possam ser usadas como referência na discussão a seguir.

A primeira e a segunda faixas representam o primeiro e o segundo dígitos, respectivamente.

Elas são os primeiros dois números efetivos que definem o valor numérico do resistor.

A terceira faixa determina o multiplicador, em potências de 10, dos primeiros dois dígitos (ou seja, o número de zeros que se seguem ao segundo dígito para os resistores maiores que 10 Ω).

A quarta faixa é a tolerância do resistor fornecida pelo fabricante, que é uma indicação da precisão no valor da resistência.

Se a quarta faixa for omitida, convencionou-se que a tolerância seria de ±20 por cento.



Figura 3.21 Código de cores para resistores fixos.

O número correspondente de cada cor é definido na Figura 3.22. A quarta faixa será ±5 ou ±10 por cento, como definido pelo ouro e pela prata, respectivamente. Para lembrar da cor que acompanha cada porcentagem, simplesmente lembre-se de que os resistores de ±5 por cento custam mais, e que o ouro é mais valioso do que a prata.

Lembrar-se da cor que acompanha cada dígito exige um pouco de prática. Em geral, as cores começam nos tons mais escuros e evoluem na direção de tons mais claros. A melhor maneira de memorizá-las é simplesmente repetir várias vezes que vermelho é 2, amarelo é 4, e assim por diante. Simplesmente pratique com um amigo ou colega, e você aprenderá a maioria das cores rapidamente.

EXEMPLO 3.11

Calcule o valor do resistor da Figura 3.23.

Solução:

Fazendo a leitura da faixa mais próxima da extremidade esquerda, o marrom e o vermelho representam os números 1 e 2, respectivamente. A terceira faixa é laranja, representando o número 3 para a potência do multiplicador, como a seguir:

$$12 \times 10^3 \Omega$$

resultando em um valor de 12 kΩ. Como indicado anteriormente, se 12 kΩ for escrito como 12.000 Ω, a

Número	Cor
0	Preto
1	Marrom
2	Vermelho
3	Laranja
4	Amarelo
5	Verde
6	Azul
7	Violeta
8	Cinza
9	Branco

±5% (multiplicador de 0,01 se 3ª faixa)		Ouro
±10% (multiplicador de 0,01 se 3ª faixa)		Prata

Figura 3.22 Código de cores.



Figura 3.23 Exemplo 3.11.

terceira faixa revelará o número de zeros que seguem os primeiros dois dígitos.

Quanto à quarta faixa de ouro, representando uma tolerância de ±5 por cento: para calcular o intervalo de resistência no qual o fabricante garantiu que o resistor cairá, primeiro converta os 5 por cento em um número decimal movendo a vírgula duas casas para a esquerda:

$$5\% \Rightarrow 0,05$$

Então, multiplique o valor do resistor pelo número decimal a seguir:

$$0,05(12 \text{ k}\Omega) = 600 \Omega$$

Por fim, adicione o número resultante ao valor do resistor para determinar o valor máximo, e subtraia o número para calcular o valor mínimo. Isto é,

$$\begin{aligned} \text{Máximo} &= 12.000 \Omega + 600 \Omega = 12,6 \text{ k}\Omega \\ \text{Mínimo} &= 12.000 \Omega - 600 \Omega = 11,4 \text{ k}\Omega \\ \text{Intervalo} &= \mathbf{11,4 \text{ k}\Omega \text{ a } 12,6 \text{ k}\Omega} \end{aligned}$$

O resultado é que o fabricante garantiu que com a faixa de ouro de 5 por cento, o resistor cairá dentro do intervalo determinado. Em outras palavras, o fabricante não garante que o resistor será exatamente 12 kΩ, mas que ele cairá em um intervalo como definido anteriormente.

Usando o procedimento anterior, o menor resistor que pode ser rotulado com o código de cor é 10 Ω. Entretanto,

o intervalo pode ser ampliado para incluir resistores de 0,1 a 10 Ω simplesmente usando o ouro como uma cor multiplicadora (terceira faixa) para representar 0,1 e usando a prata para representar 0,01.

Isso é demonstrado no exemplo a seguir.

EXEMPLO 3.12

Calcule o valor do resistor da Figura 3.24.

Solução:

As primeiras duas cores são representadas os números 8 e 2, respectivamente. A terceira cor, representa um multiplicador de 0,1. Usando o multiplicador, obtemos uma resistência de

$$(0,1)(82 \Omega) = 8,2 \Omega$$



Figura 3.24 Exemplo 3.12.

A quarta faixa representa uma tolerância de ±10 por cento. Converter em um número decimal e realizar a multiplicação resulta em

$$10\% = 0,10 \text{ e } (0,1)(8,2 \Omega) = 0,82 \Omega$$

$$\text{Máximo} = 8,2 \Omega + 0,82 \Omega = 9,02 \Omega$$

$$\text{Mínimo} = 8,2 \Omega - 0,82 \Omega = 7,38 \Omega$$

de maneira que Intervalo = **7,38 Ω a 9,02 Ω**

Apesar de ser necessário algum tempo para aprender os números associados a cada cor, é certamente encorajador tornar-se ciente de que

o mesmo esquema de cores para representar números é usado para todos os elementos importantes de circuitos elétricos.

Posteriormente, você verá que o valor numérico associado a cada cor é o mesmo para capacitores e indutores. Portanto, uma vez aprendido, o esquema tem áreas repetidas de aplicação.

Alguns fabricantes preferem usar um **código de cores de cinco faixas**. Em tais casos, como mostrado na parte de cima da Figura 3.25, três dígitos são fornecidos antes do multiplicador. A quinta faixa segue o indicador de tolerância. Se o fabricante decidir incluir o coeficiente de temperatura, uma sexta faixa aparecerá como mostrado na parte de baixo da Figura 3.25, com a cor indicando o nível PPM.

Para quatro, cinco ou seis faixas, se a tolerância for menor do que 5 por cento, as cores a seguir serão usadas para refletir a porcentagem de tolerância.

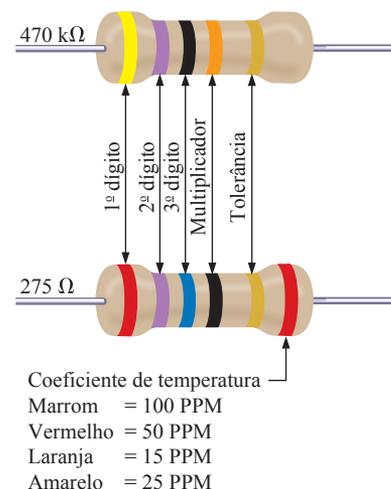


Figura 3.25 Código de cores de cinco faixas para resistores fixos.

marrom = $\pm 1\%$, *vermelho* = $\pm 2\%$, *verde* = $\pm 0,5\%$,
azul = $\pm 0,25\%$, e *violeta* = $\pm 0,1\%$.

Seria de esperar que os resistores fossem fabricados com valores como 10 Ω , 20 Ω , 30 Ω , 40 Ω , 50 Ω , e assim por diante. Entretanto, esse não é o caso de alguns valores comerciais típicos, como 27 Ω , 56 Ω e 68 Ω . Há uma razão para os valores escolhidos, que é mais bem demonstrada quando se faz uma análise da lista, na Tabela 3.5, de valores padronizados de resistores disponíveis comercialmente. Os valores em negrito são os mais comuns e estão tipicamente disponíveis com tolerâncias de 5, 10 e 20 por cento.

Uma análise do efeito do valor de tolerância nos ajudará a explicar a escolha dos valores comerciais. Considere a sequência 47 Ω –68 Ω –100 Ω , que estão disponíveis com a tolerância de 20 por cento. Na Figura 3.26(a), as faixas de tolerância para cada um foram determinadas e representadas graficamente. Observe que, com essa tolerância (que é tudo o que o fabricante garante), o intervalo de valores

para as resistências dos resistores vai de 37,6 Ω a 120 Ω . Em outras palavras, o fabricante está garantindo todo o intervalo ao usar as tolerâncias para preencher os espaços vazios. Baixando o valor para 10 por cento, aparecem os resistores de 56 Ω e 82 Ω para preencher os espaços, conforme mostra a Figura 3.26(b). Ao diminuir a tolerância para 5 por cento, são necessários mais valores dos resistores para preencher os espaços. Portanto, os valores das resistências foram escolhidos de modo que garantam que todo o intervalo seja coberto. É claro que, se desejarmos um valor específico que não seja um valor-padrão, podemos usar combinações de valores-padrão e chegar a uma resistência equivalente muito próxima da desejada. Se esse método ainda não for satisfatório, pode-se usar um potenciômetro, ajustando-o em um valor mais exato de resistência e, então, inserindo-o no circuito.

Ao longo deste livro serão encontrados muitos valores de resistores que não serão valores-padrão. Isso foi feito para reduzir a complexidade matemática, que poderia interferir no processo de aprendizagem. Entretanto, nas

Tabela 3.5 Valores-padrão dos resistores comercialmente disponíveis.

Ohms (Ω)					Kilohms (k Ω)		Megohms (M Ω)	
0,10	1,0	10	100	1000	10	100	1,0	10,0
0,11	1,1	11	110	1100	11	110	1,1	11,0
0,12	1,2	12	120	1200	12	120	1,2	12,0
0,13	1,3	13	130	1300	13	130	1,3	13,0
0,15	1,5	15	150	1500	15	150	1,5	15,0
0,16	1,6	16	160	1600	16	160	1,6	16,0
0,18	1,8	18	180	1800	18	180	1,8	18,0
0,20	2,0	20	200	2000	20	200	2,0	20,0
0,22	2,2	22	220	2200	22	220	2,2	22,0
0,24	2,4	24	240	2400	24	240	2,4	
0,27	2,7	27	270	2700	27	270	2,7	
0,30	3,0	30	300	3000	30	300	3,0	
0,33	3,3	33	330	3300	33	330	3,3	
0,36	3,6	36	360	3600	36	360	3,6	
0,39	3,9	39	390	3900	39	390	3,9	
0,43	4,3	43	430	4300	43	430	4,3	
0,47	4,7	47	470	4700	47	470	4,7	
0,51	5,1	51	510	5100	51	510	5,1	
0,56	5,6	56	560	5600	56	560	5,6	
0,62	6,2	62	620	6200	62	620	6,2	
0,68	6,8	68	680	6800	68	680	6,8	
0,75	7,5	75	750	7500	75	750	7,5	
0,82	8,2	82	820	8200	82	820	8,2	
0,91	9,1	91	910	9100	91	910	9,1	

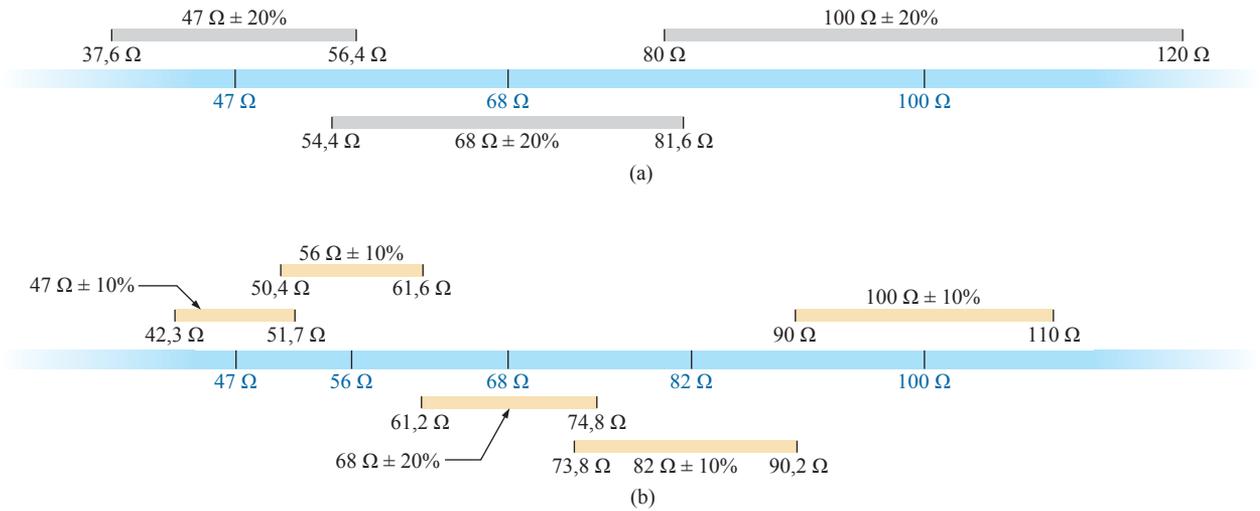


Figura 3.26 Garantia de todo o intervalo de valores de resistência para uma tolerância dada: (a) 20 por cento; (b) 10 por cento.

seções de problemas serão empregados frequentemente os valores padronizados para assegurar a familiarização com os valores comerciais disponíveis.

Resistores de montagem de superfície

Em geral, resistores de montagem de superfície são marcados de três maneiras: código de cores, três símbolos e dois símbolos.

O **código de cores** é o mesmo que foi há pouco descrito nesta seção para os resistores com furos.

A abordagem dos **três símbolos** usa três dígitos. Os dois primeiros definem os dois primeiros dígitos do valor; o último dígito define a potência do multiplicador de potência de dez.

Por exemplo:

$$820 \text{ é } 82 \times 10^0 \Omega = \mathbf{82 \Omega}$$

$$222 \text{ é } 22 \times 10^2 \Omega = 2.200 \Omega = \mathbf{2,2 \text{ k}\Omega}$$

$$010 \text{ é } 1 \times 10^0 \Omega = \mathbf{1 \Omega}$$

A marcação de **dois símbolos** usa uma letra seguida por um número. A letra define o valor como na lista a seguir. Observe que todos os números da lista comercialmente disponível da Tabela 3.5 foram incluídos.

A = 1,0	B = 1,1	C = 1,2	D = 1,3
E = 1,5	F = 1,6	G = 1,8	H = 2
J = 2,2	K = 2,4	L = 2,7	M = 3
N = 3,3	P = 3,6	Q = 3,9	R = 4,3
S = 4,7	T = 5,1	U = 5,6	V = 6,2
W = 6,8	X = 7,5	Y = 8,2	Z = 9,1

O segundo símbolo é a potência do multiplicador de potência de dez. Por exemplo,

$$C3 = 1,2 \times 10^3 \Omega = \mathbf{1,2 \text{ k}\Omega}$$

$$T0 = 5,1 \times 10^0 \Omega = \mathbf{5,1 \Omega}$$

$$Z1 = 9,1 \times 10^1 \Omega = \mathbf{91 \Omega}$$

Símbolos adicionais podem preceder ou aparecer depois dos códigos, e podem diferir dependendo do fabricante. Estes podem fornecer informações sobre a estrutura de resistência interna, especificação de potência, material de superfície, derivação e tolerância.

3.7 CONDUTÂNCIA

Quando calculamos o inverso da resistência de um material, obtemos uma medida da facilidade com que o material conduz eletricidade. Essa grandeza é denominada **condutância**, cujo símbolo é G e cuja medida é dada em *siemens* (S) (veja a Figura 3.27). Na forma de equação, a condutância é definida por:

$$G = \frac{1}{R} \quad (\text{siemens, S}) \quad (3.12)$$

Uma resistência de 1 MΩ é equivalente a uma condutância de 10^{-6} S, e uma resistência de 10 Ω é equivalente a uma condutância de 10^{-1} S. Portanto, quanto maior a condutância, menor a resistência e maior a condutividade.

Na forma de equação, a condutância é expressa por:

$$G = \frac{A}{\rho l} \quad (\text{S}) \quad (3.13)$$

o que mostra que ao aumentar a seção reta ou diminuir o comprimento ou a resistividade, aumentamos a condutância.