

## EXERCÍCIOS &amp; PROBLEMAS

## Seção 28-2 Corrente Elétrica

1E. Uma corrente de 5,0 A percorre um resistor de  $10 \Omega$  durante 4,0 min. Quantos (a) coulombs e (b) elétrons passam através da seção transversal do resistor nesse intervalo de tempo?

2E. A corrente num feixe de elétrons de um terminal de vídeo é de 200  $\mu$ A. Quantos elétrons golpeiam a tela a cada segundo?

3P. Uma esfera condutora isolada tem um raio de 10 cm. Um fio transporta para dentro dela uma corrente de 1,0000020 A. Um outro fio transporta para fora dela uma corrente de 1,0000000 A. Quanto tempo leva para que o potencial da esfera sofra um aumento de 1.000 V?

4P. A correia de um acelerador Van de Graaff tem 50 cm de largura e se move a 30 m/s. A correia transporta cargas para a esfera numa taxa correspondente a 100  $\mu$ A. Calcule a densidade superficial de carga na correia. (Veja a Seção 26-12.)

## Seção 28-3 Densidade de Corrente

5E. Um feixe contém  $2,0 \times 10^8$  íons positivos duplamente carregados por centímetro cúbico, todos movendo-se para o norte com velocidade escalar de  $1,0 \times 10^5$  m/s. (a) Quais são o módulo, a direção e o sentido da densidade de corrente  $\mathbf{J}$ ? (b) Podemos calcular a corrente total  $i$  nesse feixe de íons? Em caso negativo, que informações adicionais são necessárias?

6E. Uma corrente pequena, porém mensurável, de  $1,2 \times 10^{-10}$  A percorre um fio de cobre cujo diâmetro é de 2,5 mm. Calcule (a) a densidade de corrente e (b) a velocidade escalar de deriva dos elétrons. (Veja o Exemplo 28-3.)

7E. Um fusível num circuito elétrico é um fio projetado para fundir e, desse modo, abrir o circuito, se a corrente exceder um valor predeterminado. Suponha que o material que compõe o fusível derreta assim que a densidade de corrente atinge  $440 \text{ A/cm}^2$ . Qual deve ser o diâmetro do fio cilíndrico a ser usado para limitar a corrente a 0,50 A?

8E. O Código Elétrico Nacional (dos Estados Unidos), que estabeleceu valores das correntes de segurança máxima para fios de cobre, de diversos diâmetros, com isolamento de borracha, é dado (em parte) logo abaixo. Faça o gráfico da densidade de corrente de segurança em função do diâmetro. Qual é o número do fio cuja densidade de corrente é máxima?

Número indicador <sup>a</sup>	4	6	8	10	12	14	16	18
Diâmetro (mils) <sup>b</sup>	204	162	129	102	81	64	51	40
Corrente de segurança (A)	70	50	35	25	20	15	6	3

<sup>a</sup> Um meio de identificar o diâmetro do fio.

<sup>b</sup> 1 mil =  $10^{-3}$  in.

9E. Uma corrente é estabelecida num tubo de descarga a gás quando uma diferença de potencial suficientemente alta é aplicada entre os dois

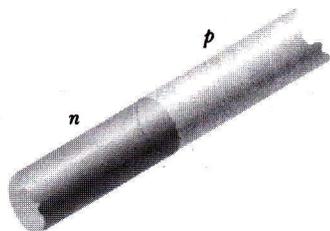


Fig. 28-18 Exercício 10.

eletrodos no tubo. O gás se ioniza; os elétrons se movem em direção ao terminal positivo e os íons monovalentes positivos em direção ao terminal negativo. Quais são o módulo e o sentido da corrente num tubo de descarga de hidrogênio em que  $3,1 \times 10^{18}$  elétrons e  $1,1 \times 10^{18}$  prótons passam através da seção transversal do tubo a cada segundo?

10E. Uma junção pn é formada a partir de dois materiais semicondutores diferentes na forma de cilindros idênticos com raios de 0,165 mm, como mostrado na Fig. 28-18. Numa aplicação,  $3,50 \times 10^{15}$  elétrons por segundo fluem através da junção do lado n para o lado p, enquanto que  $2,25 \times 10^{15}$  buracos por segundo fluem do lado p para o lado n. (Um buraco atua como uma partícula de carga  $+1,60 \times 10^{-19}$  C.) Quais são (a) a corrente total e (b) a densidade de corrente?

11P. Próximo à Terra, a densidade de prótons no vento solar é  $8,70 \text{ cm}^{-3}$  e a velocidade escalar deles é de 470 km/s. (a) Determine a densidade de corrente desses prótons. (b) Se os prótons não fossem desviados pelo campo magnético da Terra, colidiriam com ela. Nesse caso, que corrente total receberia a Terra?

12P. Num hipotético laboratório de pesquisa de fusão, o gás hélio é totalmente ionizado sob alta temperatura, cada átomo de hélio sendo separado em dois elétrons livres e no núcleo remanescente, carregado positivamente (partícula alfa). A aplicação de um campo elétrico faz com que as partículas alfa se movam para o leste a 25 m/s e os elétrons se movam para o oeste a 88 m/s. A densidade de partículas alfas é  $2,8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ . Calcular a densidade líquida de corrente e especificar o seu sentido.

13P. Quanto tempo levam os elétrons para passar da bateria de um carro para o motor de arranque? Suponha que a corrente seja de 300 A e que os elétrons se desloquem através de um fio de cobre cuja área da seção transversal é  $0,21 \text{ cm}^2$  e cujo comprimento é de 0,85 m. (Veja o Exemplo 28-3.)

14P. Um feixe estacionário de partículas alfa ( $q = 2e$ ), deslocando-se com energia cinética constante de 20 MeV, transporta uma corrente de  $0,25 \mu\text{A}$ . (a) Se o feixe for dirigido perpendicularmente contra uma superfície plana, quantas partículas alfas atingirão a superfície em 3,0 s? (b) Num instante qualquer, quantas partículas alfas existem em 20 cm de comprimento do feixe? (c) Qual foi a diferença de potencial necessária para acelerar cada partícula alfa, a partir do repouso, levando-a a uma energia de 20 MeV?

15P. (a) A densidade de corrente através de um condutor cilíndrico, de raio  $R$ , varia de acordo com a equação

$$J = J_0(1 - r/R),$$

em que  $r$  é a distância ao eixo central. Assim, a densidade de corrente tem um máximo  $J_0$  no eixo,  $r = 0$  e decresce linearmente até zero na superfície,  $r = R$ . Calcule a corrente em termos de  $J_0$  e da área  $A = \pi R^2$  da seção transversal do condutor. (b) Suponha que, pelo contrário, a densidade de corrente tenha um máximo  $J_0$  na superfície do cilindro e decresça linearmente até zero no eixo, de modo que

$$J = J_0 r/R.$$

Calcular a corrente. Por que o resultado é diferente do obtido em (a)?

## Seção 28-4 Resistência e Resistividade

16E. A área da seção transversal do trilho de aço de um bonde elétrico é de  $56,0 \text{ cm}^2$ . Qual é a resistência de 10 km de trilho? A resistividade do aço é  $3,00 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$ .

17E. Um fio condutor tem um diâmetro de 1,0 mm, um comprimento de 2,0 m e uma resistência de  $50 \text{ m}\Omega$ . Qual é a resistividade do material?

18E. Uma pessoa pode ser eletrocutada se uma corrente tão pequena quanto 50 mA passar perto de seu coração. Um eletricitista que trabalha com as mãos suadas faz um bom contato com os dois condutores que está segurando. Se sua resistência fosse de  $2.000 \Omega$ , qual seria a voltagem final?

19E. Uma bobina é formada por 250 voltas de um fio de cobre nº 16 (diâmetro = 1,3 mm) isolado numa única camada de forma cilíndrica cujo raio mede 12 cm. Qual é a resistência da bobina? Depreze a espessura do material isolante. (Use a Tabela 28-1.)

20E. Um fio de comprimento 4,00 m e diâmetro de 6,00 mm tem uma resistência de  $15,0 \text{ m}\Omega$ . Aplicando-se uma diferença de potencial de 23,0 V entre as suas extremidades, (a) qual é a corrente no fio? (b) qual é a densidade de corrente? (c) calcular a resistividade do material do fio. Identifique o material. (Use a Tabela 28-1.)

21E. Um fio de Nicromo (uma liga de níquel, cromo e ferro comumente usada em elementos de aquecimento) tem um comprimento de 1,0 m e área da seção transversal de  $1,0 \text{ mm}^2$ . Ele transporta uma corrente de 4,0 A quando uma diferença de potencial de 2,0 V é aplicada entre os seus extremos. Calcular a condutividade  $\sigma$  do Nicromo.

22E. (a) A que temperatura a resistência de um fio de cobre seria o dobro de sua resistência a  $20,0^\circ\text{C}$ ? (Use  $20,0^\circ\text{C}$  como ponto de referência na Eq. 28-16; compare sua resposta com a Fig. 28-10.) (b) Tal temperatura é válida para todos os condutores de cobre, sem considerar forma ou tamanho?

23E. A resistência do enrolamento de cobre de um motor é igual a  $50 \Omega$  a  $20^\circ\text{C}$  quando o motor está parado. Após várias horas de funcionamento, a resistência aumenta para  $58 \Omega$ . Qual é a temperatura do enrolamento? Depreze as alterações nas dimensões do enrolamento. (Use a Tabela 28-1.)

24E. Usando os dados da Fig. 28-11c, faça o gráfico da resistência da junção pn em função da diferença de potencial aplicada.

25E. Uma lagarta de 4,0 cm de comprimento rasteja no sentido de deriva dos elétrons sobre um fio de cobre desencapado de 5,2 mm de diâmetro que transporta uma corrente de 12 A. (a) Qual é a diferença de potencial entre as duas extremidades da lagarta? (b) Sua cauda é positiva ou negativa comparada à sua cabeça? (c) Sabendo-se que a lagarta rasteja com a velocidade escalar de deriva dos elétrons no fio, quanto tempo ela leva para rastejar 1,0 cm?

26E. Uma barra cilíndrica de cobre, de comprimento  $L$  e seção transversal de área  $A$ , é reformada para duas vezes seu comprimento inicial sem que haja alteração no volume. (a) Determine a nova área da seção transversal. (b) Se a resistência entre suas extremidades era  $R$  antes da alteração, qual é o seu valor depois da alteração?

27E. Um fio com uma resistência de  $6,0 \Omega$  é esticado de tal modo que seu novo comprimento é três vezes seu comprimento inicial. Supondo que a resistividade e a densidade do material não variem durante o processo de esticamento, determine a resistência do fio esticado.

28E. Um determinado fio tem uma resistência  $R$ . Qual é a resistência de um segundo fio, feito do mesmo material mas que tenha metade do comprimento e metade do diâmetro?

29P. Dois fios, um de cobre e outro de ferro têm a mesma resistência. O diâmetro do fio de cobre é de 1,2 mm. Qual deve ser o diâmetro do fio de ferro, se ambos os fios têm o mesmo comprimento?

30P. Dois condutores são feitos do mesmo material e têm o mesmo comprimento. O condutor A é um fio sólido de diâmetro 1,0 mm. O condutor B é um tubo oco de diâmetro externo de 2,0 mm e diâmetro interno de 1,0 mm. Qual a razão entre as resistências  $R_A/R_B$ , medida entre as suas extremidades?

31P. Um fio de cobre e um fio de ferro têm comprimentos iguais e estão sujeitos à mesma diferença de potencial. (a) Qual deve ser a razão

entre seus raios para que a corrente seja a mesma nos dois? (b) Pode a densidade de corrente ser a mesma nos dois fios, para raios convenientemente escolhidos?

32P. Uma barra de alumínio de 1,3 m de comprimento tem uma seção reta quadrada de 5,2 mm de lado. (a) Qual é a resistência entre as suas extremidades? (b) Qual deve ser o diâmetro de uma barra de cobre de mesmo comprimento e seção circular, para que sua resistência seja igual à da barra de alumínio?

33P. Uma barra metálica cilíndrica tem 1,60 m de comprimento e 5,50 mm de diâmetro. A resistência entre suas extremidades (a  $20^\circ\text{C}$ ) é  $1,09 \times 10^{-3} \Omega$ . (a) Qual é o material? (b) Um disco de diâmetro 2,00 cm e espessura 1,00 mm é feito do mesmo material. Qual é a resistência entre as faces do disco, supondo que cada face seja uma superfície equipotencial?

34P. Um cabo elétrico consiste de 125 cordões de um fio delgado, sendo de  $2,65 \mu\Omega$  a resistência de cada um. A mesma diferença de potencial é aplicada entre as extremidades de cada cordão, resultando numa corrente total de 0,750 A. (a) Qual é a corrente em cada cordão? (b) Qual é a diferença de potencial aplicada? (c) Qual é a resistência do cabo?

35P. Uma lâmpada comum de lanterna é regulada para 0,30 A e 2,9 V (os valores da corrente e voltagem sob condições operacionais). Se a resistência do filamento da lâmpada na temperatura ambiente ( $20^\circ\text{C}$ ) for de  $1,1 \Omega$ , qual será a temperatura do filamento quando a lâmpada estiver acesa? O filamento é feito de tungstênio.

36P. Quando aplicamos 115 V através de um fio, de comprimento 10 m e raio 0,30 mm, a densidade de corrente é igual a  $1,4 \times 10^4 \text{ A/m}^2$ . Determine a resistividade do fio.

37P. Um bloco na forma de um sólido retangular tem seção transversal de área  $3,50 \text{ cm}^2$ , um comprimento de 15,8 e uma resistência de  $935 \Omega$ . O bloco é feito de um material que tem  $5,33 \times 10^{22}$  elétrons de condução  $\text{m}^{-3}$ . Uma diferença de potencial de 35,8 V é mantida entre suas extremidades. (a) Qual é a corrente no bloco? (b) Sabendo-se que a densidade de corrente é uniforme, qual é o seu valor? (c) Qual é a velocidade de deriva dos elétrons de condução? (d) Qual é o campo elétrico no bloco?

38P. O cobre e o alumínio estão sendo considerados para uma linha de transmissão de alta voltagem que deve transportar uma corrente de 60,0 A. A resistência por unidade de comprimento deve ser de  $0,150 \Omega/\text{km}$ . Calcule para cada opção de material para o cabo (a) a densidade de corrente e (b) a massa por metro de cabo. As densidades do cobre e do alumínio são  $8.960$  e  $2.700 \text{ kg/m}^3$ , respectivamente.

39P. Na atmosfera inferior da Terra existem íons negativos e positivos, criados por elementos radioativos no solo e pelos raios cósmicos do espaço. Numa determinada região, a intensidade do campo elétrico at-

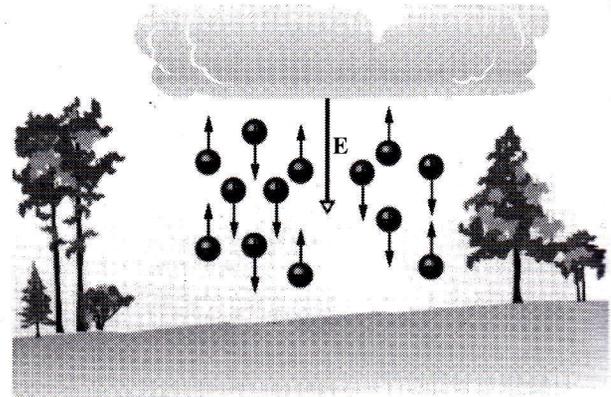


Fig. 28-19 Problema 39.

mosférico é de 120 V/m, dirigido verticalmente para baixo. Em virtude disso, 620 íons positivos/cm<sup>3</sup> deslocam-se para baixo e 550 íons negativos/cm<sup>3</sup> deslocam-se para cima. (Veja a Fig. 28-19.) A condutividade medida é de  $2,70 \times 10^{-14} \Omega \cdot \text{m}$ . Calcular (a) a velocidade escalar de deriva dos íons, supondo que seja a mesma para os íons positivos e negativos e (b) a densidade de corrente.

**40P.** Quando o número indicador de um fio é aumentado de 6, o diâmetro fica reduzido à metade; quando o número indicador é aumentado de 1, o diâmetro decresce pelo fator  $2^{1/6}$  (veja a tabela do Exercício 8.) Sabendo-se disso e também que 300 m de um fio de cobre n.º 10 tem uma resistência de aproximadamente 1,00  $\Omega$ , estimar a resistência de 7,5 m de um fio de cobre n.º 22.

**41P.** Quando uma barra metálica é aquecida, varia não só sua resistência, mas também seu comprimento e a área de sua seção transversal. A relação  $R = \rho L/A$  sugere que todos os três fatores devem ser levados em conta na medida de  $\rho$  em temperaturas diferentes. (a) Quais são, para um condutor de cobre, as variações percentuais em  $R$ ,  $L$  e  $A$  quando a temperatura varia de 1,0°C. (b) Que conclusões podemos tirar daí? O coeficiente de dilatação linear do cobre é  $1,7 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ .

**42P.** Um resistor tem a forma de um tronco circular reto (Fig. 28-20). Os raios da base são  $a$  e  $b$ , e a altura é  $L$ . Para uma inclinação suficientemente pequena, podemos supor que a densidade de corrente é uniforme através de qualquer seção transversal. (a) Calcular a resistência desse objeto. (b) Mostre que sua resposta se reduz a  $\rho(L/A)$  para o caso especial em que  $a = b$ .

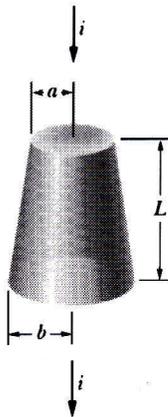


Fig. 28-20 Problema 42.

### Seção 28-6 Uma Visão Microscópica da Lei de Ohm

**43P.** Mostre que, de acordo com o modelo do elétron livre da condução elétrica nos metais e com a física clássica, a resistividade dos metais deveria ser proporcional a  $\sqrt{T}$ , onde  $T$  é a temperatura em Kelvins. (Veja a Eq. 21-23.)

### Seção 28-7 Energia e Potência em Circuitos Elétricos

**44E.** Um estudante deixou seu rádio portátil de 9,0 V e 7,0 W ligado das 9 h às 14 h. Que quantidade de carga passou através dele?

**45E.** Um determinado tubo de raios X opera na corrente de 7,0 mA e na diferença de potencial de 80 kV. Que potência em watts é dissipada?

**46E.** A taxa de dissipação de energia térmica num resistor é igual a 100 W quando a corrente é de 3,00 A. Qual é a resistência?

**47E.** Os faróis de um carro em movimento puxam cerca de 10 A do alternador de 12 V, que é acionado pelo motor. Suponha que o alternador

tenha eficiência de 80% (a potência elétrica de saída corresponde a 80% da potência mecânica de entrada) e calcule o suprimento de potência, em watts, necessário para que as luzes acendam.

**48E.** Uma diferença de potencial de 120 V é aplicada a um aquecedor cuja resistência é de 14  $\Omega$ , quando quente. (a) A que taxa a energia elétrica é transformada em calor? (b) A 5,0 cents/kW·h, quanto custa para operar esse dispositivo durante 5,0 h?

**49E.** Um determinado resistor é ligado entre os terminais de uma bateria de 3,00 V. A potência dissipada no resistor é 0,540 W. O mesmo resistor é, então, ligado entre os terminais de uma bateria de 1,50 V. Que potência é dissipada neste caso?

**50E.** Uma diferença de potencial de 120 V é aplicada a um aquecedor que dissipa 500 W enquanto está operando. (a) Qual é a sua resistência durante a operação? (b) A que taxa os elétrons fluem através de uma seção transversal qualquer do elemento de aquecimento?

**51E.** O Conselho Nacional de Seguro Contra Incêndio fixou os limites de segurança para os valores da corrente em conformidade com os tamanhos e tipos de fios. Para o fio de cobre n.º 10, com isolamento de borracha (diâmetro = 0,25 cm), a corrente admissível é de 25 A. Para essa corrente, determine (a) a densidade de corrente, (b) o campo elétrico, (c) a diferença de potencial através de 305 m de fio e (d) a taxa em que a energia térmica é dissipada nos 305 m de fio.

**52E.** Uma diferença de potencial de 1,20 V é aplicada a um fio de cobre n.º 18 (diâmetro = 0,10 cm) com 33,0 m de comprimento. Calcular (a) a corrente, (b) a densidade de corrente, (c) o campo elétrico e (d) a taxa em que a energia térmica é dissipada no fio.

**53P.** Uma diferença de potencial  $V$  está aplicada a um fio de seção transversal  $A$ , comprimento  $L$  e resistividade  $\rho$ . Deseja-se mudar a diferença de potencial aplicada e alongar o fio de modo a aumentar a potência dissipada por um fator exatamente igual a 30 e a corrente por um fator exatamente igual a 4. Quais devem ser os novos valores de  $L$  e de  $A$ ?

**54P.** Um resistor cilíndrico de raio 5,0 mm e comprimento 2,0 cm é feito de um material cuja resistividade é de  $3,5 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{m}$ . Quais são (a) a densidade de corrente e (b) a diferença de potencial quando a potência dissipada no resistor é 1,0 W?

**55P.** Um elemento calefator é feito mantendo-se um fio de Nicromo, com seção transversal de  $2,60 \times 10^{-6} \text{ m}^2$  e resistividade de  $5,00 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$ , sob uma diferença de potencial de 75,0 V. (a) Sabendo-se que o elemento dissipa 5.000 W, qual é o seu comprimento? (b) Para obtermos a mesma potência usando uma diferença de potencial de 100 V, qual deveria ser o comprimento do fio?

**56P.** Um aquecedor de 1.250 W é construído para operar sob uma tensão de 115 V. (a) Qual será a corrente no aquecedor? (b) Qual é a resistência da bobina de aquecimento? (c) Que quantidade de energia térmica é gerada pelo aquecedor em 1,0 h?

**57P.** Uma lâmpada de 100 W é ligada a uma tomada padrão de 120 V. (a) Quanto custa para deixar a lâmpada acesa durante um mês? Suponha que a energia elétrica custe 6 cents/kW·h. (b) Qual é a resistência da lâmpada? (c) Qual é a corrente na lâmpada? (d) A resistência é diferente quando a lâmpada está desligada?

**58P.** Um aquecedor de Nicromo dissipa 500 W quando a diferença de potencial aplicada é de 110 V e a temperatura do fio é 800°C. Qual será o valor da potência dissipada se a temperatura do fio for mantida em 200°C pela imersão num banho de óleo? A diferença de potencial permanece a mesma e o valor de  $\alpha$  para o Nicromo a 800°C é  $4,0 \times 10^{-2}/^\circ\text{C}$ .

**59P.** Um feixe de dêuterons de 16 MeV provenientes de um ciclotron cai sobre um bloco de cobre. O feixe é equivalente a uma corrente de 15

$\mu\text{A}$ . (a) A que taxa os dêuterons colidem com o bloco? (b) A que taxa a energia térmica é produzida no bloco?

**60P.** Um acelerador linear produz um feixe pulsado de elétrons. A corrente do pulso é  $0,50\text{ A}$  e a sua duração é  $0,10\ \mu\text{s}$ . (a) Quantos elétrons são acelerados por pulso? (b) Qual é a corrente média de uma máquina operando a  $500\text{ pulsos/s}$ ? (c) Se os elétrons forem acelerados até uma energia de  $50\text{ MeV}$ , quais serão as potências média e de pico desse acelerador?

**61P.** Uma bobina de fio Nicromo transportando corrente está imersa num líquido contido num calorímetro. Quando a diferença de potencial através da bobina é de  $12\text{ V}$  e a corrente que a percorre é de  $5,2\text{ A}$ , o líquido ferve a uma taxa constante, evaporando-se na taxa de  $21\text{ mg/s}$ . Calcular o calor de vaporização do líquido, em  $\text{cal/g}$ .

**62P.** Na Fig. 28-21, uma bobina de resistência, ligada por um fio a uma bateria externa, está colocada dentro de um cilindro isolado termicamente, ajustado com um pistão sem atrito e contendo um gás ideal. Uma corrente  $i = 240\text{ mA}$  flui através da bobina, que tem uma resistência  $R = 550\ \Omega$ . Com que velocidade escalar  $v$  o pistão, de massa  $m = 12\text{ kg}$ , deverá mover-se para cima a fim de que a temperatura do gás permaneça inalterada?

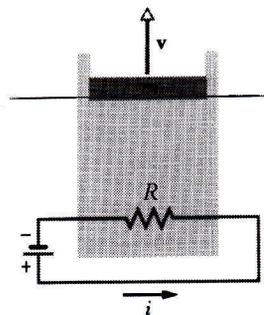


Fig. 28-21 Problema 62.

**63P.** Uma unidade de calefação de  $500\text{ W}$  é projetada para operar numa linha de  $115\text{ V}$ . (a) Em que percentagem diminuirá sua produção de calor, se a tensão cair para  $110\text{ V}$ ? Suponha que não haja variação na resistência. (b) Levando-se em conta a variação da resistência com a temperatura, o calor dissipado seria maior ou menor do que o calculado em (a)?