

Resistores

Os resistores são elementos de circuito cuja principal propriedade é a resistência elétrica.

6.1 Considerações iniciais

Os resistores são elementos de circuito que convertem toda energia elétrica consumida em energia térmica. A conversão de energia elétrica em energia térmica recebe o nome de efeito térmico ou efeito Joule.

6.2 Resistência elétrica. Lei de Ohm

Em um resistor ôhmico, mantido a temperatura constante, a ddp aplicada é diretamente proporcional à intensidade da corrente elétrica que o atravessa.

6.3 Lei de Joule

A energia elétrica dissipada em um resistor num dado intervalo de tempo é diretamente proporcional ao quadrado da intensidade de corrente que o percorre.

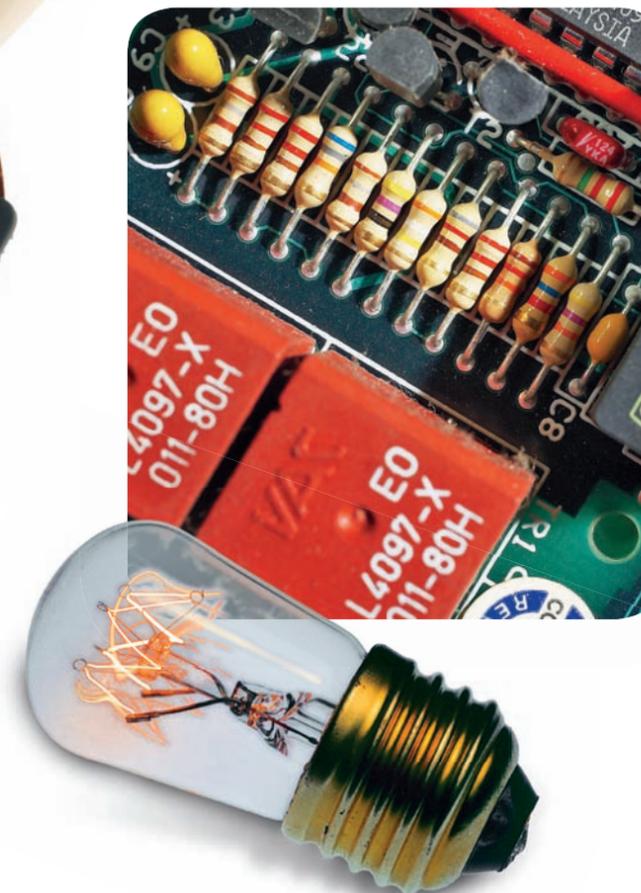
6.4 Resistividade

A resistência elétrica de um resistor depende da temperatura em que ele se encontra, do material que o constitui, do seu comprimento e da área de sua seção transversal. A grandeza que caracteriza o material é a resistividade. Seu valor depende da temperatura.

Diversos aparelhos domésticos são dotados de resistores, como secadores de cabelo, fogões elétricos, aquecedores e lâmpadas incandescentes. Em todos eles a função do resistor é a de transformar energia elétrica em energia térmica, isto é, dissipar energia elétrica.



Os resistores podem desempenhar outras funções, como a de limitar a intensidade da corrente elétrica em circuitos eletrônicos. Nesse caso, sua função não é a de dissipar energia elétrica, embora isso aconteça inevitavelmente.



Objetivos

- ▶ Conhecer o efeito Joule.
- ▶ Caracterizar os resistores.
- ▶ Identificar as funções dos resistores em um circuito elétrico.
- ▶ Perceber a presença de resistores em aparelhos elétricos.

Termos e conceitos

- dissipar energia elétrica
- resistência elétrica

Considerações iniciais

1 Efeito térmico ou efeito Joule

Quando a corrente elétrica atravessa um condutor, ocorre a transformação de energia elétrica em energia térmica, devido à colisão dos elétrons livres com os átomos do condutor. Esse fenômeno é denominado **efeito térmico** ou **efeito Joule**.

Em virtude das colisões, os átomos do condutor passam a vibrar mais intensamente e, em consequência, ocorre elevação da temperatura do condutor.

2 Resistores

Existem elementos de circuitos cuja função, entre outras, é a de transformar energia elétrica em energia térmica (dissipar energia elétrica) ou limitar a intensidade da corrente elétrica em circuitos eletrônicos. Tais elementos recebem o nome de **resistores**.

São exemplos de resistores que se destinam a dissipar energia elétrica: os filamentos de tungstênio das lâmpadas elétricas incandescentes; fios de certas ligas metálicas (como **nicromo**: liga de níquel e de cromo), enrolados em hélice cilíndrica, utilizados em chuveiros, torneiras elétricas, secadores de cabelos etc.

Os resistores utilizados para limitar a intensidade de corrente que passa por determinados componentes eletrônicos não têm a finalidade de dissipar energia elétrica, embora isso aconteça inevitavelmente. Comumente, são constituídos de um filme de grafite depositado de modo contínuo sobre um suporte cerâmico ou enrolado em forma de faixas helicoidais.

Os resistores têm como principal propriedade elétrica uma grandeza física denominada **resistência elétrica**.

A definição de resistência elétrica será apresentada na Seção 6.2. Muitos resistores que se destinam a dissipar energia são, algumas vezes, chamados impropriamente de “resistências”. Você certamente já ouviu frases do tipo “é preciso trocar a resistência do chuveiro” ou “a resistência do secador de cabelos queimou”. Na verdade, a resistência elétrica é uma propriedade física do resistor.



◀ Na torradeira, no secador e no ferro elétrico, a energia elétrica se converte em energia térmica (efeito Joule) quando a corrente elétrica passa pelo resistor do aparelho.

Tipos de resistores

Em circuitos elétricos, o **resistor de fio** e o **resistor de carvão** são amplamente utilizados. O primeiro nada mais é que um pedaço de fio, composto por ligas metálicas. Não sendo possível obter áreas de seções transversais demasiadamente pequenas, para se obterem valores razoáveis de resistência, são necessários fios de comprimento muito grande; costuma-se, assim, enrolar o fio sobre um suporte isolante.

O resistor de carvão consta de um suporte isolante coberto de fina camada de carvão com dois terminais metálicos. É muito usado em circuitos de rádio e televisão. Devido à alta resistividade da grafite, podem-se obter resistores de alta resistência e de pequenas dimensões.



▶ Resistor fotossensível: sua resistência elétrica varia conforme a incidência da luz.



▶ Resistor de carvão em duas situações: aberto, para mostrar o suporte coberto pela lâmina de carvão, e fechado, com seu revestimento externo apresentando faixas coloridas.



Conteúdo digital Moderna PLUS <http://www.modernaplus.com.br>
A Física em nosso Mundo: O código de cores

Seção 6.2

Resistência elétrica. Lei de Ohm

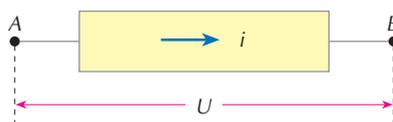
Objetivos

- ▶ Conhecer a lei de Ohm.
- ▶ Conceituar resistor ôhmico.
- ▶ Saber o significado físico da resistência elétrica.
- ▶ Conhecer a unidade de resistência elétrica no SI.
- ▶ Analisar a curva característica de um resistor ôhmico.

Termos e conceitos

- condutores não lineares
- resistência aparente

Considere o resistor da **figura 1**, mantido a uma temperatura constante, percorrido por corrente elétrica de intensidade i , que tem entre seus terminais uma ddp U .



◀ **Figura 1.** Resistor mantido em temperatura constante.

Mudando-se a ddp sucessivamente para U_1, U_2, \dots , o resistor passa a ser percorrido por correntes de intensidades i_1, i_2, \dots

Ohm* verificou, experimentalmente, que, **mantida a temperatura constante, o quociente da ddp aplicada pela respectiva intensidade de corrente elétrica resultava em uma constante característica do resistor:**

$$\frac{U}{i} = \frac{U_1}{i_1} = \frac{U_2}{i_2} = \dots = \text{constante} = R$$

A grandeza R assim introduzida foi denominada **resistência elétrica do resistor**. A resistência elétrica não depende da ddp aplicada ao resistor nem da intensidade de corrente elétrica que o percorre, mas do condutor e de sua temperatura.

* **OHM**, Georg Simon (1787-1854), físico alemão, lecionou na Escola Politécnica de Nuremberg e depois na Universidade de Munique. É conhecido principalmente por seus trabalhos sobre corrente elétrica, expostos em sua *Teoria Matemática dos Circuitos Elétricos* (1827), em que apresentou a noção de resistência elétrica e a lei que leva seu nome.



De modo geral, tem-se:

$$\frac{U}{i} = R \quad \text{ou} \quad U = R \cdot i$$

Essas fórmulas traduzem a **lei de Ohm**, que relaciona a causa do movimento das cargas elétricas (a ddp U) com o efeito (passagem da corrente elétrica i), podendo ser enunciada da seguinte maneira:

O quociente da ddp nos terminais de um resistor pela intensidade de corrente elétrica que o atravessa é constante e igual à resistência elétrica do resistor.

Um resistor que obedece à lei de Ohm é denominado **resistor ôhmico**.

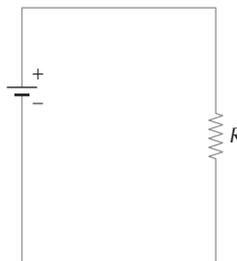
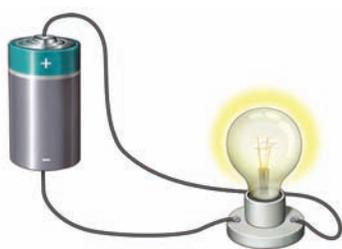
Em esquemas de circuito, um resistor é representado pelo símbolo ilustrado na **figura 2**, colocando-se, acima ou abaixo, o valor de sua resistência elétrica.



◀ **Figura 2.** Representação de um resistor em circuitos elétricos.

De $i = \frac{U}{R}$, observamos que, em resistores diferentes sob mesma ddp, é atravessado por corrente elétrica de menor intensidade aquele que tiver maior valor de R . Desse modo, a resistência elétrica aparece como uma dificuldade à passagem da corrente elétrica, o que justifica sua denominação.

Quando a resistência elétrica é muito pequena, como nos fios de cobre de ligação dos elementos do circuito da **figura 3**, estes são representados por uma linha contínua. Nessas condições, os fios são denominados simplesmente **condutores**, e sua finalidade é ligar os elementos do circuito. Nesses fios, o efeito Joule pode ser desprezado. Na lâmpada ocorre o efeito Joule e, portanto, ela apresenta uma resistência elétrica R . No esquema do circuito, o gerador é representado por dois traços paralelos. O traço mais longo representa o polo positivo, e o mais curto, o negativo.



◀ **Figura 3.** Circuito elétrico formado por uma pilha (gerador), uma lâmpada e por fios de ligação de resistência elétrica desprezível. À direita, a representação esquemática do circuito.

Unidade de resistência elétrica

No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de resistência elétrica denomina-se **ohm** (símbolo Ω), sendo que $1 \Omega = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}}$.

É de emprego frequente um múltiplo do ohm: o **quiloohm (k Ω)**, que vale: $1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega$



Conteúdo digital Moderna PLUS <http://www.modernaplus.com.br>
História da Física: *Da construção da primeira pilha à invenção da lâmpada elétrica*

Entre na rede Nos endereços eletrônicos http://www.walter-fendt.de/ph14br/ohmslaw_br.htm e <http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/ohmslaw/> (acesso em julho/2009), você pode verificar a lei de Ohm.



EXERCÍCIO RESOLVIDO

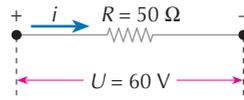
R. 44 Um resistor tem resistência igual a 50Ω , sob a ddp $U = 60 \text{ V}$. Calcule a intensidade de corrente elétrica que o atravessa.

Solução:

Pela lei de Ohm, $U = R \cdot i$. Sendo $U = 60 \text{ V}$ e $R = 50 \Omega$, temos:

$$i = \frac{U}{R} \Rightarrow i = \frac{60}{50} \Rightarrow i = 1,2 \text{ A}$$

Resposta: 1,2 A



EXERCÍCIO PROPOSTO

P. 109 Um resistor ôhmico, quando submetido a uma ddp de 20 V, é atravessado por uma corrente elétrica de intensidade 4,0 A. Qual a ddp nos terminais do resistor quando este é percorrido por uma corrente elétrica de 1,2 A?

Curvas características de resistores ôhmicos e não ôhmicos

A lei de Ohm é considerada como a equação de um resistor ôhmico de resistência elétrica R :

$$U = R \cdot i$$

Tem-se uma função linear entre a ddp (U) e a corrente elétrica (i) e, por isso, um resistor ôhmico é também chamado **condutor linear**.

Na **figura 4**, o gráfico de U em função de i é uma reta que passa pela origem, constituindo, assim, a curva característica de um resistor ôhmico. O coeficiente angular da reta ($\text{tg } \theta$) é numericamente igual à **resistência elétrica** do resistor, ou seja:

$$\text{tg } \theta = \frac{U}{i} = R$$

Para resistores que não obedecem à lei de Ohm, a curva característica passa pela origem, mas não é uma reta (**fig. 5**). Esses resistores não ôhmicos são denominados **condutores não lineares**. Para eles, define-se **resistência aparente** em cada ponto da curva pelo quociente:

$$R_{\text{ap.}} = \frac{U_1}{i_1} \quad \text{e} \quad R'_{\text{ap.}} = \frac{U_2}{i_2}$$

Nos condutores não lineares, a curva característica é sempre determinada experimentalmente. A resistência aparente em cada ponto será numericamente igual ao coeficiente angular da secante que passa pela origem e pelo ponto considerado ($\text{tg } \beta = R_{\text{ap.}}$ e $\text{tg } \beta' = R'_{\text{ap.}}$).

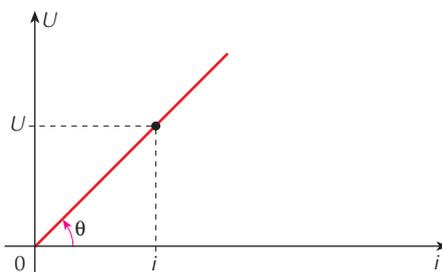


Figura 4. Curva característica de um resistor ôhmico.

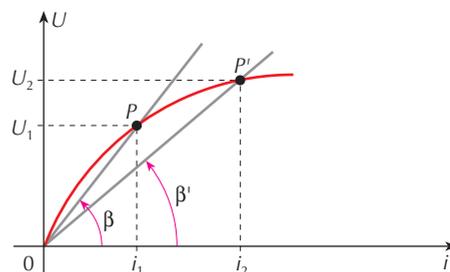
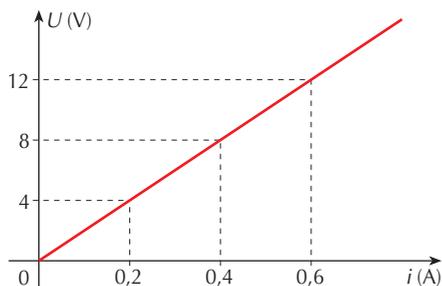


Figura 5. Curva característica de um resistor não ôhmico.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

- R. 45** Aplica-se uma ddp nos terminais de um resistor e mede-se a intensidade de corrente elétrica que o atravessa. Repete-se a operação para ddp's diferentes e constrói-se o gráfico abaixo, obtendo a curva característica do resistor. Determine o valor da resistência elétrica desse resistor.



Solução:

Para um resistor ôhmico, qualquer par de valores (i, U) determina a resistência elétrica do aparelho. Assim, quando $U = 8 \text{ V}$, do gráfico obtém-se $i = 0,4 \text{ A}$, logo:

$$R = \frac{U}{i} \Rightarrow R = \frac{8}{0,4} \Rightarrow \boxed{R = 20 \Omega}$$

Resposta: 20Ω

- R. 46** Variando-se a ddp aplicada a um condutor e medindo-se as intensidades de corrente elétrica, obtêm-se os resultados mostrados na tabela abaixo.

$U \text{ (V)}$	0	16	42	75	110	150
$i \text{ (A)}$	0	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25

- a) Verifique se o condutor é linear.
 b) Esboce o gráfico de sua resistência elétrica em função da intensidade de corrente elétrica i . Considere que a resistência elétrica do condutor é de 40Ω , quando $i = 0$.

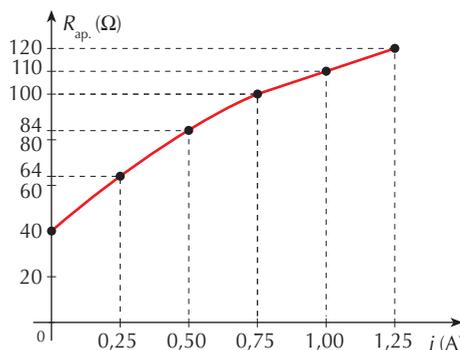
Solução:

- a) Verifiquemos o quociente $\frac{U}{i}$, observando que, quando $U = 0$, temos $i = 0$; quando não há ddp (causa), conseqüentemente não há corrente (efeito).

$U \text{ (V)}$	16	42	75	110	150
$i \text{ (A)}$	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25
$\frac{U}{i} \text{ (}\Omega\text{)}$	64	84	100	110	120

Como o quociente $\frac{U}{i}$ não é constante, o condutor é não linear. Os valores obtidos para $\frac{U}{i}$ correspondem à resistência aparente ($R_{ap.}$) para cada valor de corrente elétrica.

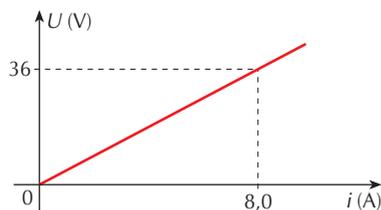
- b) No gráfico abaixo, representamos a resistência aparente ($R_{ap.}$) do condutor em função da intensidade de corrente elétrica que o percorre. Observamos que, se o condutor fosse linear, a resistência aparente seria constante e o gráfico, em função da intensidade de corrente elétrica, seria uma reta paralela ao eixo das abscissas.



Resposta: O condutor é não linear e sua resistência aparente varia em função da intensidade de corrente elétrica segundo o gráfico acima.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

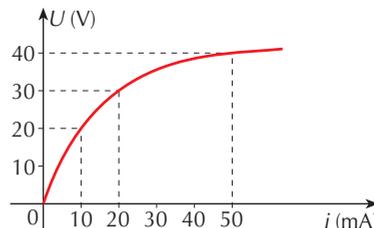
- P. 110** O gráfico representa a curva característica de um resistor ôhmico.



Determine:

- a) a resistência elétrica do resistor;
 b) a ddp nos terminais do resistor quando percorrido por corrente elétrica de intensidade $1,6 \text{ A}$.

- P. 111** Um condutor X tem como curva característica a que é mostrada abaixo.



- a) Calcule sua resistência aparente quando é percorrido pela corrente de 10 mA .
 b) Esboce o gráfico da resistência aparente de X em função da intensidade de corrente elétrica i .



Objetivos

- ▶ Compreender a lei de Joule.
- ▶ Conhecer as diversas formas de calcular a potência elétrica dissipada por um resistor.

Um resistor transforma toda a energia elétrica recebida de um circuito em **energia** térmica; daí ser usual dizer que **um resistor dissipa a energia elétrica que recebe do circuito**. Assim, a potência elétrica consumida por um resistor é dissipada. Como sabemos, essa potência é dada por $Pot = U \cdot i$.

Pela lei de Ohm ($U = R \cdot i$) tem-se $Pot = (R \cdot i) \cdot i$. Logo:

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

A energia elétrica transformada em energia térmica ao fim de um intervalo de tempo Δt é dada por:

$$E_{el.} = Pot \cdot \Delta t \Rightarrow E_{el.} = R \cdot i^2 \cdot \Delta t$$

Essa última fórmula traduz a lei de Joule, que pode ser enunciada da seguinte maneira:

A energia elétrica dissipada num resistor, num dado intervalo de tempo Δt , é diretamente proporcional ao quadrado da intensidade de corrente elétrica que o percorre.

Sendo $i = \frac{U}{R}$, a potência elétrica dissipada pode, também, ser dada

por: $Pot = \frac{U^2}{R}$

Quando a ddp é constante, a potência elétrica dissipada num resistor é inversamente proporcional à sua resistência elétrica.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

R. 47 Um resistor de resistência elétrica $R = 20 \Omega$ é percorrido por uma corrente elétrica de intensidade 3,0 A. Determine:

- a) a potência elétrica consumida pelo resistor;
- b) a energia elétrica consumida no intervalo de tempo de 20 s.

Solução:

a) Sendo dados $R = 20 \Omega$ e $i = 3,0 \text{ A}$, temos:

$$Pot = R \cdot i^2 \Rightarrow Pot = 20 \cdot (3,0)^2 \Rightarrow Pot = 1,8 \cdot 10^2 \text{ W}$$

b) A energia elétrica consumida pelo resistor, no intervalo de tempo $\Delta t = 20 \text{ s}$, é dada por:

$$E_{el.} = Pot \cdot \Delta t \Rightarrow E_{el.} = 1,8 \cdot 10^2 \cdot 20 \Rightarrow E_{el.} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Resposta: a) $1,8 \cdot 10^2 \text{ W}$; b) $3,6 \cdot 10^3 \text{ J}$

R. 48 Em 0,5 kg de água contida em um recipiente mergulha-se, durante 7 min, um resistor de resistência elétrica 2Ω . Se o resistor é percorrido por uma corrente elétrica de intensidade 5 A, calcule a elevação da temperatura da água, supondo que não haja mudança de estado. Dados: calor específico da água $1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ e $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$.

Solução:

A energia elétrica consumida pelo resistor é transformada em calor, determinando uma elevação da temperatura da água. Desse modo, temos:

$$E_{\text{el.}} = Q$$

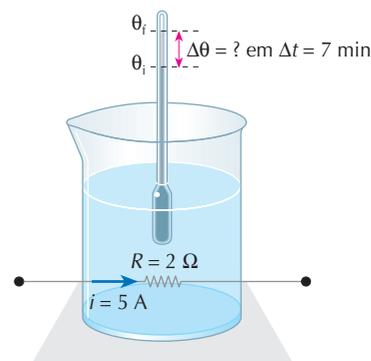
Como $E_{\text{el.}} = \text{Pot} \cdot \Delta t$ e $Q = mc \cdot \Delta\theta$, temos:

$$\text{Pot} \cdot \Delta t = mc \cdot \Delta\theta \Rightarrow R \cdot i^2 \cdot \Delta t = mc \cdot \Delta\theta$$

Sendo $R = 2 \Omega$, $i = 5 \text{ A}$, $\Delta t = 7 \text{ min} = 420 \text{ s}$, $m = 0,5 \text{ kg} = 500 \text{ g}$ e $c = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C} = 4,2 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$, pois $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$, resulta:

$$2 \cdot 5^2 \cdot 420 = 500 \cdot 4,2 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \Delta\theta = 10^\circ\text{C}$$

Resposta: 10°C



R. 49 Uma torneira elétrica fornece $2 \ell/\text{min}$ de água à temperatura de 40°C , sendo que a temperatura da água na entrada é de 20°C . A resistência elétrica da torneira vale 28Ω . Calcule a intensidade de corrente elétrica que atravessa o resistor da torneira. (Dados: densidade da água $d = 1 \text{ kg}/\ell$, calor específico da água $c = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ e $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$.)

Solução:

De $E_{\text{el.}} = Q$, temos: $\text{Pot} \cdot \Delta t = mc \cdot \Delta\theta \Rightarrow R \cdot i^2 \cdot \Delta t = mc \cdot \Delta\theta$ ①

A massa de água fornecida em $\Delta t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$ é dada por:

$m = dV$, em que $d = 1 \text{ kg}/\ell$ e $V = 2 \ell$

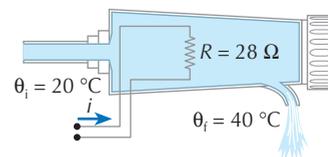
Assim:

$$m = 1 \text{ kg}/\ell \cdot 2 \ell \Rightarrow m = 2 \text{ kg} \Rightarrow m = 2 \cdot 10^3 \text{ g}$$

Sendo $R = 28 \Omega$, $c = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C} = 4,2 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$, $\Delta\theta = 40^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C}$, a substituição em ① resulta em:

$$28 \cdot i^2 \cdot 60 = 2 \cdot 10^3 \cdot 4,2 \cdot 20 \Rightarrow i^2 = 100 \Rightarrow i = 10 \text{ A}$$

Resposta: 10 A



R. 50 Em um chuveiro elétrico lê-se a inscrição $2.200 \text{ W} - 220 \text{ V}$.

- Qual a resistência elétrica do chuveiro quando em funcionamento?
- Quando ligado corretamente, qual a intensidade de corrente elétrica que o atravessa?
- Estando o chuveiro ligado corretamente, o que se deve fazer na sua resistência elétrica para aumentar a potência elétrica dissipada?

Solução:

a) $2.200 \text{ W} - 220 \text{ V}$ significa potência $\text{Pot} = 2.200 \text{ W}$ quando a ddp é $U = 220 \text{ V}$.

Como $\text{Pot} = \frac{U^2}{R}$, vem $R = \frac{U^2}{\text{Pot}}$. Assim: $R = \frac{(220)^2}{2.200} \Rightarrow R = 22 \Omega$

b) Ligado corretamente, temos $U = 220 \text{ V}$ e, pela lei de Ohm:

$$i = \frac{U}{R} \Rightarrow i = \frac{220}{22} \Rightarrow i = 10 \text{ A}$$

c) Como a ddp $U = 220 \text{ V}$ permanece constante, e sendo $\text{Pot} = \frac{U^2}{R}$, conclui-se que, para aumentar a potência elétrica dissipada Pot , deve-se **diminuir a resistência elétrica R do chuveiro**. Por isso, quando se passa a chave de um chuveiro elétrico da posição “verão” para a posição “inverno”, sua resistência elétrica diminui.

Resposta: a) 22Ω ; b) 10 A ; c) Diminuir a resistência elétrica do chuveiro.

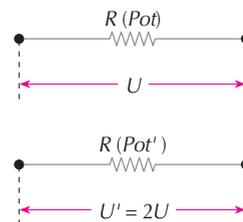
R. 51 Dobra-se a ddp aplicada a um resistor. O que acontece com a potência por ele dissipada?

Solução:

A resistência elétrica R do resistor independe da ddp U . Como $\text{Pot} = \frac{U^2}{R}$, temos:

$$\text{Pot}' = \frac{(U')^2}{R} = \frac{(2U)^2}{R} = 4 \cdot \frac{U^2}{R} \Rightarrow \text{Pot}' = 4 \cdot \text{Pot}$$

Resposta: A potência dissipada torna-se quatro vezes maior.



R. 52 Um resistor dissipa 60 W de potência quando ligado sob ddp de 220 V. Supondo invariável a resistência elétrica do resistor, determine a potência elétrica que ele dissipa quando ligado sob ddp de 110 V.

Solução:

Sendo $Pot_1 = 60 \text{ W}$, quando $U_1 = 220 \text{ V}$, queremos determinar a potência Pot_2 , quando $U_2 = 110 \text{ V}$. Sendo a resistência elétrica R invariável, temos:

$$Pot_1 = \frac{(U_1)^2}{R} \quad \textcircled{1} \quad \text{e} \quad Pot_2 = \frac{(U_2)^2}{R} \quad \textcircled{2}$$

Dividindo $\textcircled{2}$ por $\textcircled{1}$, temos:

$$\frac{Pot_2}{Pot_1} = \frac{(U_2)^2}{(U_1)^2} \Rightarrow \frac{Pot_2}{60} = \frac{110^2}{220^2} \Rightarrow \frac{Pot_2}{60} = \left(\frac{110}{220}\right)^2 \Rightarrow \frac{Pot_2}{60} = \frac{1}{4} \Rightarrow \boxed{Pot_2 = 15 \text{ W}}$$

Resposta: A potência elétrica fica quatro vezes menor, isto é, passa de 60 W para 15 W.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 112 Em um recipiente estão colocados 10 kg de água e um resistor de $4,2 \Omega$. O resistor é ligado a um gerador durante 200 s. Um termômetro colocado dentro da água registra um aumento de temperatura de 8°C . Sendo o calor específico da água $1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ \text{C}$ e $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$, calcule a intensidade de corrente elétrica que atravessa o resistor.

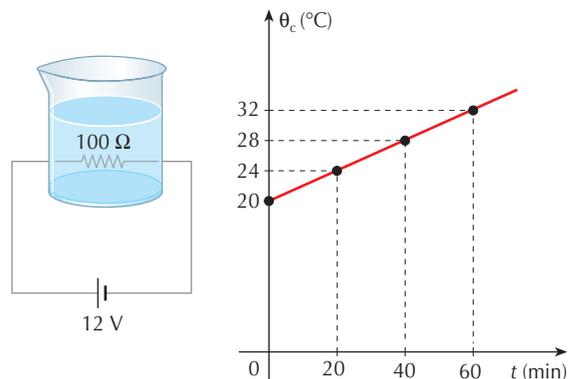
P. 113 Um aquecedor utiliza uma resistência elétrica de 20Ω . Esse aquecedor é imerso em 1 litro de água a 10°C e ligado a uma tomada, de modo que é percorrido por uma corrente elétrica de intensidade 10 A. Calcule em quanto tempo a temperatura da água atinge 60°C .
(Dados: calor específico da água $c = 1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ \text{C}$, $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$ e $d_{\text{água}} = 1,0 \text{ kg}/\ell$.)

P. 114 (UFPR) Um ebulidor de água é fabricado para funcionar com uma tensão de 220 V. Sabendo que o resistor nele existente tem uma resistência de 20Ω , calcule:

- a) a potência máxima que o ebulidor pode fornecer em funcionamento;
- b) o tempo, em minutos, necessário para aquecer 10 kg de água, inicialmente à temperatura de 25°C , até a temperatura de 90°C . Considere o calor específico da água como sendo de $4,18 \cdot 10^3 \text{ J/kg} \cdot ^\circ \text{C}$, a capacidade térmica do ebulidor desprezível e que a potência dissipada por ele é constante.

P. 115 Um resistor tem seus terminais submetidos a uma certa ddp. Reduzindo à metade a resistência elétrica do resistor e mantida constante a ddp, o que acontece com a potência por ele dissipada?

P. 116 (UFRRJ) Um estudante utiliza um circuito elétrico, composto por uma bateria de 12 V e um resistor de 100Ω , para aquecer uma certa quantidade de água, inicialmente a 20°C , contida em um recipiente. O gráfico representa a temperatura da água, medida por um termômetro trazido pelo estudante, em função do tempo.



Dados o calor específico da água $c = 4,2 \text{ J/g} \cdot ^\circ \text{C}$ e densidade da água $\mu = 1,0 \text{ g/cm}^3$, determine:

- a) a quantidade de calor recebida pela água ao final de uma hora;
- b) o volume de água contido no recipiente.

P. 117 Um chuveiro elétrico possui as seguintes características: $4.400 \text{ W} - 220 \text{ V}$.

- a) Qual a intensidade de corrente elétrica que o atravessa quando ligado a uma rede de 220 V?
- b) Ligando-o a uma rede de 110 V e considerando invariável sua resistência elétrica, calcule sua nova potência elétrica e a nova intensidade de corrente elétrica que o percorre.

Entre na rede No endereço eletrônico <http://br.geocities.com/saladefisica3/laboratorio/potencia/potencia.htm> (acesso em julho/2009), você pode determinar a potência elétrica dissipada por um resistor num circuito elétrico.

Resistividade

Objetivos

- ▶ Analisar os parâmetros que influenciam na resistência elétrica de um condutor.
- ▶ Explicar o que é a resistividade de um material.
- ▶ Analisar a variação da resistividade de um material com a temperatura.
- ▶ Analisar a variação da resistência elétrica de um resistor com a temperatura.
- ▶ Conhecer as diversas unidades de medida de resistividade.

Termos e conceitos

- coeficiente de temperatura

Verifica-se que a **resistência elétrica** de um resistor **depende do material** que o constitui, **de suas dimensões** e **de sua temperatura**.

Para simplificar a análise dessas dependências, consideremos que os resistores tenham a forma de um fio cilíndrico (fig. 6).

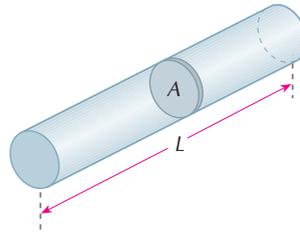


Figura 6. Resistor em forma de fio cilíndrico com área de seção transversal A e comprimento L .

Consideremos quatro resistores em forma de fio cilíndrico (fig. 7), F_1 , F_2 , F_3 e F_4 , e comparemos cada resistor, F_2 , F_3 e F_4 , com F_1 (de resistência elétrica R). As diferenças são: F_1 e F_2 diferem em seus comprimentos L e $2L$; F_1 e F_3 diferem em suas áreas de seções transversais A e $2A$; e F_1 e F_4 diferem em seus materiais (ferro e cobre).

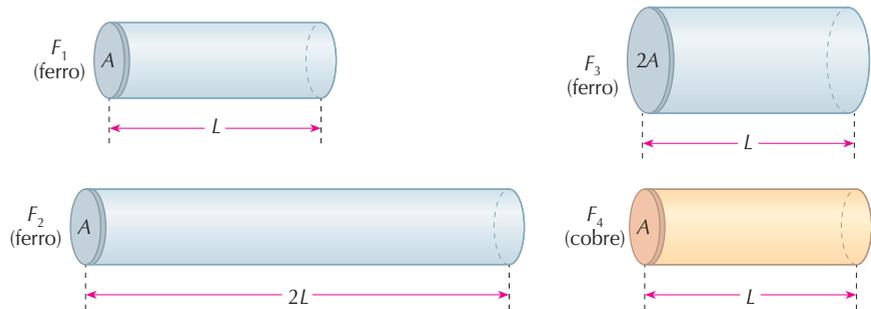


Figura 7. A resistência elétrica de um resistor em forma de fio cilíndrico depende do comprimento, da área da seção transversal, do material e da temperatura.

Realizando experiências com esses fios a temperatura constante, para determinar suas resistências elétricas, obtêm-se os resultados indicados na tabela a seguir.

Material	F_1 (ferro)	F_2 (ferro)	F_3 (ferro)	F_4 (cobre)
Comprimento	L	$2L$	L	L
Área da seção transversal	A	A	$2A$	A
Resistência elétrica	R	$2R$	$\frac{R}{2}$	$R' \neq R$

Analisando a tabela, notamos que:

- fios F_1 e F_2 : dois fios de mesmo material (ferro) e mesma área de seção transversal, o que tiver o dobro do comprimento terá o dobro do valor da resistência elétrica. ($L \rightarrow 2L$; $R \rightarrow 2R$)
- fios F_1 e F_3 : dois fios de mesmo material (ferro) e mesmo comprimento, o que tiver o dobro da área de seção transversal terá a metade do valor da resistência elétrica. ($A \rightarrow 2A$; $R \rightarrow \frac{R}{2}$)
- fios F_1 e F_4 : fios de mesmo comprimento e mesma área de seção transversal, mas de materiais diferentes (ferro e cobre), apresentam resistências elétricas diferentes.

Desses resultados concluímos que a resistência elétrica R de um resistor em dada temperatura é:

- diretamente proporcional ao seu comprimento (L);
- inversamente proporcional à sua área de seção transversal (A);
- dependente do material que o constitui.

Essas conclusões podem ser traduzidas pela fórmula:

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

em que ρ (letra grega rô) representa uma grandeza que depende do material que constitui o resistor e da temperatura, sendo denominada **resistividade do material**.

No Sistema Internacional de Unidades, a unidade de resistividade é o **ohm \times metro ($\Omega \cdot m$)**.

Para definir essa unidade, considere a expressão $R = \rho \cdot \frac{L}{A}$, da qual implica que $\rho = \frac{RA}{L}$.

Assim, temos: $\rho = 1 \frac{\Omega \cdot m^2}{m} = 1 \Omega \cdot m$

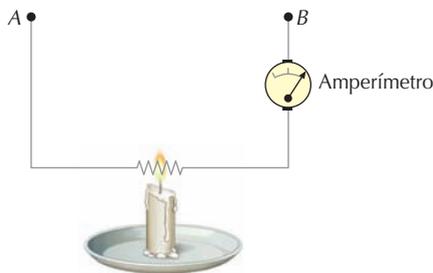
Na prática usa-se, frequentemente, o ohm \times centímetro ($\Omega \cdot cm$) e o $\Omega \cdot mm^2/m$.

A resistividade de um material varia com a temperatura (**fig. 8**). Para variações de temperatura até cerca de 400 °C pode-se admitir como linear a variação da resistividade com a temperatura.

Nessas condições, a resistividade ρ a uma temperatura θ é dada por:

$$\rho = \rho_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (\theta - \theta_0)]$$

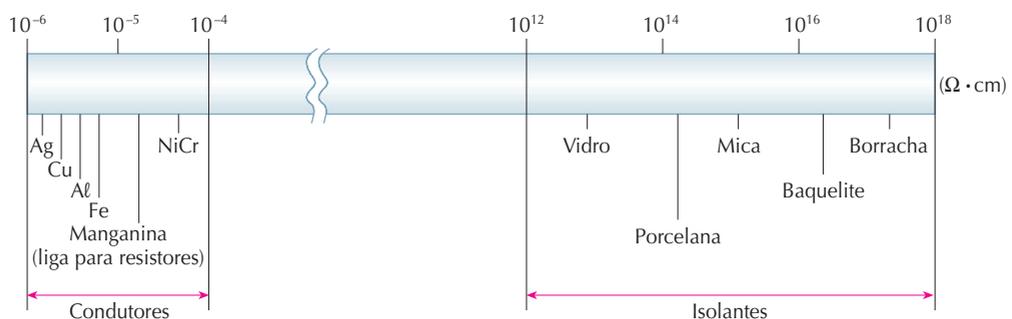
Nessa fórmula, ρ_0 é a resistividade do material à temperatura θ_0 (20 °C é o valor mais utilizado para θ_0) e α um coeficiente que depende da natureza do material, denominado **coeficiente de temperatura**.



◀ **Figura 8.** Mantendo uma ddp constante entre A e B, o amperímetro indica uma diminuição na intensidade da corrente elétrica porque o aumento da temperatura é acompanhado de um aumento da resistividade do fio e, portanto, um aumento de sua resistência elétrica.

Conforme o valor da sua resistividade, um material poderá ser considerado condutor ou isolante.

A seguir temos os valores aproximados para as resistividades de diversas substâncias à temperatura ambiente (20 °C):



Para um resistor constituído de um determinado material de resistividade ρ à temperatura θ e ρ_0 à temperatura θ_0 , podemos escrever, para suas resistências elétricas, nas temperaturas θ e θ_0 , respectivamente, $R = \rho \cdot \frac{L}{A}$ e $R_0 = \rho_0 \cdot \frac{L}{A}$. Observe que não consideramos as variações do comprimento L e da área da seção transversal A com a temperatura, pois elas podem ser desprezadas quando comparadas com a variação da resistividade com a temperatura.

Multiplicando ambos os membros da igualdade $\rho = \rho_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (\theta - \theta_0)]$ por $\frac{L}{A}$, temos:

$$\rho \cdot \frac{L}{A} = \rho_0 \cdot \frac{L}{A} \cdot [1 + \alpha \cdot (\theta - \theta_0)] \Rightarrow R = R_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (\theta - \theta_0)]$$

Entre na rede No endereço eletrônico <http://br.geocities.com/saladefisica3/laboratorio/resistencia/resistencia.htm> (acesso em julho/2009), você pode analisar, entre diversos fios, qual deles é o melhor condutor, e observar que a resistência elétrica de um fio metálico aumenta com o aumento da temperatura.

Varição da resistividade com a temperatura

A resistividade dos metais puros aumenta com o aumento da temperatura. Por isso a resistência elétrica de resistores constituídos de metais puros também aumenta com a temperatura. Com o aquecimento, ocorre um aumento do estado de vibração das partículas que constituem o condutor e isso dificulta a passagem da corrente elétrica. Por outro lado, o aquecimento provoca um aumento do número de elétrons livres, responsáveis pela corrente elétrica. Mas, para os metais puros, o primeiro efeito (aumento do estado de vibração das partículas do condutor) predomina sobre o segundo (aumento do número de elétrons livres).

Existem ligas metálicas para as quais os dois efeitos

se compensam. Consequentemente, para tais ligas, a resistividade elétrica praticamente não varia com a temperatura. É o caso da **manganina** e do **constantan**, que são ligas de cobre, níquel e manganês utilizadas para a construção de resistores.

Para a grafite o segundo efeito predomina sobre o primeiro e, portanto, sua resistividade diminui com o aumento da temperatura.

Os metais puros possuem coeficientes de temperatura positivos; as citadas ligas especiais possuem coeficientes de temperatura praticamente nulos e o coeficiente de temperatura da grafite é negativo.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

R. 53 Aplica-se a ddp de 100 V nas extremidades de um fio de 20 m de comprimento e seção circular de área 2 mm^2 . Sabendo-se que a corrente elétrica que circula tem intensidade 10 A, calcule a resistividade do material que constitui o fio em $\Omega \cdot \text{cm}$.

Solução:

Pela lei de Ohm, temos:

$$R = \frac{U}{i} \Rightarrow R = \frac{100}{10} \Rightarrow R = 10 \Omega$$

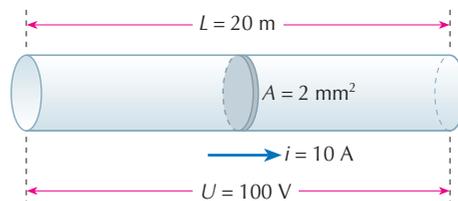
Por outro lado:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A} \Rightarrow \rho = \frac{RA}{L} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \rho = \frac{10 \cdot 2 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}}{20} \Rightarrow$$

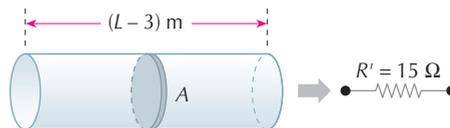
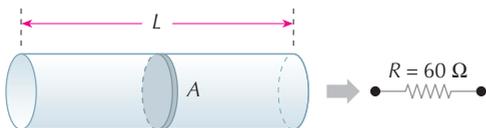
$$\Rightarrow \rho = 1 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \rho = \frac{1 \Omega \cdot 10^{-6} \text{ m}^2}{\text{m}} \Rightarrow \rho = 10^{-6} \Omega \cdot \text{m} \Rightarrow \rho = 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$$

Resposta: $10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$



R. 54 A resistência elétrica de um resistor de fio metálico é 60Ω . Cortando-se um pedaço de 3 m do fio, verifica-se que a resistência do resistor passa a ser 15Ω . Calcule o comprimento total do fio.

Solução:



Temos: $R = \rho \cdot \frac{L}{A}$ ① e $R' = \rho \cdot \frac{(L - 3)}{A}$ ②

Dividindo ① por ②, temos:

$$\frac{R}{R'} = \frac{L}{L - 3} \Rightarrow \frac{60}{15} = \frac{L}{L - 3} \Rightarrow 60L - 180 = 15L \Rightarrow 45L = 180 \Rightarrow \boxed{L = 4 \text{ m}}$$

Resposta: 4 m

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 118 Um fio de cobre tem comprimento de 120 m e a área de sua seção transversal é de $0,50 \text{ mm}^2$. Sabendo-se que a resistividade do cobre a 0°C é de $1,72 \cdot 10^{-2} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, determine a resistência elétrica do fio a 0°C .

P. 119 (Mackenzie-SP) O filamento de tungstênio de uma lâmpada tem resistência de 20Ω a 20°C . Sabendo-se que sua seção transversal mede $1,102 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2$ e que a resistividade do tungstênio a 20°C é $5,51 \cdot 10^{-2} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, determine o comprimento do filamento.

P. 120 Um fio condutor de determinado material tem resistência elétrica igual a 30Ω . Qual será a resistência elétrica de outro fio de mesmo material,

com o dobro do comprimento e o triplo da área da seção transversal do primeiro?

P. 121 Um resistor em forma de fio tem resistência elétrica de 100Ω . Se a ele foi acrescentado um fio idêntico mas com 0,5 m de comprimento, a resistência passa a ser 120Ω . Determine o comprimento do resistor original.

P. 122 (Unicamp-SP) Sabe-se que a resistência elétrica de um fio cilíndrico é diretamente proporcional ao seu comprimento e inversamente proporcional à área de sua seção transversal.

- O que acontece com a resistência do fio quando triplicamos o seu comprimento?
- O que acontece com a resistência do fio quando duplicamos o seu raio?

EXERCÍCIOS PROPOSTOS DE RECAPITULAÇÃO

P. 123 (UFU-MG) A intensidade de corrente é o fator mais relevante nas sensações e consequências do choque elétrico. Estudos cuidadosos desses fenômenos permitiram chegar aos seguintes valores aproximados:

- uma corrente de 1 mA a 10 mA ($1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$) provoca apenas uma sensação de “formigamento”;
- correntes de 10 mA a 20 mA já causam sensações dolorosas;
- correntes superiores a 20 mA e inferiores a 100 mA causam, em geral, grandes dificuldades respiratórias;
- correntes superiores a 100 mA são extremamente perigosas, podendo causar a morte da pessoa,

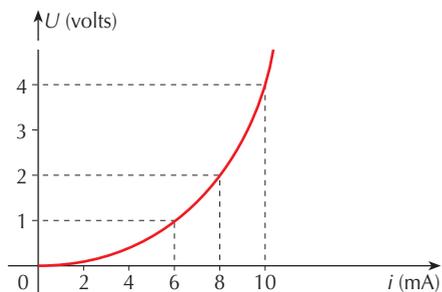
por provocar contrações rápidas e irregulares do coração (esse fenômeno é denominado fibrilação cardíaca);

- correntes superiores a 200 mA não causam fibrilação, porém dão origem a graves queimaduras e conduzem à parada cardíaca.

Baseado nas informações acima, responda à situação abaixo.

A resistência elétrica do corpo humano pode variar entre, aproximadamente, 100.000Ω , para a pele seca, e cerca de 1.000Ω , para a pele molhada. Assim, se uma pessoa com a pele molhada tocar os dois polos de uma tomada de 120 V, poderá vir a falecer em virtude de fibrilação cardíaca? Justifique.

P. 124 (Fuvest-SP) A curva característica de um elemento resistivo é vista na figura abaixo.



- Qual a potência dissipada quando $i = 10$ mA?
- Qual é a carga que passa em 10 s, quando $U = 2,0$ volts?

P. 125 (UFPE) Um aquecedor elétrico ligado em 220 V faz a água contida num recipiente ferver em 12 minutos. Quanto tempo, em minutos, será necessário para ferver a mesma quantidade de água se o aquecedor for ligado em 110 V?

P. 126 (Fuvest-SP) A potência de um chuveiro elétrico é 2.200 W. Considere $1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$. Qual a variação de temperatura da água ao passar pelo chuveiro com uma vazão de $0,022 \text{ l/s}$? (Dados: calor específico da água: $1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$; densidade da água: 1 kg/l .)

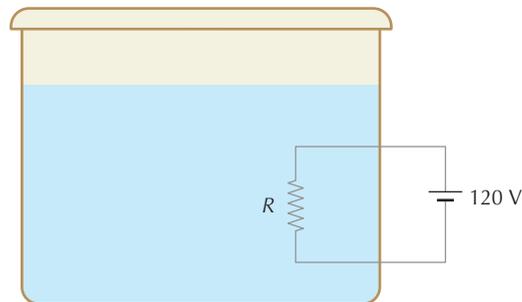
P. 127 (Faap-SP) Congelou-se um grande volume de água em torno de um resistor de resistência elétrica $4 \text{ k}\Omega$ e fez-se passar por este uma corrente de 2 A, até que 1 kg de gelo se fundiu. Sabendo que o gelo se encontra a 0°C e que o calor de fusão deste é 80 cal/g , calcule durante quanto tempo o circuito esteve ligado. Considere $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$.

P. 128 (Vunesp) Acende-se uma lâmpada de 100 W, que está imersa num calorímetro transparente contendo 500 g de água. Em 1 min 40 s a temperatura da água sobe $4,5^\circ\text{C}$. Que porcentagem de energia elétrica fornecida à lâmpada é convertida em luz? (Considere o calor específico da água, $4,2 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$, e que a luz produzida não é absorvida pelo calorímetro. Despreze a capacidade térmica do calorímetro e da lâmpada.)

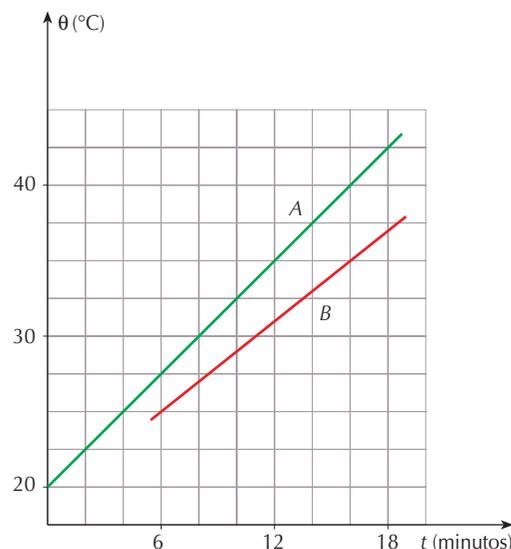
P. 129 (Fuvest-SP) Um chuveiro elétrico de 220 V dissipa uma potência de 2,2 kW.

- Qual o custo de um banho com 10 min de duração se a tarifa é de R\$ 0,20 por kWh?
- Desejando-se duplicar a variação de temperatura da água mantendo-se constante a sua vazão, qual deve ser a nova resistência do chuveiro?

P. 130 (Fuvest-SP) Uma experiência é realizada para estimar o calor específico de um bloco de material desconhecido, de massa $m_b = 5,4 \text{ kg}$. Em um recipiente de isopor, uma quantidade de água é aquecida por uma resistência elétrica $R = 40 \Omega$, ligada a uma fonte de 120 V, conforme a figura a seguir.



Nessas condições, e com os devidos cuidados experimentais, é medida a variação da temperatura θ da água, em função do tempo t , obtendo-se a reta A do gráfico. A seguir, repete-se a experiência desde o início, desta vez colocando-se o bloco imerso dentro d'água, obtendo-se a reta B do gráfico.



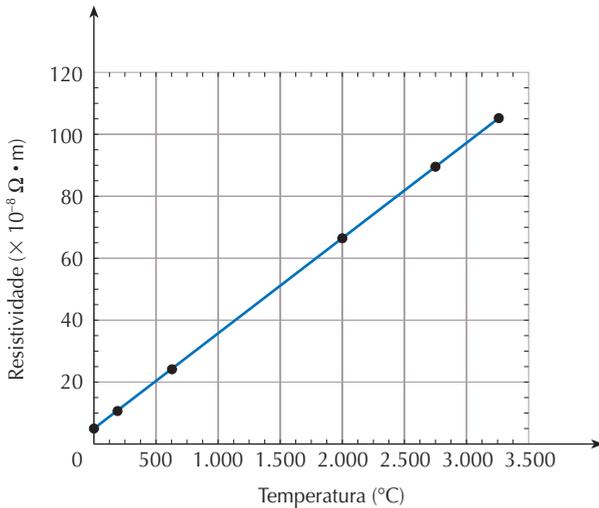
- Estime a massa M , em kg, da água colocada no recipiente.
- Estime o calor específico c_b do bloco, explicitando claramente as unidades utilizadas. (Dados: calor específico da água = $1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$, $1 \text{ cal} \approx 4 \text{ J}$)

P. 131 (Efoa-MG) Dois pedaços de fios de cobre cilíndricos têm o mesmo comprimento. Um tem diâmetro 2 mm e resistência elétrica R_2 , o outro tem diâmetro 3 mm e resistência elétrica R_3 .

- Qual o valor da razão $\frac{R_2}{R_3}$?
- Nas instalações elétricas os fios mais grossos são utilizados para circuitos percorridos por correntes elétricas de maior intensidade. Qual a justificativa, sob o ponto de vista da segurança dessas instalações, desse procedimento?

P. 132 (Unicamp-SP) A invenção da lâmpada incandescente no final do século XIX representou uma evolução significativa na qualidade de vida das pessoas. As lâmpadas incandescentes atuais consistem de um filamento muito fino de tungstênio dentro de um bulbo de vidro preenchido por um gás nobre.

O filamento é aquecido pela passagem de corrente elétrica, e o gráfico a seguir apresenta a resistividade do filamento como função de sua temperatura. A relação entre a resistência e a resistividade é dada por $R = \rho \cdot \frac{L}{A}$, onde R é a resistência do filamento, L seu comprimento, A a área de sua seção reta e ρ sua resistividade.



- a) Caso o filamento seja aquecido desde a temperatura ambiente até 2.000 °C, sua resistência aumentará ou diminuirá? Qual a razão, $\frac{R_{2.000}}{R_{20}}$, entre as resistências do filamento a 2.000 °C e a 20 °C? Despreze efeitos de dilatação térmica.
- b) Qual a resistência que uma lâmpada acesa (potência efetiva de 60 W) apresenta quando alimentada por uma tensão efetiva de 120 V?
- c) Qual a temperatura do filamento no item anterior, se ele apresenta um comprimento de 50 cm e um diâmetro de 0,05 mm? Use a aproximação $\pi = 3$.

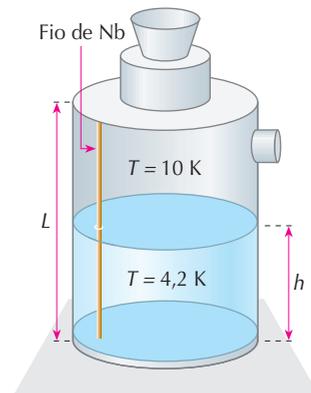
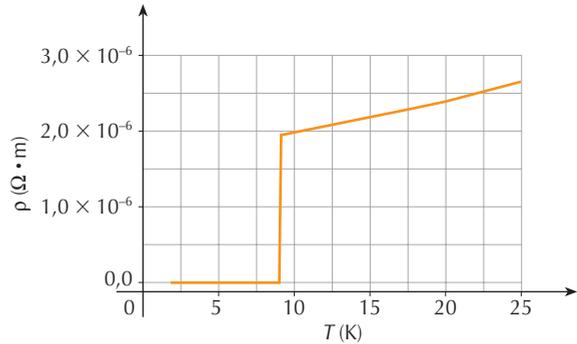
P. 133 (UnB-DF) O chuveiro elétrico é um dos principais inimigos da economia doméstica. O uso indiscriminado desse equipamento pode gerar altas contas de energia elétrica no final de cada mês. Para tentar minimizar esse problema, um pai de família, depois de instalar um chuveiro de 6.250 W em 220 V, resolveu explicar a seu filho adolescente como o chuveiro funciona:

“Este chuveiro possui três posições de operação: **desligado**, **verão** e **inverno**. Quando a chave está na primeira posição, a resistência elétrica do chuveiro é infinita, ou seja, não há corrente elétrica e, por isso, a água não é aquecida. Quando a chave está na posição **inverno**, a resistência é mínima, o que garante máxima corrente elétrica e máximo aquecimento da água. Se a chave está na posição **verão**, a resistência é igual ao triplo da resistência mínima. Atualmente, um banho de uma hora de duração, com a chave na posição **inverno**, custa R\$ 1,00. Portanto, se em nossa casa moram sete pessoas, temos de ter cuidado com a duração de cada banho e, sempre que possível, usar o chuveiro

com a chave na posição **verão**. Além do mais, o preço do kWh aqui em Brasília depende da faixa de consumo; quanto mais se consome mais caro fica o kWh”.

Considerando que o preço do kWh independe da energia consumida e que cada um dos sete moradores toma um banho de vinte minutos de duração por dia, usando o chuveiro com a chave na posição **verão**, calcule, em reais, o valor a ser pago pelo uso do chuveiro em um período de trinta dias. Despreze a parte fracionária de seu resultado, caso exista.

P. 134 (Unicamp-SP) O gráfico abaixo mostra a resistividade elétrica de um fio de nióbio (Nb) em função da temperatura.



No gráfico, pode-se observar que a resistividade apresenta uma queda brusca em $T = 9,0$ K, tornando-se nula abaixo dessa temperatura. Esse comportamento é característico de um material supercondutor. Um fio de Nb de comprimento total $L = 1,5$ m e seção transversal de área $A = 0,050$ mm² é esticado verticalmente do topo até o fundo de um tanque de hélio líquido, a fim de ser usado como medidor de nível, conforme ilustrado na figura anterior. Sabendo-se que o hélio líquido se encontra a 4,2 K e que a temperatura da parte não imersa do fio fica em torno de 10 K, pode-se determinar a altura h do nível de hélio líquido através da medida da resistência do fio.

- a) Calcule a resistência do fio quando toda a sua extensão está a 10 K, isto é, quando o tanque está vazio.
- b) Qual é a altura h do nível de hélio líquido no interior do tanque em uma situação em que a resistência do fio de Nb vale 36 Ω ?

