AULA
41

Me deixa passar, senão eu esquento!

PARA COMEÇAR

A nossa história do banho interrompido – ou do fusível queimado – continuou alguns dias depois, quando o ambiente familiar estava mais amigável.

– Ô, pai, como é que naquele dia você sabia que era o fusível que tinha queimado? Não podia ser o chuveiro? – perguntou Ernesto intrigado.

– Eu chutei, filho – respondeu Roberto com sinceridade. – A casa estava toda acesa, essa televisãozona ligada, você liga o chuveiro e ele pifa... tinha de ser o fusível!

– Mas o que o fusível tem com isso? – quis saber Ernesto.

– É que, quando tem muita coisa ligada, muita corrente é puxada e o fusível não agüenta. Por isso que eu mandei desligar a televisão, senão queimava de novo! – explicou Roberto corretamente, embora sem muito rigor científico.

– E a mãe ainda falou que era ridículo... Ridículo era tomar banho frio, né, pai? – arrematou politicamente o filho.

Mas Ernesto não ficou sem resposta. Cristiana, que ouvia tudo lá do quarto, não perdoou:

– Ridículo sim, queridinho! Na casa das minhas amigas ninguém desliga a televisão para tomar banho, só na maravilhosa casa do seu papaizinho, o gênio da eletricidade!

É claro que a conversa não parou por aí. Provavelmente esquentou um pouco mais e deve ter até queimado alguns “fusíveis”. Mas isso já não tem mais nada a ver com a nossa aula...

Até esse ponto, no entanto, a conversa ilustra muito bem o que vamos estudar agora. Você já viu, nas aulas anteriores, que para uma carga elétrica se movimentar num determinado sentido é preciso que sobre ela atue um campo elétrico. Ou que ela esteja submetida a uma diferença de potencial. Você também já sabe que há bons e maus condutores de eletricidade, ou seja, alguns materiais resistem mais, outros menos, à passagem da corrente elétrica. Essa resistência pode ser medida, assim como seu efeito principal – o calor gerado, origem dos primeiros eletrodomésticos.

Mais adiante você vai ver que Roberto, de fato, sabia o que estava falando, mas que Cristiana também tinha razão. Numa instalação elétrica projetada adequadamente, os fusíveis não queimam facilmente. Aliás, em geral, nem se usam mais fusíveis – usam-se disjuntores, que têm a mesma função mas não queimam, simplesmente “desarmam”.

Mas isso fica para depois: já temos assunto suficiente para esta aula.

Fique ligado

Diferença de potencial

Nas aulas anteriores, vimos dois conceitos que explicavam a mesma coisa de formas diferentes: campo elétrico e potencial elétrico. Uma carga elétrica **só se movimenta de um ponto para outro de uma região do espaço se, nessa região, houver um campo elétrico**.

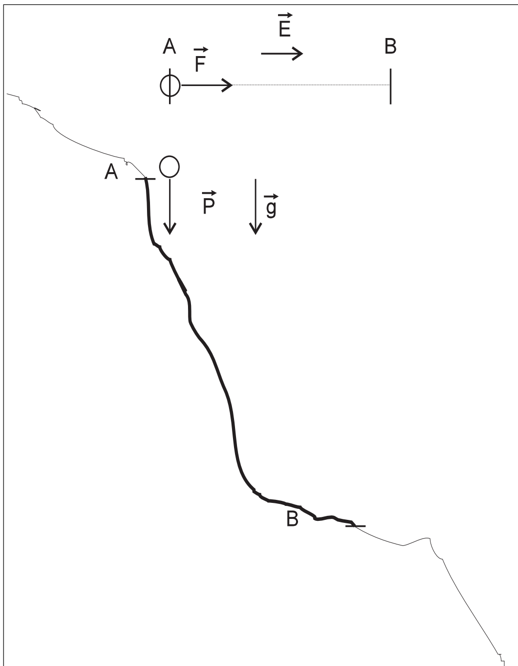


Figura 1. A carga q vai de A para B devido ao campo elétrico $\vec{E}$, ou devido à presença de potencial elétrico entre A e B. Da mesma forma, a pedra rola de A para B devido ao campo gravitacional $\vec{g}$ ou devido à diferença de potencial gravitacional entre A e B.

Esse movimento pode ser explicado, também, pelo conceito de diferença de potencial. Nesse caso, dizemos que uma carga elétrica **só se movimenta de um ponto para outro de uma região do espaço se, entre esses dois pontos, houver uma diferença de potencial**.

Para entender a diferença entre essas explicações, suponha que uma pedra rola do alto de uma ribanceira. Você pode dizer que ela cai devido ao campo gravitacional, ou que ela cai porque estava num ponto mais alto e tende a vir para um ponto mais baixo devido à diferença de potencial gravitacional.

São explicações equivalentes. Pode-se adotar uma ou outra. Em eletricidade costuma-se adotar a segunda, a da diferença de potencial, por ser mais simples (veja a Figura 1).

Dessa forma, para que as cargas elétricas de um condutor se movimentem predominantemente num determinado sentido, de um ponto para outro, é preciso que entre esses pontos se estabeleça uma **diferença de potencial**. Como você já viu, a unidade de diferença de potencial no SI é o **volt**. Por isso também é costume chamar a diferença de potencial de **voltagem**.

Resistência elétrica e lei de Ohm

Pelo que vimos até aqui, para que haja uma **corrente elétrica** entre dois pontos de um condutor – as suas extremidade, por exemplo – é necessária uma **diferença de potencial** entre esses dois pontos. Mas que relação existe entre essas duas grandezas? Qual o valor da corrente elétrica que passa por um condutor quando suas extremidades são ligadas a uma determinada diferença de potencial?

Essa relação foi estabelecida em 1827 pelo físico alemão Georg Simon Ohm. Ele percebeu que, dependendo do condutor, a mesma diferença de potencial poderia gerar correntes elétricas de intensidades diferentes. Isso significa que alguns condutores "resistem" mais à passagem da corrente que outros, ou seja, alguns corpos têm **resistência elétrica** maior do que outros.

Ohm definiu a resistência elétrica de um condutor pela razão entre a diferença de potencial aplicada a esse condutor e a corrente que o atravessa. Se denominarmos **V** a diferença de potencial e **i** a intensidade da corrente elétrica, podemos definir a resistência elétrica (**R**) de um condutor pela expressão:

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

Como, no SI, a unidade de diferença de potencial é o volt (V) e a de corrente elétrica é o ampère (A), a unidade de resistência elétrica será dada pela relação volts/ampère, que recebe o nome de **ohm**, tendo como símbolo a letra grega ômega, maiúscula, **Ω** .

Da definição de resistência elétrica, pode-se tirar a expressão:

$$V = R \cdot i$$

conhecida como **lei de Ohm**.

Passo a passo

1. Um fio condutor, ligado a uma diferença de potencial de 3 V, é percorrido por uma corrente elétrica de 0,5 A. Qual a resistência elétrica desse fio?

Solução:

Basta aplicar a definição de resistência elétrica, $R = \frac{V}{i}$.
Como V = 3 V e i = 0,5 A, temos:
$R = 3\ V \cdot 0{,}5\ A$
$\mathbf{R = 6\Omega}$

Resistores lineares

Qualquer pedaço de fio condutor é percorrido por uma corrente elétrica quando submetido a uma determinada diferença de potencial. Esse fio tem, nessas condições, uma resistência elétrica definida. Ele é um **resistor**, representado simbolicamente pela desenho da Figura 2.

Figura 2. Símbolo gráfico do resistor.

Na prática, os resistores são fabricados industrialmente e vendidos no comércio com determinadas especificações de uso, chamadas de **valores nominais**. São utilizados nas aplicações práticas da eletricidade, quase sempre para aquecimento. Na eletrônica são usados, em geral, para adequar os valores da corrente elétrica às necessidades de cada montagem, circuito, equipamento etc.

Quando o valor da resistência elétrica **R** de um resistor é constante, a lei de Ohm torna-se uma **função linear**. Isso significa que, se esse resistor for submetido a diferentes valores de **V**, ele será percorrido por diferentes valores de **i**. Mas os valores de i serão sempre **diretamente proporcionais** a V. Em outras palavras, o gráfico V × i será uma reta. Por isso, nesse caso, o resistor é chamado de **linear**. Veja o exemplo 2.

2. Um resistor tem o valor constante R = 10 Ω. Preencha a tabela abaixo, determinando o valor de i para cada valor de V sugerido na tabela. Com os valores obtidos, construa o gráfico V × i.

V(volts)	2	4	6	8	10	12	14	16
i(ampères)								

Solução:

Aplicando a lei de Ohm, $V = R \cdot i$, podemos obter os valores de i pela relação i = V # R, onde R = 10 Ω. A tabela ficará, então, com os seguintes valores:

V(volts)	2	4	6	8	10	12	14	16
i(ampères)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6

A partir desses valores pode-se construir o gráfico V × i, como você vê na Figura 3.

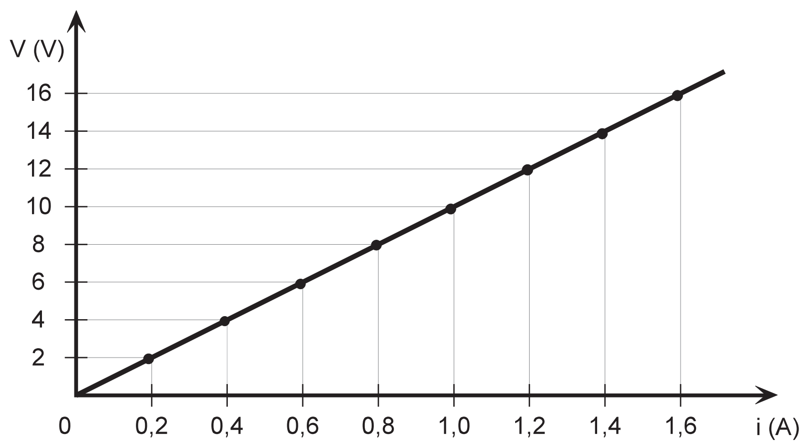


Figura 3. Gráfico V × i.

Como em toda função linear, o coeficiente angular da reta (tangente do ângulo que a reta forma com o eixo das abscissas) é igual à constante de proporcionalidade. Nesse caso, essa constante de proporcionalidade é R, valor da resistência elétrica do resistor. Veja na Figura 3 que, em qualquer ponto da reta,

$$\text{tg}\,\alpha = \frac{V}{i} \Rightarrow \text{tg}\,\alpha = R = 10\,\Omega$$

Resistores não lineares

Os resistores nem sempre têm um valor constante. Em geral, isso ocorre apenas dentro de um determinado intervalo de valores da corrente elétrica. Quando o valor do resistor é variável, dizemos que ele é um resistor **não-linear**, pois o seu gráfico **V** × **i** deixa de ser uma reta.

Na maioria dos casos, o valor dos resistores aumenta com o aumento da corrente elétrica. Isso ocorre porque esse valor quase sempre aumenta com o aumento da temperatura, e a temperatura sempre aumenta com o aumento da corrente elétrica. Por isso é que os resistores destinados especificamente ao aquecimento – como aqueles utilizados em ferros elétricos, chuveiros e torneiras elétricas ou mesmo no filamento de lâmpadas de incandescência – têm um valor variável que aumenta com a temperatura.

Existem alguns resistores construídos especialmente para que o seu valor diminua com o aumento da corrente. São conhecidos por uma sigla, VDR, que, em inglês significa "resistor que depende da voltagem". Veja os gráficos $V \times i$, que correspondem a esses resistores, na Figura 4.

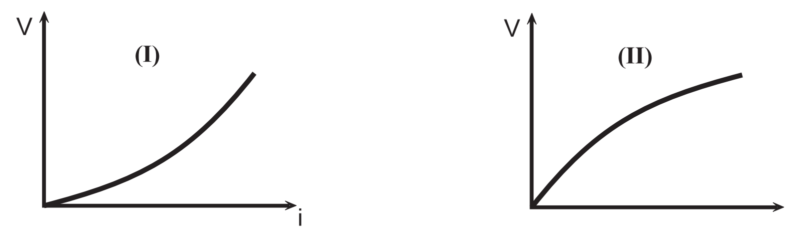


Figura 4. Gráficos de resistores não lineares:
I) gráfico do filamento de uma lâmpada;
II) gráfico de um VDR (voltage dependent resistor)

Resistividade elétrica

Já vimos que a resistência elétrica de um condutor está relacionada à maior ou menor facilidade com que esse condutor permite a passagem da corrente elétrica. Num fio condutor, essa facilidade ou dificuldade depende de três fatores: do seu **comprimento**, ℓ; da sua espessura, bitola ou, mais corretamente, **área da seção transversal**, **S**; de uma constante que depende do material de que é feito esse condutor. Essa constante é a chamada **resistividade**, representada pela letra grega ρ (rô). Pode-se expressar o valor da resistência elétrica de um fio em função de todos esses fatores pela relação:

$$R = \rho\frac{\ell}{S}$$

É fácil ver, por essa expressão, que R é diretamente proporcional a ℓ – quanto **maior** o comprimento do fio, **maior** a sua resistência elétrica – e inversamente proporcional à sua área de seção transversal – quanto **maior** a área, **menor** a resistência elétrica. Pode-se ainda, a partir dessa expressão, definir a unidade da resistividade elétrica de um material.

Se $R = \rho\frac{\ell}{S}$, então:

$$\rho = R\frac{S}{\ell}$$

Portanto a unidade de ρ, no SI, será: $\Omega\ m^2/m$ ou, simplificando, $\Omega\ m$.

Para essa constante, em geral, prefere-se usar uma unidade mista, não pertencente ao SI, que relaciona todos os fatores ligados à resistividade. Essa unidade é $\Omega\ mm^2/m$. Ela é mais prática porque utiliza como unidade de área, em lugar do metro quadrado, o milímetro quadrado, que é muito mais adequado à área de seção de um fio.

3. Determine a resistência elétrica de um fio de cobre de 10 m de comprimento e 0,5 mm^2 de área de seção transversal. Veja a resistividade do cobre na tabela abaixo.

RESISTIVIDADE DE ALGUNS MATERIAIS À TEMPERATURA AMBIENTE (20ºC)	
MATERIAL	RESISTIVIDADE
prata	$1{,}62 \cdot 10^{-8}$
cobre	$1{,}69 \cdot 10^{-8}$
alumínio	$2{,}75 \cdot 10^{-8}$
tungstênio	$5{,}25 \cdot 10^{-8}$
ferro	$9{,}68 \cdot 10^{-8}$
platina	$10{,}6 \cdot 10^{-8}$
manganês	$48{,}2 \cdot 10^{-8}$
silício	$2{,}5 \cdot 10^{3}$
vidro	$10^{10} - 10^{14}$

Solução:

Aplicando a expressão da resistência elétrica em função da resistividade, temos:

$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

Sendo $\rho_{Cu} = 1{,}69 \cdot 10^{-8}\ \Omega \cdot \text{m}$ (valor obtido na tabela);
$\ell = 10$ m e $S = 0{,}5\ \text{mm}^2 = 0{,}5 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^2$.
Temos: $R = (1{,}69 \cdot 10^{-8} \cdot 10) \# 0{,}5 \cdot 10^{-6}$
$\mathbf{R = 0{,}338\,\Omega}$

Associação de resistores

Como dissemos anteriormente, os resistores são fabricados industrialmente e vendidos no comércio sob certas especificações ou valores nominais. No entanto, é fácil entender que não é possível fabricar resistores de todos os valores. Por essa razão existem resistores variáveis que costumam ser chamados de **reostatos**, nos quais o valor desejado para o resistor é obtido variando-se a posição de um contato deslizante – o que corresponde a aumentar o comprimento ℓ do fio ou do material percorrido pela corrente elétrica. Veja Figura 5. Como a resistência elétrica é diretamente proporcional ao comprimento do condutor, pode-se, dessa forma, ajustá-lo ao valor desejado.

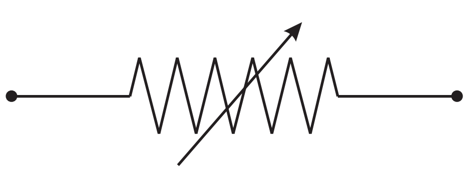


Figura 5. Símbolo do reostato.

Outra maneira de obter valores não-comerciais para um resistor é fazer uma **associação de resistores**, isto é, agrupá-los adequadamente de forma que o conjunto formado tenha o valor que se deseja. Há duas formas básicas de compor essas associações: em **série** ou em **paralelo**.

Na associação em série (veja Figura 6), **todos os resistores são percorridos pela mesma corrente elétrica**. Vamos supor que numa associação existam **n** resistores, R_1, R_2, R_3, ... R_n, percorridos pela mesma corrente i. Pela lei de Ohm, cada resistor vai ser submetido a uma diferença de potencial $V = R \cdot i$. Assim, o resistor R_1 será submetido a uma diferença de potencial $V_1 = R_1 \cdot i$; R_2 será submetido a uma diferença de potencial $V_2 = R_2 \cdot i$; R_3 será submetido a uma diferença de potencial $V_3 = R_3 \cdot i$ e assim por diante, até R_n, submetido a uma diferença de potencial $V_n = R_n \cdot i$. A diferença de potencial V_T de toda a associação será:

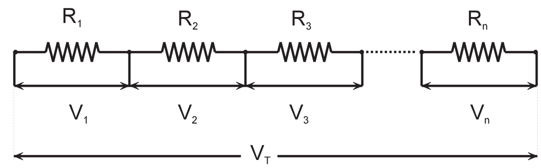


Figura 6. Associação de resistores em série.

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + ... + V_n$$

Como V_T é a diferença de potencial em toda a associação, pode-se afirmar, pela lei de Ohm, que $V_T = R_E \cdot i$, onde $\mathbf{R_E}$ é a **resistência equivalente** a toda a associação. A diferença de potencial em toda associação pode, portanto, ser escrita na forma:

$$R_E \cdot i = R_1 \cdot i + R_2 \cdot i + R_3 \cdot i + ... + R_n \cdot i$$

Dividindo toda a equação por i, obtemos:

$$\mathbf{R_E = R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_n}$$

Portanto, **o resistor equivalente a uma associação de resistores em série tem uma resistência elétrica igual à soma das resistências elétricas de todos os resistores da associação**.

Na associação em paralelo, **todos os resistores têm os terminais ligados à mesma diferença de potencial**. Nesse caso, a corrente elétrica total da associação é igual à soma das correntes que passam pelos resistores. Veja a Figura 7. Se a corrente total da associação é i_T e i_1, i_2, i_3, ...i_n são as correntes que percorrem cada resistor, pode-se escrever:

$$i_T = i_1 + i_2 + i_3 + ... + i_n$$

Mas, da lei de Ohm, pode-se escrever, também, que

$$i_T = \frac{V}{R_E},$$

onde R_E é a resistência equivalente à associação.

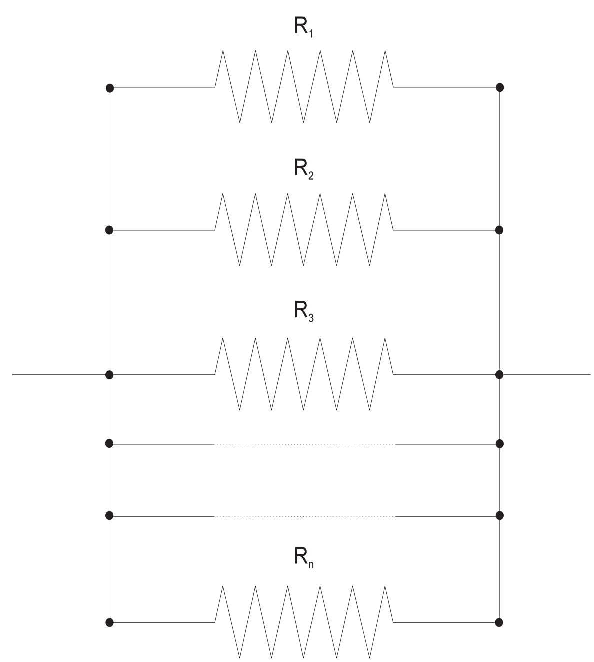


Figura 7. Associação de resistores em paralelo.

Como a diferença de potencial V é a mesma para todos os resistores, podemos escrever, para cada resistor,

$$i_1 = \frac{V}{R_1},\ i_2 = \frac{V}{R_2},\ i_3 = \frac{V}{R_3} \text{ e } i_n = \frac{V}{R_n}.$$

Portanto, a expressão da corrente total pode ser escrita na forma:

$$\frac{V}{R_E} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} + \ldots + \frac{V}{R_n}$$

Dividindo toda a equação por V, obtemos:

$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$

Essa expressão permite determinar o valor da resistência elétrica equivalente de uma associação em paralelo de resistores. É fácil demonstrar que, se houver apenas dois resistores em paralelo, de resistências R_1 e R_2, a resistência equivalente R_E dessa associação pode ser determinada pela expressão:

$$R_E = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Muitas vezes a associação é mista, isto é, alguns resistores estão associados de uma forma e outros, de outra. Nesse caso, a determinação da resistência equivalente deve ser feita por partes. Veja o exemplo 6.

Passo a passo

4. Determine o resistor equivalente à associação da Figura 8.

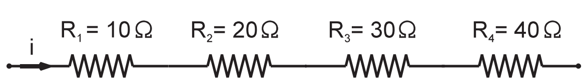


Figura 8.

Solução:

Como todos os resistores são percorridos pela mesma corrente, trata-se de uma associação em série. Então, para determinar o resistor equivalente, basta somar todos os resistores cujos valores estão na figura:

$$R_E = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

Portanto,

$$R_E = 10 + 20 + 30 + 40$$
$$\mathbf{R_E = 100\,\Omega}$$

5. Determinar o resistor equivalente à associação da Figura 9.

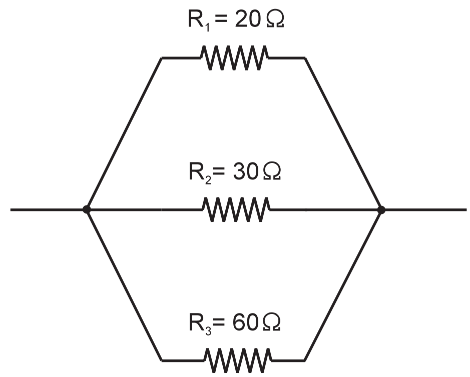


Figura 9

Solução:

Como todos os resistores estão ligados à mesma diferença de potencial, trata-se de uma associação em paralelo. Basta, portanto, aplicar a expressão:

$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{20} + \frac{1}{30} + \frac{1}{60}$$

Como o mmc (mínimo múltiplo comum) de R_E, 20, 30 e 60 é $60 \cdot R_E$, temos:

$$60 = 3R_E + 2R_E + R_E$$

$$\mathbf{R_E = 10\,\Omega}$$

6. Determinar a resistência equivalente à associação da Figura 10.

Solução:

Inicialmente achamos o resistor equivalente (R'_E) a R_2 e R_3, que estão associados em paralelo. Como são apenas dois resistores, podemos utilizar a fórmula simplificada,

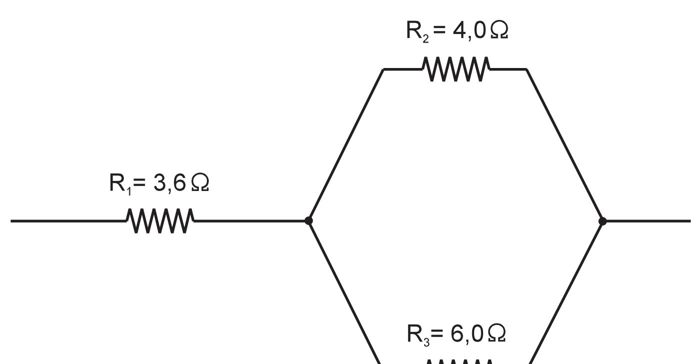


Figura 10

$$R_E' = \frac{(R_2 \cdot R_3)}{(R_2 + R_3)}$$

Obtemos então: $R_E' = \frac{(4 \cdot 6)}{(4 + 6)} \Rightarrow R_E' = 2{,}4\Omega$

É fácil ver que, agora, o resistor – R_E – equivalente **a toda a associação**, será a soma de R_1 e R'_E, pois eles estão associados em série. Portanto;

$$R_E = R_1 + R_E'$$
$$R_E = 3{,}6 + 2{,}4$$
$$R_E = 6{,}0\,\Omega$$

Efeito Joule: a transformação da energia elétrica em calor

Você já viu, no nosso estudo da termodinâmica, que o calor é uma forma de energia. Viu, também, que a energia nunca se perde, apenas se transforma ou se converte de uma forma em outra. A partir do instante em que fica sob a ação de um campo elétrico, a multidão de elétrons de um condutor adquire uma energia elétrica e passa a se movimentar num determinado sentido. Embora o campo elétrico, causa desse movimento, se propague a uma velocidade próxima da velocidade da luz, são tantos os choques dessa multidão de elétrons com a estrutura atômica do condutor que o seu movimento torna-se muito lento.

Entretanto, apesar dos choques, a energia elétrica desses elétrons não se perde – a maior parte dela se transforma em calor. Essa transformação, conhecida como **efeito Joule** (em homenagem a James P. Joule, cientista inglês que determinou a relação entre calor e trabalho), é responsável pelas primeiras aplicações práticas das eletricidade. Destacam-se, entre elas, a lâmpada de incandescência, cujo filamento se aquece a temperaturas tão altas que passa a emitir luz, e todos os eletrodomésticos que baseiam o seu funcionamento na produção de calor, do ferro ao chuveiro elétrico.

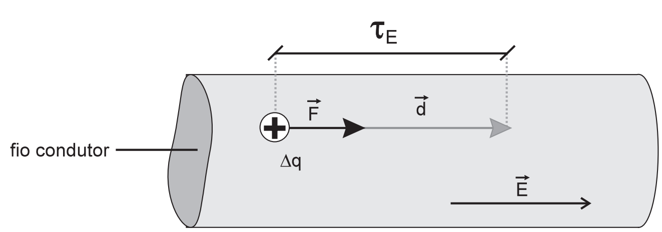


Figura 11. Trabalho do campo elétrico para mover uma carga no interior de um condutor.

Para obter a relação entre energia elétrica e calor, vamos, inicialmente, determinar a energia necessária para mover uma carga elétrica $\Delta \mathbf{q}$ no interior de um condutor. Suponha que essa carga elétrica $\Delta \mathbf{q}$ seja positiva, para facilitar nossa dedução, e sofra um deslocamento $\vec{\mathbf{d}}$ devido à ação de um campo elétrico $\vec{E}$ (veja Figura 11 **)**. Lembrando a definição de trabalho, pode-se calcular o trabalho τ_E que esse campo elétrico realiza para mover a carga $\Delta \mathbf{q}$ ao longo do deslocamento $\vec{\mathbf{d}}$ com a seguinte expressão:

$$\tau_E = F \cdot d \cdot \cos\alpha\text{, mas}$$
$$F = \Delta q \cdot E \quad \text{e} \quad \alpha = 0 \ (\cos 0 = 1)\text{, então:}$$
$$\tau_E = \Delta q \cdot E \cdot d \cdot 1 \Rightarrow$$
$$\tau_E = \Delta q \cdot E \cdot d$$

Como vimos na relação entre campo e potencial, o produto $E \cdot d$ é igual à diferença de potencial, V, ao longo do deslocamento d. Logo, o trabalho do campo elétrico pode ser descrito assim:

$$\tau_E = \Delta q \cdot V$$

Sendo o trabalho a medida da energia, essa expressão permite o cálculo da energia gerada pelo campo elétrico. Aqui, no entanto, fica mais simples calcular a potência P desenvolvida nesse deslocamento. Como a potência é dada pela razão $\frac{\tau}{\Delta t}$, devemos levar em conta o intervalo de tempo $\Delta \mathbf{t}$ gasto pela carga $\Delta \mathbf{q}$ para efetuar esse deslocamento. Para isso, dividimos ambos os termos da expressão acima por $\Delta \mathbf{t}$. Temos então:

$$\frac{\tau_E}{\Delta t} = \frac{V \cdot \Delta q}{\Delta t}$$

Mas $\frac{\tau_E}{\Delta t} = P$ e, da definição de corrente elétrica, $\frac{\Delta q}{\Delta t} = i$. Logo:

$$\mathbf{P = V \cdot i}$$

Essa é a expressão da potência fornecida pelo campo elétrico à corrente elétrica i para que as cargas percorram dois pontos de um condutor entre os quais há uma diferença de potencial V.

Lembrando, ainda, a lei de Ohm, em que $V = R \cdot i$, podemos escrever:

$$\mathbf{P = R \cdot i^2}$$

Ou, ainda da lei de Ohm, sendo $i = \frac{V}{R}$, temos:

$$\mathbf{P = \frac{V^2}{R}}$$

Todas essas expressões permitem o cálculo da potência que uma corrente elétrica, percorrendo um condutor ou um resistor, transforma em calor. Em geral, as duas últimas expressões, nas quais aparece o valor da resistência R, são utilizadas para o cálculo da **potência dissipada**, porque o resistor a transforma em calor. Na realidade, como se vê, ela não é perdida, pois a transformação da energia elétrica em calor é largamente utilizada em inúmeros aparelhos elétricos e eletrodomésticos.

Voltemos agora à definição de potência aplicada ao trabalho realizado pelo campo elétrico,

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

Observe que, a partir dessa expressão, pode-se calcular o trabalho realizado pelo campo elétrico num resistor. Basta multiplicar a potência dissipada pelo intervalo de tempo, ou seja, $\tau_E = P \cdot \Delta t$. Como o trabalho é a medida da energia, $\tau_E = E$, essa expressão permite o cálculo da energia elétrica **E** consumida por um resistor:

$$\mathbf{E} = P \cdot \Delta t$$

Como vimos na Aula 14, as unidades de potência e energia do SI são o watt (W) e o joule (J). Na eletricidade, porém, usam-se ainda outras unidades. Para potência, é comum o uso de um múltiplo do watt, o **quilowatt (kW)**:

1 kW = 1.000 W

Para a medida da energia elétrica, a unidade mais utilizada é uma unidade mista, o **quilowatt-hora (kWh)**: 1 kWh corresponde à energia consumida por um aparelho de potência 1 kW durante 1 h.

Para transformar o quilowatt-hora em joule, unidade de energia do SI, basta transformar suas unidades componentes em unidades do SI. Temos assim:

$$1\ \text{kWh} = 1\ \text{kW} \cdot 1\ \text{h} \Rightarrow 1\ \text{kWh} = 1.000\ \text{W} \cdot 3.600\ \text{s} \Rightarrow 1\ \text{kWh} = 3.600.000\ \text{W s}$$

Mas W s = J, portanto:

$$\mathbf{1\ kWh = 3.600.000\ J \Rightarrow 1\ kWh = 3{,}6 \times 10^6\ J}$$

Passo a passo

7. Uma lâmpada de incandescência (lâmpada comum) tem as seguintes especificações impressas no seu bulbo de vidro: 220 V/60 W.

a) o que significam esses valores?
b) qual a corrente que percorre o filamento?
c) qual a energia que ela consome em um mês, admitindo-se que ela fica ligada 5 horas por dia? Dê a resposta em joules e quilowatts-hora.
d) qual a potência que essa lâmpada vai dissipar se for ligada em 110 V?

Solução:

a) Pelas unidades, podemos identificar as grandezas físicas envolvidas. Assim, 220 V é a diferença de potencial a que essa lâmpada deve ser ligada e 60 W é a potência que essa lâmpada consome **quando ligada naquela diferença de potencial**.

b) Lembrando a relação entre potência e corrente elétrica, $P = V \cdot i$, temos;

$$P = V \cdot i \Rightarrow i = \frac{P}{V} \Rightarrow i = \frac{60}{220}$$

$$\mathbf{i = 0{,}27\ A}$$

c) A energia elétrica consumida pela lâmpada pode ser calculada pela expressão $E = P \cdot \Delta t$. Para determinar a energia em joules é preciso utilizar as unidades no SI, ou seja, a potência em watts e o tempo em segundos. Como a potência já foi dada em watts, basta determinar o tempo, Δt, em segundos. Se a lâmpada fica ligada durante 30 dias, 5 horas por dia, e cada hora tem 3.600 segundos, o valor de Δt será:

$$\Delta t = 30 \cdot 5 \cdot 3.600 \Rightarrow \Delta t = 540.000\ \text{s}$$

Para calcular a energia, temos, portanto:

$$E = P \cdot \Delta t \Rightarrow E = 60 \cdot 540.000 \Rightarrow E = 32.400.000\ \text{J} \quad \text{ou}$$
$$\mathbf{E = 3{,}24 \times 10^7\ J}$$

Para determinar esse valor em quilowatts-hora podemos aplicar a mesma expressão, utilizando a potência em kW e o tempo em horas. Para transformar 60 kW em W, basta lembrar que 1 kW = 1000 W e que, portanto,

$$1\text{W} = \frac{1}{1.000}\text{kW}$$

Então: $P = 60W \Rightarrow P = 60 \cdot \dfrac{1}{1.000} kW \Rightarrow P = 0{,}06\ kW$

O intervalo de tempo Δt em horas é obtido facilmente. Como a lâmpada funciona 5 h por dia, em 30 dias temos:

$$\Delta t = 30 \cdot 5 \Rightarrow \Delta t = 150\ h$$

Aplicando agora a expressão da energia, obtemos:

$$E = P \cdot \Delta t \Rightarrow E = 0{,}06 \cdot 150$$
$$\mathbf{E = 9\ kWh}$$

Observe que o valor obtido em kWh é bem menor e mais prático do que o valor obtido em joules. É por essa razão que o quilowatt-hora é a unidade mais utilizada.

d) Para resolver esse item, vamos calcular o valor da resistência do filamento da lâmpada.

Para isso vamos utilizar a expressão: $P = \dfrac{V^2}{R}$

$$P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow R = \frac{V^2}{P} \Rightarrow R = \frac{220^2}{60} \Rightarrow R = 807\ \Omega$$

Admitindo que o valor da resistência não varie (o que, a rigor, **não é verdade**), aplicamos novamente a expressão da potência, mas agora utilizando o valor de 110 V para a diferença de potencial.

Teremos então: $P = \dfrac{V^2}{R} \Rightarrow \quad P = \dfrac{110^2}{807} \Rightarrow \mathbf{P = 15W}$

Observe que, embora a diferença de potencial tenha se reduzido apenas **à metade**, a potência dissipada pelo filamento tornou-se **quatro vezes menor**. Isso se explica porque a potência é proporcional $\mathbf{V^2}$, ou seja, ao **quadrado da diferença de potencial**.

8. Um fabricante de ebulidores (aparelho que se mergulha na água para esquentá-la) pretende colocar em seu aparelho uma resistência elétrica capaz de ferver 1 litro de água em 5 minutos. Suponha que esse aparelho vai ser utilizado ao nível do mar, em lugares onde a tensão (diferença de potencial) é de 127 V e temperatura ambiente é, em média, de 25 ºC. Qual o valor da resistência elétrica que ele deve usar?
Dados: densidade da água: 1,0 g/cm^3
calor específico da água: 1,0 cal/g × ºC
equivalente mecânico do calor: 1,0 cal = 4,2 J

Solução:

Inicialmente deve-se calcular a energia necessária para aquecer 1 litro de água de 25 ºC a 100 ºC (temperatura de ebulição da água ao nível do mar). Sabemos, pela termodinâmica, que essa energia é a quantidade de calor, Q, absorvida pela água, dada pela expressão $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$, onde:

m = 1.000g (massa de 1 litro de água, pois $1\ell = 1.000\ cm^3$ e a densidade da água é $1{,}0\ g/cm^3$)

c (calor específico da água) = $1{,}0\ cal/g\ ^{o}C$

$\Delta t = 100\ ^{o}C - 25\ ^{o}C = 75\ ^{o}C$

Então:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \Rightarrow Q = 1.000 \cdot 1{,}0 \cdot 75 \Rightarrow Q = 75.000\ cal$$

Mas 1,0 cal = 4,2 J. Portanto:

$$Q = 75.000\ cal \Rightarrow Q = 75.000 \cdot 4{,}2\ J \Rightarrow Q = 315.000\ J$$

Essa é a energia necessária para aquecer a água até a fervura. Essa energia corresponde ao trabalho do campo elétrico, τ_E. Portanto, a potência necessária para fornecer essa energia, num intervalo de tempo $\Delta t = 5\ min = 300\ s$, será:

$$P = \frac{\tau_E}{\Delta t} \Rightarrow P = \frac{315.000}{300} \Rightarrow P = 1.050\ W$$

Lembrando que a tensão local é V = 127 V , temos:

$$P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow R = \frac{V^2}{P} \Rightarrow R = \frac{127^2}{1.050}$$

$\mathbf{R = 15{,}4\ \Omega}$ (aproximadamente)

É interessante lembrar que a aproximação, aqui, não se refere apenas ao resultado da divisão. Ela está, também, relacionada ao fato de que, sendo uma resistência destinada ao aquecimento, seu valor varia com a temperatura.

Rendimento

Vamos repetir aqui um trechinho da nossa aula 14, em que falávamos de rendimento (o símbolo de rendimento será substituído aqui pela letra grega eta, η, porque o r minúsculo, utlilizado anteriormente, será usado para simbolizar outra grandeza). Sabemos que há carros que consomem menos combustível do que outros, e até que um mesmo carro, melhor regulado, pode consumir menos. Da mesma forma, uma lâmpada fluorescente ilumina mais do que uma lâmpada comum de mesma potência. Isso vale também para o organismo humano. Há pessoas que engordam mesmo comendo pouco, e outras que comem muito e não engordam. Em outras palavras, há máquinas que aproveitam melhor o combustível que consomem. Dizemos que essas máquinas têm um **rendimento** maior. Define-se o rendimento η de uma máquina pela razão entre a **potência útil**, $\mathbf{P_U}$, que ela fornece, e a **potência total**, $\mathbf{P_T}$, que ela consome, ou seja:

$$\eta = \frac{P_U}{P_T}$$

Pode-se escrever essa mesma expressão na forma de porcentagem. Teremos então:

$$\eta = \frac{P_U}{P_T} \cdot 100\%$$

Como já dissemos anteriormente, se uma máquina fosse perfeita, o que não existe, ela teria rendimento η **= 1,0** ou η **= 100%**, porque a potência útil seria igual à potência total: ela aproveitaria tudo o que consome. Isso não acontece porque toda máquina gasta parte da energia que recebe para o seu funcionamento. Além disso, sempre há perdas. É impossível, por exemplo, eliminar completamente o atrito, que acaba se transformando em calor. E o calor gerado por atrito raramente é o objetivo de uma máquina. Esse calor é, em geral, um efeito indesejável, mas inevitável. Por essa razão, o rendimento de qualquer máquina será sempre um valor menor que 1,0 ou que 100%."

Em relação aos aparelhos elétricos, todas essas afirmações são igualmente verdadeiras. Não há como evitar o efeito Joule que, com exceção dos aparelhos que baseiam seu funcionamento no aquecimento, provoca a perda de uma parcela substancial da energia. Nas lâmpadas de incandescência, por exemplo, 90% da energia fornecida à lâmpada são transformados em calor, ou seja, apenas 10% da energia consumida são transformados ou aproveitados sob a forma de luz. Portanto, o rendimento de uma lâmpada incandescente, no que se refere à energia luminosa que ela fornece, é de aproximadamente 10%. É importante lembrar que a potência que as usinas hidrelétricas nos fornecem é a potência total, e é por ela que pagamos a conta todo mês.

Passo a passo

9. Suponha que o ebulidor do exemplo anterior tenha um rendimento de 70%. Qual a potência total que esse ebulidor consome?

Solução:

O cálculo da potência do ebulidor estava relacionado ao trabalho que esse ebulidor **fornecia**, portanto o valor obtido de 1.050 W se refere à **potência útil**. Portanto P_U = 1.050 W. O rendimento é η = 70%, que pode também ser escrito como η = 0,7. Temos então:

$$\eta = \frac{P_U}{P_T} \Rightarrow P_T = \frac{P_U}{\eta} \Rightarrow P_T = \frac{1.050}{0,7} \Rightarrow P_T = 1.500\ \text{W}$$

$$\mathbf{P_T = 1.500\ W}$$

É interessante observar que, levando em conta o rendimento, a resistência do ebulidor, para fornecer os 1.050 W à água, tem de consumir 1.500 W. Nesse caso, o valor da resistência deve ser recalculado utilizando-se o valor da potência total, 1.500 W. Obtemos, então, aproximadamente, R = 10,8 Ω.

Você pode achar estranho que, para produzir uma potência **maior**, o valor da resistência elétrica seja **menor**. Isso acontece porque, nesse caso, a potência é **inversamente proporcional** à resistência.

Basta examinar a expressão $P = \dfrac{V^2}{R}$.

É fácil verificar que, para uma mesma diferença de potencial V, quanto menor a resistência R, maior será o valor da potência P.

Vimos nesta aula que a corrente elétrica que percorre um condutor depende da sua resistência elétrica. A resistência elétrica, por sua vez, depende das características desse condutor: comprimento, espessura (área de seção transversal) e resistividade do material de que é feito o condutor. Vimos ainda que o movimento da corrente elétrica no condutor dissipa calor – um fenômeno conhecido como efeito Joule, que dá nome à nossa aula. É esse calor que aquece a água nos chuveiros elétricos, faz brilhar o filamento das lâmpadas incandescentes e, às vezes, chega a “queimar” um fusível doméstico – ele esquenta tanto que derrete. Foi o que ocorreu na nossa história do banho interrompido.

PARA TERMINAR

Nesta aula você aprendeu:

- a lei de Ohm e a definir resistência elétrica;
- o que são resistores lineares e não lineares;
- como se associam os resistores, em série e em paralelo;
- o que é o efeito Joule e qual o rendimento de dispositivos elétricos.

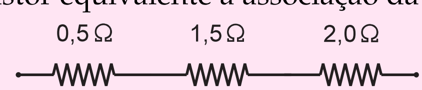
Mas restam ainda muitas perguntas sem resposta. Não sabemos ainda de onde vem a corrente elétrica – como ela é produzida? Como ela circula ou se movimenta ? E, principalmente, não sabemos ainda por que na casa dos nossos amigos não se pode tomar banho com a televisão ligada... Esses serão os assuntos das nossas próximas aulas.

Mãos à obra

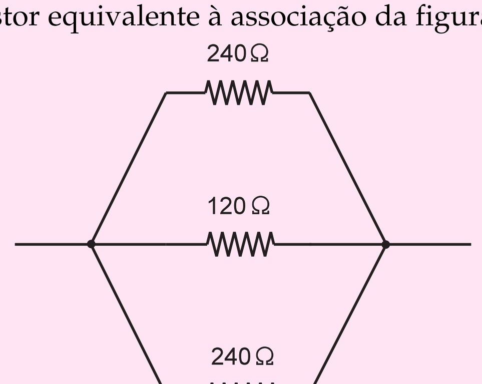
Exercício 1
Um fio condutor, ligado a uma diferença de potencial de 6 V, é percorrido por uma corrente elétrica de 1,5 A. Qual a resistência elétrica desse fio?

Exercício 2
Determine a resistência elétrica de um fio de alumínio de 25 m de comprimento e 0,75 mm^2 de área de seção transversal. Veja a resistividade do alumínio na tabela da página 165.

Exercício 3
Determine o resistor equivalente à associação da figura abaixo.

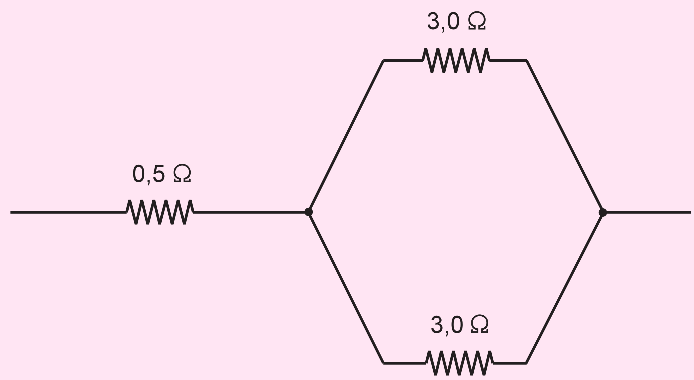


Exercício 4
Determine o resistor equivalente à associação da figura abaixo.



Exercício 5

Determine o resistor equivalente à associação da figura abaixo.



Exercício 6

Uma lâmpada de incandescência (lâmpada comum) tem as seguintes especificações impressas no seu bulbo de vidro: 110 V/40 W.

a) o que significam esses valores?

b) qual a corrente que percorre o filamento?

c) qual a energia que ela consome em um mês, admitindo-se que ela fica ligada 5 horas por dia? Dê a resposta em joules e quilowatts-hora.

d) qual a potência que essa lâmpada vai dissipar se for ligada em 127V, supondo que a sua resistência permaneça constante?

Exercício 7

Um fabricante de ebulidores pretende colocar no seu aparelho uma resistência elétrica capaz de ferver 1 litro de água em 2 minutos. Suponha que esse aparelho vai ser utilizado ao nível do mar, em lugares onde a tensão (diferença de potencial) é de 220 V e a temperatura ambiente é, em média, de 20 ºC. Qual o valor da resistência elétrica que ele deve usar?

Dados: densidade da água: 1,0 g/cm^3
calor específico da água: 1,0 cal/g ºC
equivalente mecânico do calor: 1,0 cal = 4,2 J

Exercício 8

Suponha que o ebulidor do exercício 7 tenha um rendimento de 80%. Pede-se:

a) qual a potência total que esse ebulidor consome?

b) qual deveria ser o valor da resistência, nessas condições?