

Medidas elétricas

O multímetro é um dispositivo que pode operar como amperímetro ou voltímetro e, dependendo do modelo, até como ohmímetro.

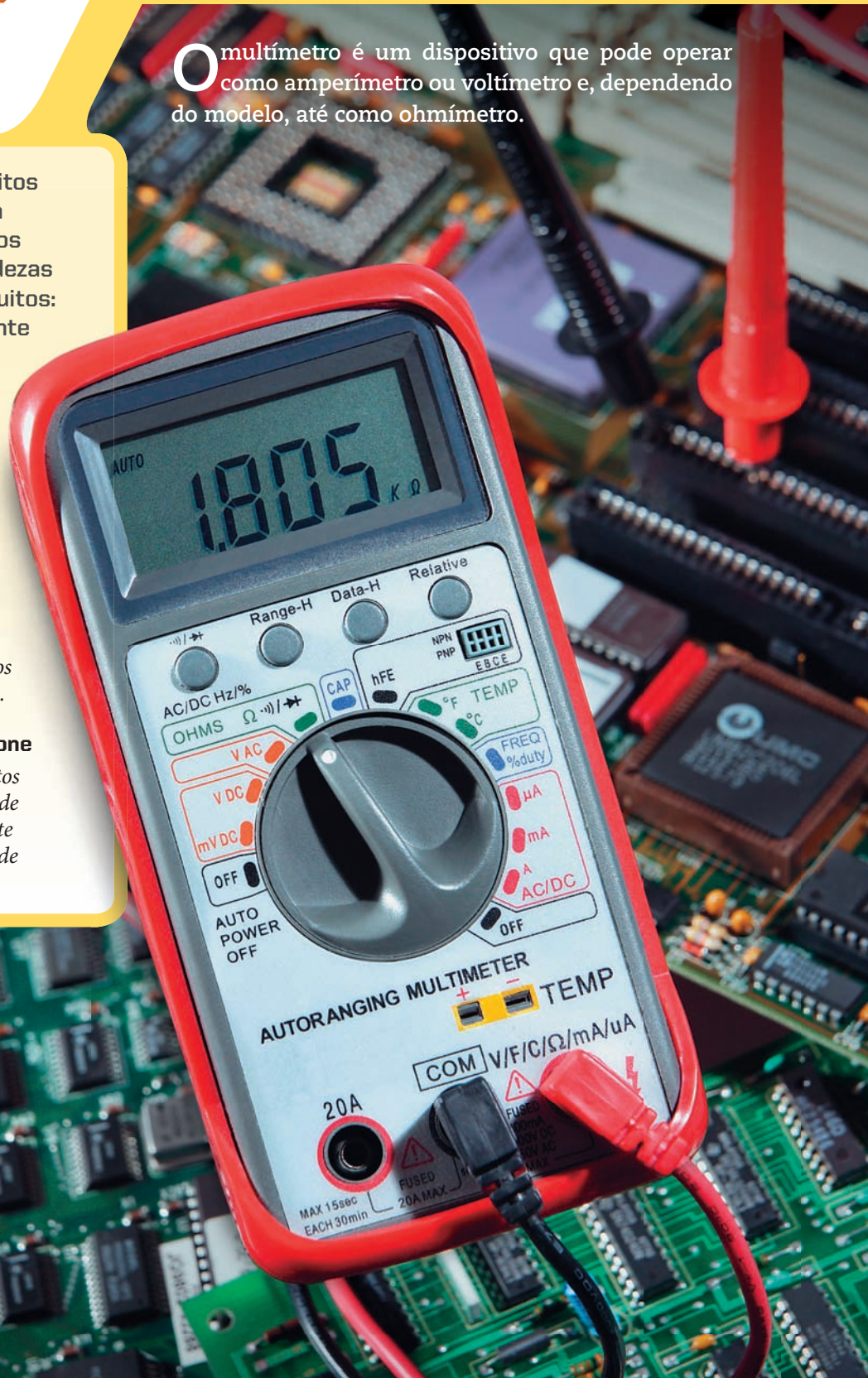
Ao trabalhar com circuitos elétricos, é frequente a necessidade de medir os valores de várias grandezas envolvidas nesses circuitos: a intensidade da corrente elétrica, a diferença de potencial e a resistência elétrica de resistores.

▶ 8.1 O galvanômetro

O galvanômetro é o aparelho básico para a realização de medidas em circuitos elétricos. Os amperímetros e voltímetros são construídos a partir de galvanômetros.

▶ 8.2 Ponte de Wheatstone

Os ohmímetros são circuitos utilizados para a medida de resistência elétrica. A ponte de Wheatstone é um tipo de ohmímetro.



O galvanômetro

Objetivos

▶ Analisar os métodos usuais para medir intensidade de corrente elétrica e ddp.

▶ Conhecer o funcionamento dos galvanômetros, dos amperímetros e dos voltímetros.

Termos e conceitos

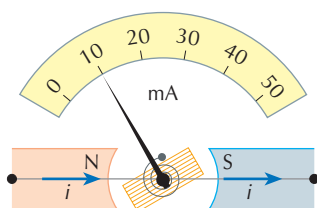
• corrente de fundo de escala

• *shunt*

• resistência multiplicadora

O aparelho básico das medidas em circuitos elétricos é o **galvanômetro**. Seu funcionamento baseia-se nos efeitos da corrente elétrica; os mais comuns funcionam segundo o efeito magnético da corrente elétrica, que veremos no Eletromagnetismo.

Na **figura 1**, a corrente elétrica de intensidade i , percorrendo um condutor dentro de um campo magnético, causado pelo ímã N – S, origina forças. Estas, agindo sobre um sistema móvel, deslocam um ponteiro sobre uma escala graduada. O **valor máximo da intensidade de corrente elétrica** que percorre o galvanômetro é denominado **corrente de fundo de escala**. Os galvanômetros medem correntes elétricas de pequena intensidade. Na **figura 1**, a corrente de fundo de escala vale 50 mA. Os aparelhos capazes de medir intensidades de corrente elétrica maiores denominam-se **amperímetros**. Do ponto de vista da Eletrodinâmica, esses aparelhos comportam-se como resistores.



◀ **Figura 1.** Os galvanômetros funcionam com base no efeito magnético da corrente.



▶ Galvanômetro.

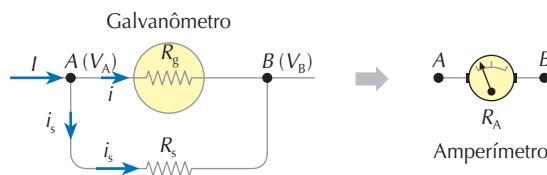
1 Amperímetros

Num galvanômetro, pequenas intensidades de corrente elétrica são suficientes para que o ponteiro se desloque do zero à outra extremidade da graduação (fundo de escala). O aparelho será danificado se a corrente elétrica tiver intensidade maior que o valor do fundo de escala. Por exemplo, o galvanômetro da **figura 1** não pode medir correntes de intensidade superior a 50 mA.

Para **que possa medir correntes elétricas mais intensas**, o galvanômetro (de resistência R_g) deve ser associado a um resistor de pequena resistência elétrica R_s denominado **shunt***, em paralelo, conforme a **figura 2**. Assim, grande parte da corrente elétrica I que se quer medir desvia-se para o *shunt*, não danificando o aparelho.

O conjunto constituído pelo galvanômetro de resistência elétrica R_g e o *shunt* é um **amperímetro**. A resistência elétrica do amperímetro é

$$R_A = \frac{R_g R_s}{R_g + R_s} \text{ e a ddp em seus terminais é } V_A - V_B = R_A \cdot I.$$



▶ **Figura 2.**

* *Shunt* (em inglês) = desvio.

Por exemplo, se a intensidade de corrente elétrica a ser medida é $I = 5,0 \text{ A}$ e a intensidade de corrente de fundo de escala do galvanômetro é $i = 50 \text{ mA} = 0,050 \text{ A}$, deve-se escolher um *shunt* tal que no galvanômetro só passe $0,050 \text{ A}$.

Pelo *shunt* passa a corrente $i_s = I - i = 5,0 \text{ A} - 0,050 \text{ A} = 4,95 \text{ A}$.

Podemos, então, obter o **fator de multiplicação do *shunt***, indicado por n , pela relação:

$$\frac{I}{i} = n$$

No exemplo:

$$n = \frac{I}{i} = \frac{5,0}{0,050} = 100$$

Na prática, esse fator pode ser obtido em função de R_g e R_s , como segue. Estando o galvanômetro de resistência elétrica R_g em paralelo com o *shunt*, temos:

$$V_A - V_B = R_g \cdot i = R_s \cdot i_s \Rightarrow R_g \cdot i = R_s(I - i) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I - i = \frac{R_g \cdot i}{R_s} \Rightarrow I = i \cdot \left(1 + \frac{R_g}{R_s}\right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{I}{i} = 1 + \frac{R_g}{R_s} \Rightarrow n = 1 + \frac{R_g}{R_s}$$

No exemplo, $n = 100$ e, portanto, $\frac{R_g}{R_s} = 99$, isto é, a resistência elétrica do *shunt* é $\frac{1}{99}$ da

resistência elétrica do galvanômetro.

Um mesmo amperímetro pode ser dotado de um jogo de *shunts* convenientes e servir para várias escalas de intensidade de corrente elétrica. A escala variará de acordo com o valor da resistência do *shunt*.

Na **figura 3**, o amperímetro consta de vários *shunts* e de uma chave, que pode ser colocada em três valores para o fator de multiplicação dos *shunts*. Com a chave no fator 10, estaremos utilizando a escala de 0 A a 30 A . Consegue-se, então, medir diversas intensidades de corrente elétrica com um único amperímetro.



◀ **Figura 3.** Amperímetro de escala múltipla.

Os amperímetros devem ser colocados em série no ramo onde se pretende medir a intensidade de corrente elétrica (fig. 4). Ocorre que, funcionando como um resistor, o circuito irá modificar-se e a corrente elétrica não será igual àquela antes da introdução do amperímetro. Para reduzir ao mínimo essas modificações, a resistência elétrica do amperímetro deve ser pequena em relação às resistências do circuito.

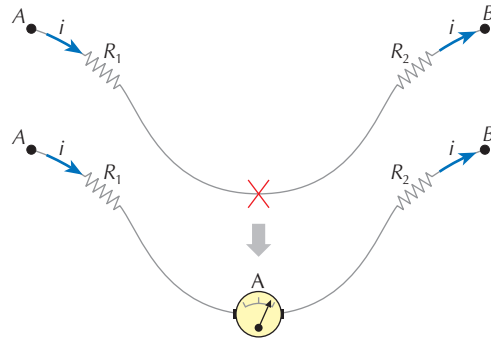


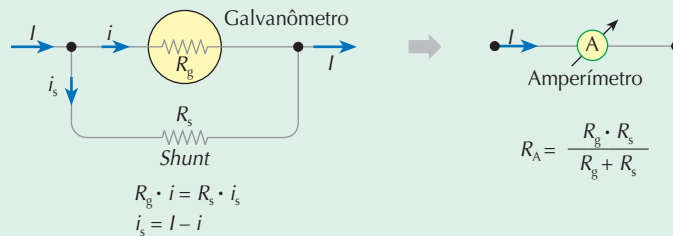
Figura 4. Para medir a intensidade da corrente elétrica i no ramo AB , deve-se colocar o amperímetro em série no ramo, de modo que seja atravessado pela corrente i .

Amperímetro ideal é aquele cuja resistência elétrica é nula.

Quando a resistência elétrica do amperímetro é pequena em relação às resistências do circuito, o amperímetro é considerado ideal.

Resumindo:

Um **amperímetro** é, portanto, um aparelho constituído por um galvanômetro ao qual se associa em paralelo um resistor de resistência elétrica baixa R_s , denominado **shunt**.



$$R_A = \frac{R_g \cdot R_s}{R_g + R_s}$$

O amperímetro é **colocado em série** com o elemento de circuito cuja intensidade de corrente elétrica se quer medir.

2 Voltímetros

O **voltímetro**, aparelho utilizado para medir ddp, é construído associando-se em série a um galvanômetro um resistor de resistência elevada R_M , denominado **multiplicador**, conforme mostra a figura 5.

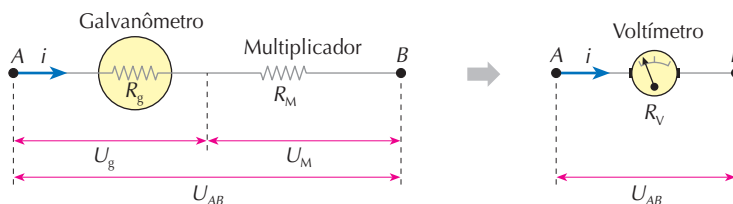


Figura 5. A faixa de medição do galvanômetro é ampliada com a associação da resistência multiplicadora.

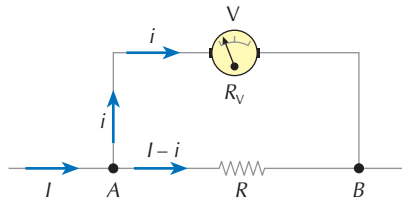
A resistência elétrica do voltímetro é $R_V = R_g + R_M$.

Estando o galvanômetro e o multiplicador em série, resulta: $i = \frac{U_g}{R_g} = \frac{U_M}{R_M} \Rightarrow U_M = \frac{U_g R_M}{R_g}$

$$\text{Sendo } U_{AB} = U_g + U_M, \text{ vem: } U_{AB} = U_g + \frac{U_g \cdot R_M}{R_g} \Rightarrow U_{AB} = U_g \cdot \left(1 + \frac{R_M}{R_g}\right)$$

Para medir a ddp entre os terminais A e B de um resistor de resistência R , ligamos o voltímetro **em paralelo**, conforme mostra a **figura 6**. A corrente I divide-se no nó A e a ddp U_{AB} é a mesma no resistor e no voltímetro:

$$U_{AB} = R_V \cdot i = R[I - i] \Rightarrow R_V \cdot i = R \cdot I - R \cdot i$$



◀ **Figura 6.** Para medir a ddp entre os terminais do resistor, deve-se colocar o voltímetro em paralelo com o resistor, de modo que seja submetido à mesma ddp a ser medida.

O produto $R_V \cdot i$ representa a ddp U_{AB} quando o voltímetro é ligado, e será denominado **valor lido** (V_{lido}). O produto $R \cdot I$ representa o **valor exato** (V_{exato}) da ddp U_{AB} antes da introdução do aparelho de medida.

Da fórmula anterior, temos: $V_{\text{lido}} = V_{\text{exato}} - R \cdot i$

Com base nessa fórmula, o valor lido no aparelho é tanto mais próximo do valor exato quanto menor a corrente elétrica desviada para o voltímetro. Esse efeito é obtido com uma resistência elétrica elevada do voltímetro, condição em que o valor da corrente i se torna desprezível ($i \approx 0$ e, portanto, $R \cdot i \approx 0$).

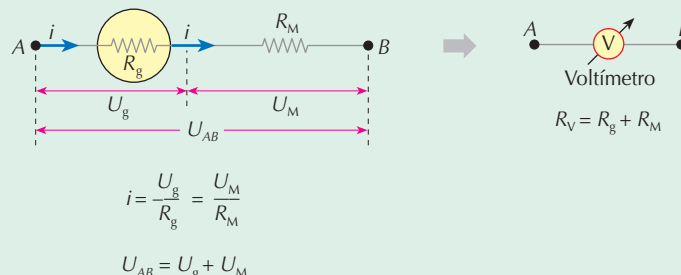
Então: $V_{\text{lido}} = V_{\text{exato}}$

Voltímetro ideal é aquele cuja resistência elétrica é infinita.

Quando a resistência elétrica do voltímetro é enorme em relação às resistências do circuito, o voltímetro é considerado ideal. A escala do voltímetro é graduada diretamente em volts.

Resumindo:

Um voltímetro é, portanto, um aparelho constituído por um galvanômetro ao qual se associa em série um resistor de **resistência elétrica** elevada R_M , podendo ultrapassar 10.000 Ω .



O voltímetro é **colocado em paralelo** com o trecho de circuito onde se quer medir a ddp.

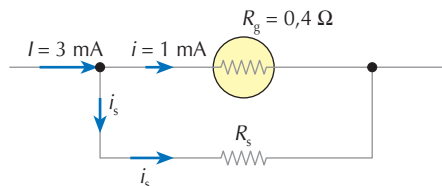
Entre na rede No endereço eletrônico <http://www.ngsir.netfirms.com/englishhtm/Meter.htm> (acesso em julho/2009), você pode realizar simulações para verificar como funciona o *shunt* de um amperímetro e o multiplicador de um voltímetro.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

- R. 71** Um galvanômetro de resistência $0,4 \Omega$ e fundo de escala 1 mA deve ser usado para medir intensidades de corrente elétrica até 3 mA . Calcule a resistência elétrica do *shunt* necessário.

Solução:

O *shunt* é ligado em paralelo com o galvanômetro.



Sendo a intensidade da corrente elétrica máxima $i = 1 \text{ mA}$ no galvanômetro, e querendo-se usá-lo para medir até $I = 3 \text{ mA}$, pelo *shunt* deve passar:

$$i_s = I - i \Rightarrow i_s = 3 \text{ mA} - 1 \text{ mA} \Rightarrow i_s = 2 \text{ mA}$$

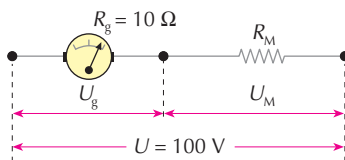
Estando o galvanômetro e o *shunt* associados em paralelo:

$$U = R_g \cdot i = R_s \cdot i_s \Rightarrow 0,4 \cdot 1 = R_s \cdot 2 \Rightarrow R_s = 0,2 \Omega$$

Resposta: $0,2 \Omega$

- R. 72** Deseja-se transformar um galvanômetro de resistência elétrica 10Ω e fundo de escala 10 mA em um voltímetro para medir até 100 V . Calcule o valor da resistência multiplicadora em série que se deve usar.

Solução:



A ddp no galvanômetro será $U_g = R_g \cdot i$.

Sendo $R_g = 10 \Omega$ e $i = 10 \text{ mA} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ A}$, vem:

$$U_g = 10 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \Rightarrow U_g = 10^{-1} \text{ V} \Rightarrow U_g = 0,1 \text{ V}$$

Na resistência R_M em série, a ddp U_M será:

$$U_M = U - U_g \Rightarrow U_M = 99,9 \text{ V}$$

Pela lei de Ohm, temos:

$$R_M = \frac{U_M}{i} \Rightarrow R_M = \frac{99,9}{10 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow R_M = 99,9 \cdot 10^2 \Rightarrow R_M = 9.990 \Omega$$

Resposta: 9.990Ω

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

- P. 175** Tem-se um galvanômetro de resistência elétrica 10Ω e fundo de escala 50 mA . Quer-se adaptar esse galvanômetro para medir intensidades de corrente elétrica até $1,0 \text{ A}$. Calcule o valor da resistência *shunt* a ser utilizada e a resistência do conjunto (galvanômetro “shuntado”).

- P. 176** Tem-se um galvanômetro de resistência elétrica 100Ω e fundo de escala 5 mA . Quer-se utilizar esse aparelho como voltímetro que permita medir até 100 V . Calcule o valor da resistência multiplicadora em série que se deve associar.

Objetivo

► Conhecer o funcionamento da ponte de Wheatstone.

Termos e conceitos

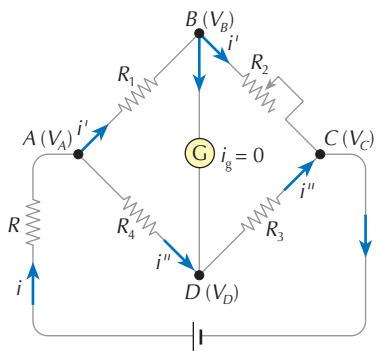
- ohmímetros
- ponte de Wheatstone

Assim como se mede a corrente elétrica com um amperímetro e a ddp com um voltímetro, constroem-se circuitos para a medida da resistência elétrica, genericamente chamados de **ohmímetros**. Um dos circuitos mais usados é denominado **ponte de Wheatstone***, cujo esquema convencional está indicado na **figura 7**, onde quatro resistores estão dispostos segundo os lados de um losango. Sejam R_1 a resistência a ser medida, R_2 um reostato, e R_3 e R_4 resistores dos quais se conhecem as resistências ou, pelo menos, a razão entre elas. Dois nós do losango (A e C) são ligados ao circuito que contém o gerador. Aos outros dois nós (B e D) está ligado o galvanômetro G .

O esquema é chamado **ponte** porque o galvanômetro estabelece uma ponte de ligação entre os dois ramos paralelos, ABC e ADC .

Ajusta-se o valor de R_2 de modo que o **galvanômetro não acuse passagem de corrente elétrica** ($i_g = 0$). A **ponte** está, então, em **equilíbrio** e os pontos B e D têm o **mesmo potencial** ($V_B = V_D$). Daí:

$$V_A - V_B = V_A - V_D \text{ e } V_B - V_C = V_D - V_C$$



◀ **Figura 7.** Esquema convencional da ponte de Wheatstone.

A corrente elétrica i' , que passa por R_1 , também passa por R_2 ; a corrente elétrica i'' , que passa por R_4 , também passa por R_3 . Pela lei de Ohm:

$$V_A - V_B = R_1 \cdot i'$$

$$V_A - V_D = R_4 \cdot i''$$

$$V_B - V_C = R_2 \cdot i'$$

$$V_D - V_C = R_3 \cdot i''$$

Igualando as ddps, obtemos:

$$R_1 \cdot i' = R_4 \cdot i'' \text{ e } R_2 \cdot i' = R_3 \cdot i''$$

Dividindo membro a membro, vem:

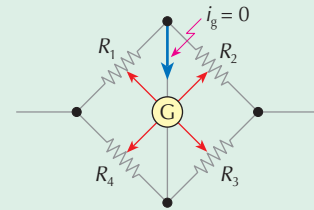
$$\frac{R_1 \cdot i'}{R_2 \cdot i'} = \frac{R_4 \cdot i''}{R_3 \cdot i''} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3} \Rightarrow R_1 R_3 = R_2 R_4$$

* **WHEATSTONE**, Charles (1802-1875), físico inglês, realizou trabalhos sobre Acústica e Óptica, porém é mais conhecido por ter idealizado o esquema de ponte que permitiu a medida precisa de uma resistência elétrica.

Resumindo:

Em uma ponte de Wheatstone, em equilíbrio, são iguais os produtos das resistências opostas:

$$R_1 R_3 = R_2 R_4$$



◀ O circuito da figura foi montado com cinco lâmpadas iguais. Explique por que a lâmpada central permanece apagada.

Em laboratórios, a ponte de Wheatstone é empregada sob a forma conhecida como **ponte de fio (fig. 8)**. Substituem-se os resistores R_3 e R_4 por um fio homogêneo de seção transversal constante, sobre o qual se apoia um cursor ligado ao galvanômetro; o cursor realiza o equilíbrio em posição conveniente. A resistência R_2 é fixa, sendo denominada **resistência de comparação**.

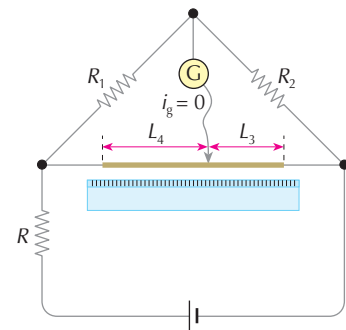
Tem-se $R_1 R_3 = R_2 R_4$.

Sendo $R_3 = \rho \cdot \frac{L_3}{A}$ e $R_4 = \rho \cdot \frac{L_4}{A}$, vem:

$$R_1 \cdot \rho \cdot \frac{L_3}{A} = R_2 \cdot \rho \cdot \frac{L_4}{A}$$

Portanto:

$$R_1 L_3 = R_2 L_4 \quad \text{ou} \quad R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{L_4}{L_3} \right)$$



▶ Figura 8.

É importante notar que não influem na propriedade da ponte o gerador e as resistências (R) que formam o circuito de alimentação da ponte de Wheatstone.

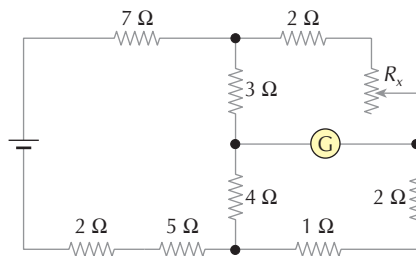
Entre na rede No endereço eletrônico <http://br.geocities.com/saladefisica3/laboratorio/wheatstone/wheatstone.htm> (acesso em julho/2009), variando a resistência de um reostato, você consegue o equilíbrio de uma ponte de Wheatstone. No endereço eletrônico http://www.walter-fendt.de/ph14e/wheatstone_e.htm (acesso em julho/2009), você encontra uma simulação da ponte de fio.

Reprodução proibida. Art.184. do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



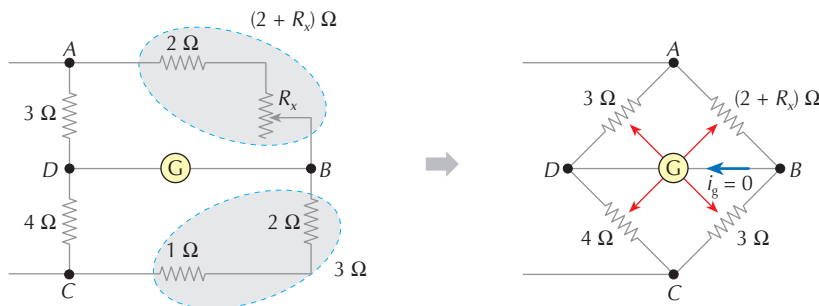
EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

R. 73 Dado o circuito da figura, calcule o valor da resistência variável R_x , para o qual o galvanômetro G indica zero.



Solução:

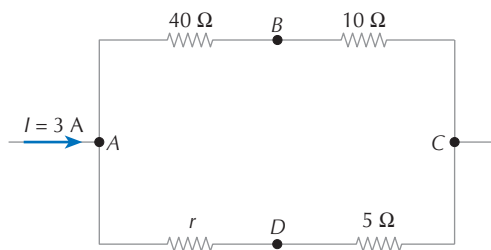
Considerando apenas a ponte de Wheatstone, temos:



Sendo $i_g = 0$, decorre: $(2 + R_x) \cdot 4 = 3 \cdot 3 \Rightarrow 8 + 4R_x = 9 \Rightarrow 4R_x = 1 \Rightarrow R_x = 0,25 \Omega$

Resposta: 0,25 Ω

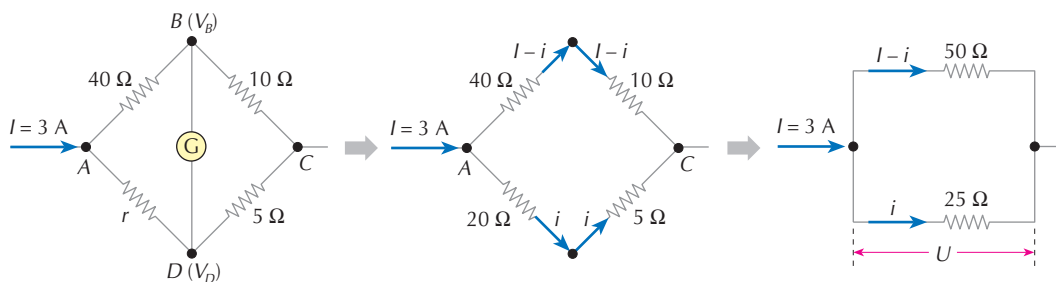
R. 74 No circuito da figura ao lado, o potencial do ponto B é igual ao potencial do ponto D. A intensidade de corrente elétrica que entra no circuito pelo ponto A é $I = 3 \text{ A}$. Calcule a potência dissipada no resistor r .



Solução:

Sendo $V_B = V_D$, um galvanômetro colocado entre B e D indicará $i_g = 0$ e resultará no esquema da ponte de Wheatstone:

$$40 \cdot 5 = 10r \Rightarrow r = \frac{200}{10} \Rightarrow r = 20 \Omega$$



Como a ddp é a mesma, vem:

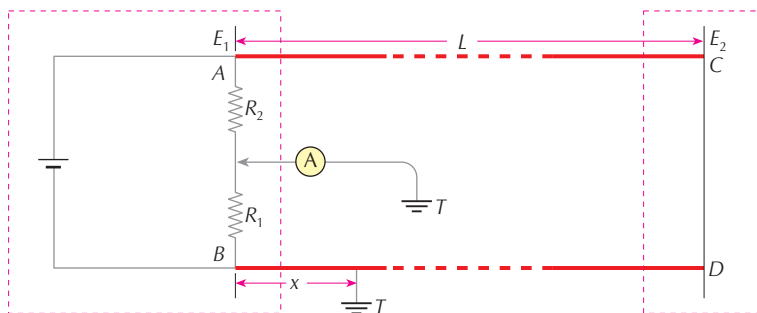
$$U = 25 \cdot i = 50 \cdot (3 - i) \Rightarrow i = 2 \text{ A}$$

No resistor r , temos:

$$\text{Pot} = r \cdot i^2 \Rightarrow \text{Pot} = 20 \cdot (2)^2 \Rightarrow \text{Pot} = 80 \text{ W}$$

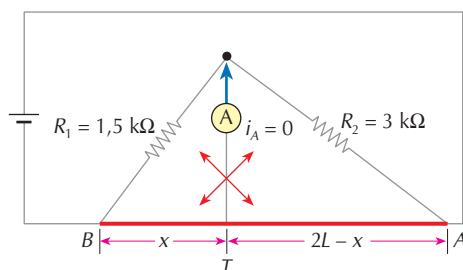
Resposta: 80 W

- R. 75** Uma linha telefônica constituída por um par de fios idênticos liga entre si as estações E_1 e E_2 , distantes $L = 30$ km. Em determinado ponto, a linha está defeituosa, com um dos fios fazendo contato com a terra. Para localizar o defeito, efetuou-se a ligação esquematizada na figura a seguir, curto-circuitando C e D na estação E_2 e ajustando o cursor, de modo que o amperímetro A, na estação E_1 , não indique passagem de corrente. As ligações com a terra são excelentes, isto é, equivalentes à introdução no circuito de uma resistência elétrica nula. Sendo $R_1 = 1,5$ k Ω e $R_2 = 3$ k Ω , calcule a distância x do ponto de defeito à estação E_1 .



Solução:

O esquema pode ser modificado, conforme a figura abaixo, resultando numa ponte de fio.

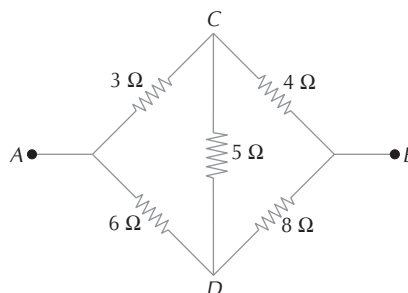


Como $i_A = 0$, segue:

$$R_1 \cdot (2L - x) = R_2 \cdot x \Rightarrow 1,5 \cdot (2 \cdot 30 - x) = 3x \Rightarrow 60 - x = 2x \Rightarrow 60 = 3x \Rightarrow \boxed{x = 20 \text{ km}}$$

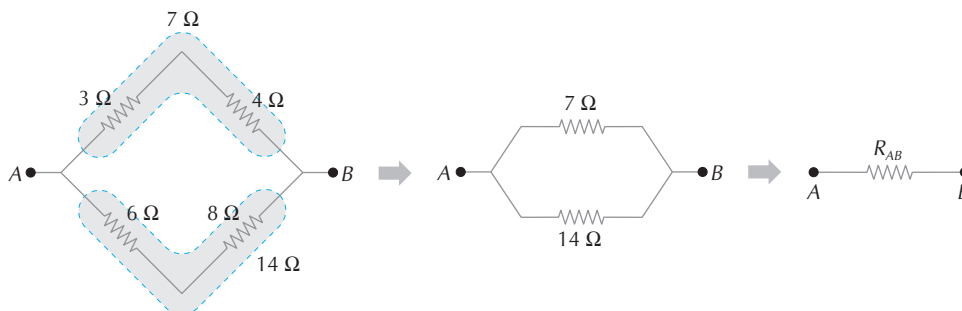
Resposta: 20 km

- R. 76** Dada a associação na figura ao lado, calcule a resistência elétrica equivalente entre os pontos A e B.



Solução:

Observando os produtos das resistências opostas: $3 \cdot 8 = 4 \cdot 6$, concluímos que $V_C = V_D$. Então, não passa corrente elétrica no resistor de 5 Ω , que pode ser excluído do esquema, ficando:



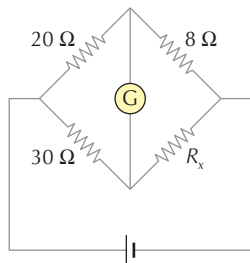
$$R_{AB} = \frac{7 \cdot 14}{7 + 14} \Rightarrow R_{AB} = \frac{98}{21} \Rightarrow \boxed{R_{AB} \approx 4,7 \Omega}$$

Resposta: $\approx 4,7 \Omega$

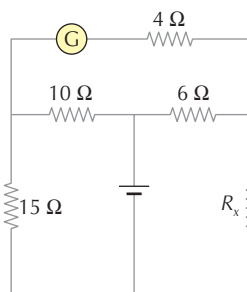
EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 177 Nos circuitos das figuras abaixo, o galvanômetro G indica zero. Calcule o valor da resistência elétrica R_x .

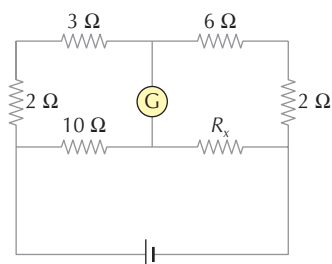
(I)



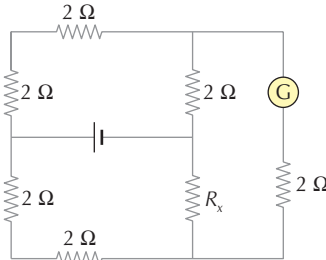
(III)



(II)

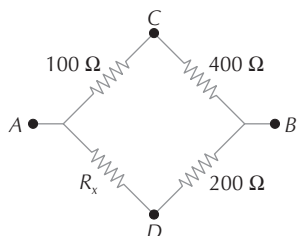


(IV)

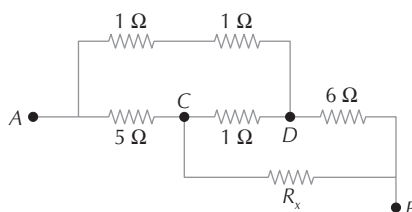


P. 178 Nos trechos das figuras, os pontos A e B têm potenciais diferentes. Para que o potencial do ponto C seja igual ao do ponto D, qual o valor da resistência elétrica R_x ?

(I)

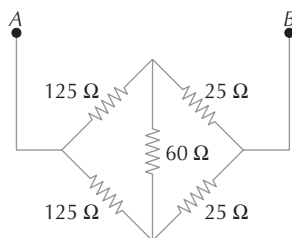


(II)

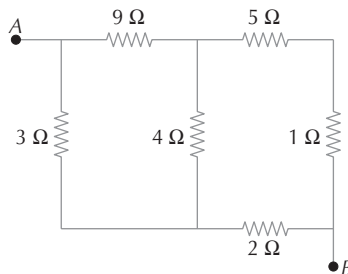


P. 179 Dadas as associações na figura, calcule a resistência equivalente entre os pontos A e B.

(I)



(II)



O multímetro

Para os eletricitistas é muito útil possuir um único aparelho que lhes permita fazer medidas de ddp, de correntes e de resistências elétricas. Tal aparelho existe e é denominado **multímetro**. Temos então, num único aparelho, um voltímetro, um amperímetro e um ohmímetro.

Geralmente o multímetro deve ser usado com cuidado, possuindo uma chave seletora cuja posição determina a grandeza a ser medida ou uma série de orifícios onde devem ser introduzidos os pinos de ligação. Cada um dos medidores costuma ter mais de um fundo de escala, conforme a ordem de grandeza do valor a ser medido.



Existem vários modelos de multímetro: o da esquerda é um multímetro de ponteiro (analógico) e o da direita é um multímetro digital.

Entre na rede No endereço eletrônico <http://www.phy.ntnu.edu.tw/oldjava/portuguese/simulacoes.html> (acesso julho/2009), você pode realizar simulações com a introdução de um multímetro em um circuito elétrico.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS DE RECAPITULAÇÃO

P. 180 (EEM-SP) É dado um galvanômetro de resistência interna $0,25 \text{ ohm}$ que se funde quando por ele passa uma corrente maior do que $0,15 \text{ A}$.

- Explique o que se deve fazer para se poder utilizar esse galvanômetro na medida de uma corrente de $5,0 \text{ A}$.
- Faça o esquema da ligação correspondente.

P. 181 (Faap-SP) Um galvanômetro que mede correntes de 0 a $1,0 \text{ mA}$ tem resistência de $40 \text{ } \Omega$. Como esse galvanômetro pode ser usado para medir correntes de 0 a $1,0 \text{ A}$?

P. 182 (FEI-SP) Um galvanômetro tem resistência interna $R_g = 2,5 \text{ k}\Omega$ e pode medir diretamente intensidades de corrente até $50 \text{ } \mu\text{A}$. Como devemos adaptar esse galvanômetro para medir tensões de até 20 V ?

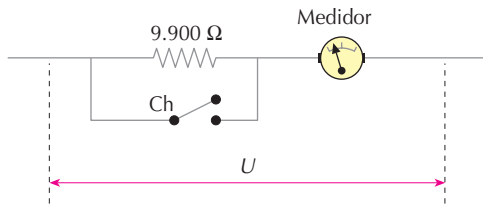
- P. 183** (Efei-MG) Um amperímetro, cuja resistência elétrica é $9,9 \text{ } \Omega$ quando usado para medir até 5 A , deve ser equipado com uma resistência *shunt* de $0,1 \text{ } \Omega$.
- Calcule a corrente de fundo de escala desse aparelho.
 - Que resistência deveria ser usada e como ela deveria ser ligada, caso esse amperímetro fosse empregado como voltímetro para medir até 50 V ?



P. 184 (Vunesp) Um medidor de corrente comporta-se, quando colocado num circuito elétrico, como um resistor. A resistência desse resistor, denominada resistência interna do aparelho, pode, muitas vezes, ser determinada diretamente a partir de dados (especificações) impressos no aparelho. Suponha, por exemplo, que num medidor comum de corrente, com ponteiro e escala graduada, constem as seguintes especificações:

- corrente de fundo de escala, isto é, corrente máxima que pode ser medida: $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ A}$ (1,0 mA);
- tensão a que deve ser submetido o aparelho, para que indique a corrente de fundo de escala: $1,0 \cdot 10^{-1} \text{ V}$ (100 mV).

- Qual o valor da resistência interna desse aparelho?
- Como, pela lei de Ohm, a corrente no medidor é proporcional à tensão nele aplicada, esse aparelho pode ser usado, também, como medidor de tensão, com fundo de escala 100 mV. Visando medir tensões maiores, associou-se-lhe um resistor de 9.900 ohms, como mostra a figura.

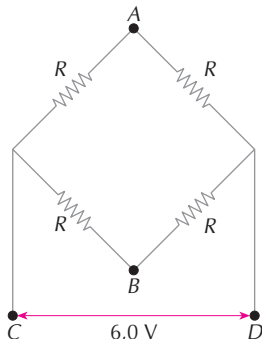


Assim, quando a chave Ch está fechada, é possível medir tensões até 100 mV, o que corresponde à corrente máxima de 1,0 mA pelo medidor, conforme consta das especificações. Determine a nova tensão máxima que se poderá medir, quando a chave Ch estiver aberta.

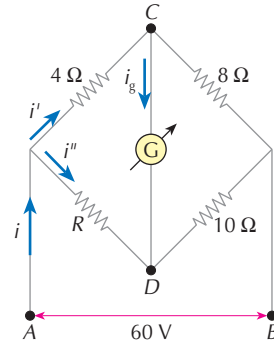
P. 185 (UFF-RJ) Um amperímetro tem uma resistência de $39,8 \Omega$ e sua agulha desvia-se de uma divisão quando ele é atravessado por uma corrente de 1 mA. Dispõe-se de duas resistências, $R_1 = 0,2 \Omega$ e $R_2 = 60,2 \Omega$. Associando-se adequada e separadamente essas duas resistências ao amperímetro, transformamo-lo em um voltímetro que registra x divisões por volt ou em outro amperímetro que registra y divisões por ampère. Calcule os valores de x e y .

P. 186 (Fuvest-SP) No circuito, o gerador, que mantém entre os pontos C e D uma tensão constante de 6,0 V, alimenta quatro resistências, em paralelo duas a duas. Cada uma das resistências vale $R = 2,0 \Omega$.

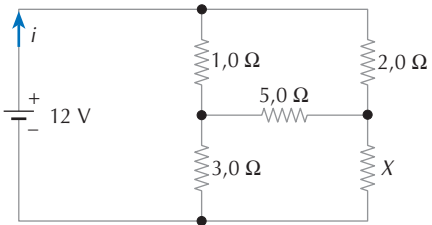
- Qual o valor da tensão entre os pontos A e B?
- Qual o valor da corrente que passa pelo ponto A?



P. 187 A ponte de Wheatstone indicada na figura está em equilíbrio. Determine R , i_g , i' , i'' e i .

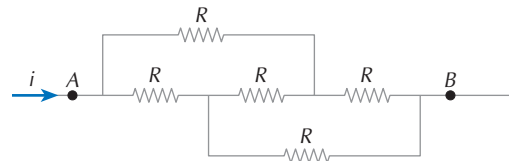


P. 188 (Unicamp-SP) No circuito da figura, a corrente elétrica na resistência de $5,0 \Omega$ é nula.

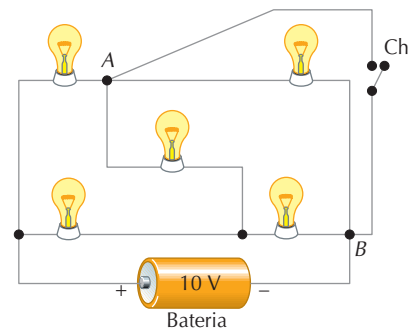


- Determine o valor da resistência X.
- Qual a intensidade i da corrente que atravessa o gerador?

P. 189 Para o circuito da figura determine a ddp entre os pontos A e B. Sabe-se que $i = 2,0 \text{ A}$ e $R = 10 \Omega$.



P. 190 (UFRJ) Cinco lâmpadas idênticas, que podem ser consideradas como resistores ideais de 10 ohms cada uma, estão ligadas a uma bateria de 10 volts, como é mostrado na figura abaixo. O circuito possui também uma chave Ch que, quando fechada, estabelece um curto-circuito entre os pontos A e B.



- Calcule:
- a corrente que passa pela lâmpada ou lâmpadas de maior brilho quando Ch está aberta;
 - a corrente que passa pela lâmpada ou lâmpadas com a segunda maior intensidade de brilho quando Ch está fechada.



P. 191 Mede-se a resistência elétrica R_1 de um resistor, com a ponte de Wheatstone de fio, em que este tem 1 m de comprimento. A resistência de comparação é de 50Ω e o equilíbrio da ponte se dá estando o cursor a 80 cm da extremidade do fio, que fica ao lado do resistor. Determine:

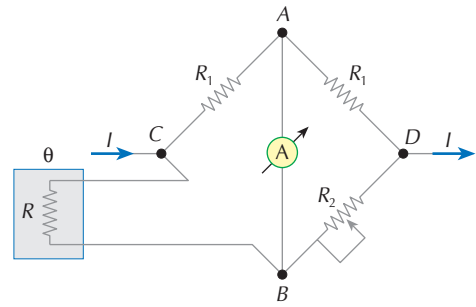
- o esquema dessa ponte, indicando o amperímetro e o gerador de alimentação;
- a nova posição de equilíbrio do cursor se, por aquecimento, a resistência do resistor aumentar 25%.

P. 192 (Unicamp-SP) A variação de uma resistência elétrica com a temperatura pode ser utilizada para medir a temperatura de um corpo. Considere uma resistência R que varia com a temperatura θ de acordo com a fórmula:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \theta)$$

onde $R_0 = 100 \Omega$, $\alpha = 4 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e θ é dada em graus Celsius. Essa resistência está em equilíbrio térmico com o corpo, cuja temperatura θ deseja-

-se conhecer. Para medir o valor de R ajusta-se a resistência R_2 , indicada no circuito abaixo, até que a corrente medida pelo amperímetro no trecho AB seja nula.



- Qual a temperatura θ do corpo quando a resistência R_2 for igual a 108Ω ?
- A corrente através da resistência R é igual a $5,0 \cdot 10^{-3} \text{ A}$. Qual a diferença de potencial entre os pontos C e D indicados na figura?