

## Capítulo IV

### Medição de Grandezas Elétricas

#### 4.1 Introdução

*“Quando você puder medir aquilo de que está falando e exprimir isso em números, saberá algo sobre tal coisa. Enquanto você não puder exprimi-lo em números, seu conhecimento é insatisfatório. Pode ser o início do conhecimento, mas você terá avançado muito pouco em seus pensamentos, em direção ao estágio da ciência”.*

William Thompson, Lord Kelvin (1824,1907)

Nesta seção serão tratadas algumas características da medição de grandezas elétricas, após, é claro uma pequena explanação sobre incertezas de medição.

Uma explicação detalhada sobre o funcionamento de amperímetros e voltímetros está fora do escopo deste manual didático. Sendo assim, esses instrumentos serão abordados de maneira simples e superficial.

#### 4.2 Incerteza

Nenhuma medida física pode fornecer um valor exato. Isto porque vários fatores influenciam no processo de medição, tais como:

- 1) Imprecisão do instrumento utilizado (calibração);
- 2) Influência do instrumento de medição no circuito;
- 3) Imperícia do experimentador (erros de leitura);
- 4) Erros acidentais ou aleatórios, como a flutuação da tensão elétrica em uma bancada, por exemplo.

Desta maneira, nenhuma medida física pode ser expressa de forma absoluta, devendo ser expressa com uma incerteza conforme mostra o esquema abaixo:

$$2,5V \pm 1\%$$

Neste caso, o valor numérico da medida é 2,5, a unidade é o volt e a incerteza de medida, considerando os fatores citados acima, é de 0,025V para mais ou para menos.

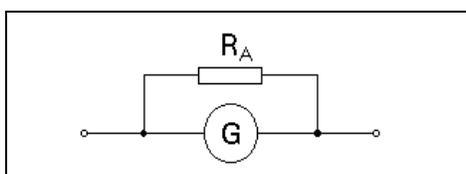
#### 4.3 Medição de Corrente: Amperímetro

Um amperímetro funciona baseado na indução magnética que a passagem de corrente ocasiona sobre determinado sensor, denominado galvanômetro.

Em amperímetros analógicos o galvanômetro pode ser implementado como uma bobina sob a influência de um ímã permanente. Deixando a bobina livre para girar em torno de um eixo, pode-se determinar a corrente que o atravessa, pela deflexão angular que ela sofre.

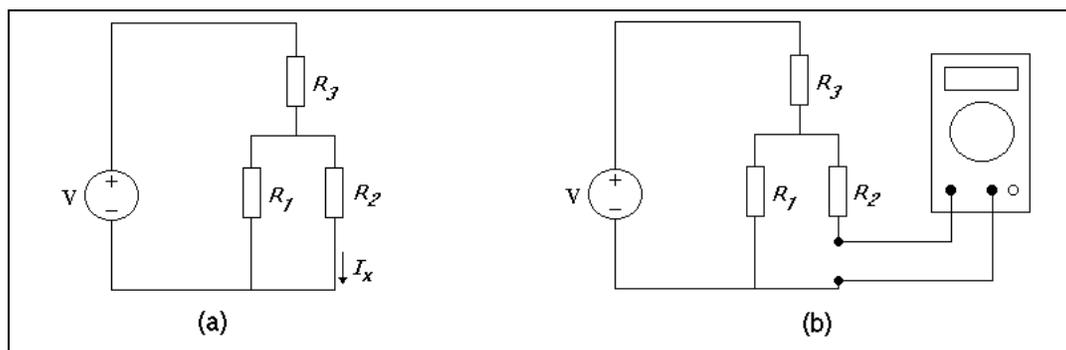
Em amperímetros digitais, o galvanômetro é um circuito eletrônico que compara o valor de corrente medido com um valor de corrente pré-determinado gerado pelo próprio aparelho.

A figura 4.1 mostra a configuração básica de um amperímetro. A resistência  $R_A$  tem como função desviar a corrente que passa pelo galvanômetro. Isto porque os galvanômetros têm um limite de corrente máxima que quando ultrapassado os danificam e os tornam inutilizáveis. Desta maneira, para se medir valores de correntes cada vez mais elevadas o valor de  $R_A$  deve ser cada vez mais baixo. Ou seja, quanto menor a escala do amperímetro menor será o valor da resistência  $R_A$ , pois maior parcela da corrente poderá atravessar o galvanômetro.



**Figura 4.1:** Configuração básica de um amperímetro.

Com princípio de funcionamento em mente, pode-se inferir que o amperímetro deve ser ligado em série com o circuito a ser medido, pois a corrente a ser medida deve atravessá-lo. A figura 4.2 ilustra esse procedimento.

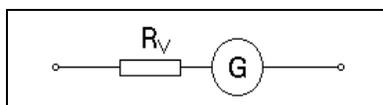


**Figura 4.2:** Procedimento de leitura de corrente. (a) corrente  $I_x$  a ser medida e (b) ligação do amperímetro correspondente.

A resistência interna do amperímetro é geralmente desprezível e na maioria das vezes pode ser considerado um curto-circuito.

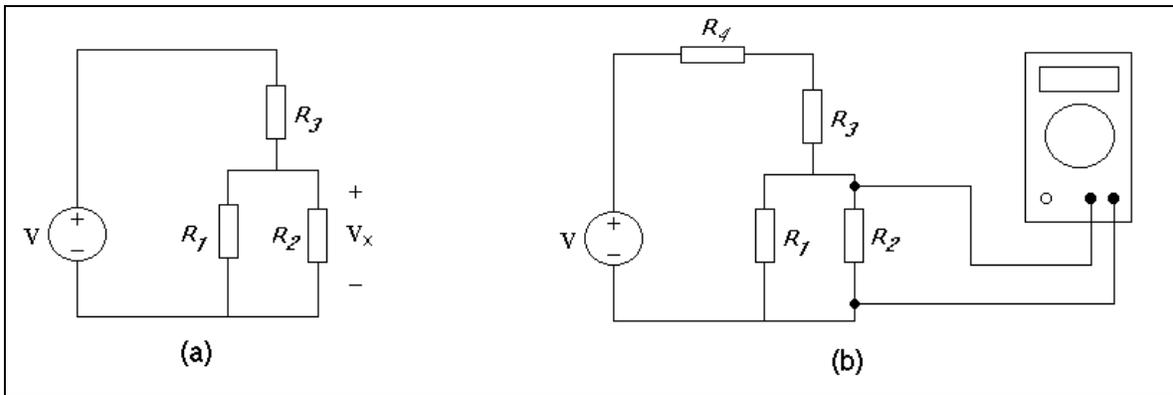
#### 4.4 Medição de Tensão: Voltímetro

A configuração básica de um voltímetro é mostrada na figura 4.3. Sabendo-se a resistência equivalente desse circuito pode-se determinar qual é o valor da queda de tensão no mesmo. Aqui o valor de  $R_V$  é quanto maior tanto maior for a tensão a ser medida.



**Figura 4.3:** Configuração básica de um voltímetro.

A medição de ddp deve ser realizada utilizando o voltímetro em paralelo com o circuito a ser medido conforme ilustra a figura 4.4.



**Figura 4.4:** Procedimento de leitura de tensão. (a) tensão  $v_x$  a ser medida. (b) ligação do voltímetro correspondente.

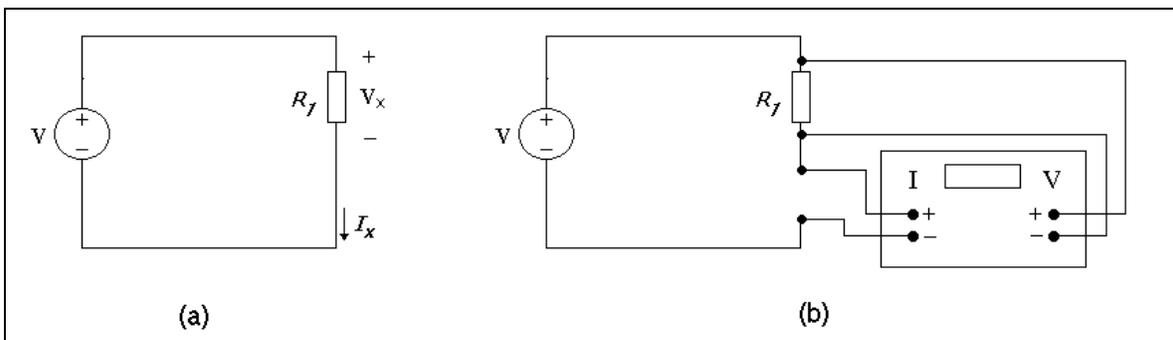
A resistência interna do voltímetro deve ser elevada (em geral da ordem de dezenas a centenas de megaohms) para drenar uma corrente mínima do circuito a ser medido. De modo geral, considera-se sua resistência interna infinita.

#### 4.5 Cuidados na Medição de Corrente e Tensão

É conveniente salientar que a escala de medição de tensão ou corrente do multímetro não deve ser menor do que a grandeza a ser medida, pois isso acarretará em danos ao galvanômetro do aparelho. Assim, deve-se começar a medição com a seleção da maior escala de leitura possível e diminuí-la à medida que o valor medido assim o permitir.

#### 4.6 Medição de Potência: Wattímetro

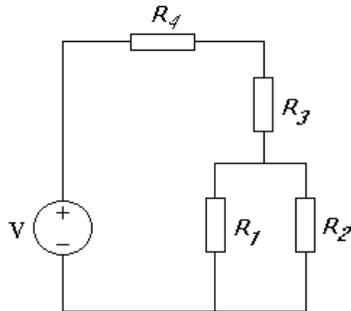
O wattímetro nada mais é do que a combinação de um voltímetro e um amperímetro. A corrente medida é multiplicada pela tensão também medida e o resultado é a potência. O procedimento de medição de potência é mostra na figura 4.5.



**Figura 4.5:** Medição de potência. (a) Potência a ser medida  $P = V.I$  (b) Ligação do Wattímetro.

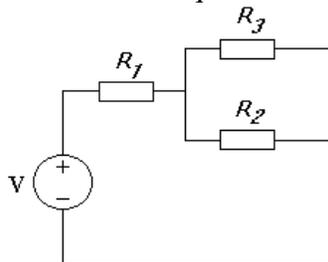
**Exemplo 4.1:** Para os itens de ‘a’ a ‘d’ que se seguem, mostre esquematicamente como devem ser feitas as ligações dos instrumentos:

- a) Um voltímetro para medir a tensão no resistor  $R_3$  da figura 4.6.



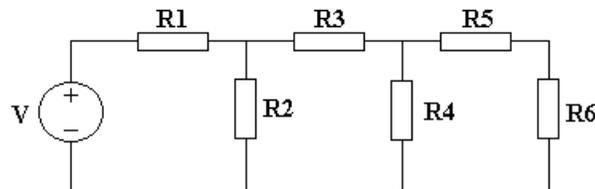
**Figura 4.6:** Exemplo 4.1a.

- b) Um amperímetro para medir a corrente que flui através de  $R_3$  da figura 4.7.



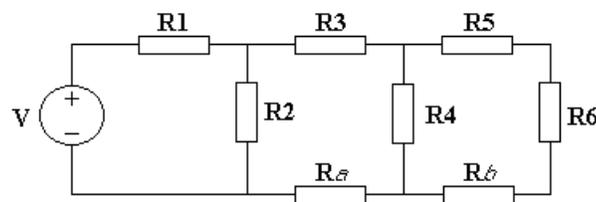
**Figura 4.7:** Exemplo 4.1b.

- c) Um voltímetro e um amperímetro para medir a potência dissipada em  $R_5$  da figura 4.8



**Figura 4.8:** Exemplo 4.1c.

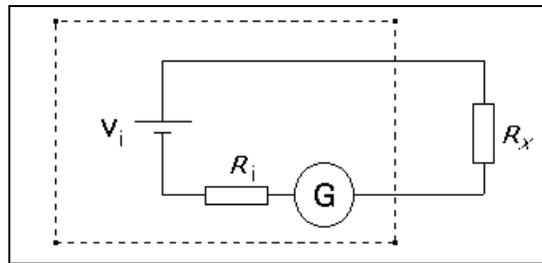
- d) Um wattímetro para medir a potência fornecida pela fonte de tensão  $V_1$  da figura 4.9



**Figura 4.9:** Exemplo 4.1d

## 4.7 Medição de Resistência Elétrica: Ohmímetro

O princípio de funcionamento de um ohmímetro é mostrado na figura 4.10.

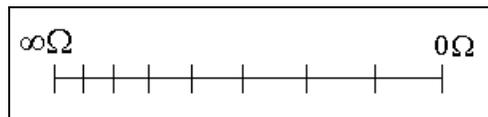


**Figura 4.10:** Ilustração do princípio de funcionamento do ohmímetro.

A resistência elétrica do elemento resistivo é determinada a partir da lei de ohm. Quanto maior a escala de resistência, maior é a tensão  $V_i$ .

Em ohmímetros analógicos, uma escala pode ser determinada conforme se segue.

- Se um curto-circuito for atribuído aos terminais do ohmímetro, tem-se  $R_x = 0\Omega$ , situação de corrente máxima. Se os terminais estiverem em circuito aberto, implicará que  $R_x = \infty$ , e a corrente é nula. Representando estes valores extremos de resistência em uma escala, percebe-se que a mesma é inversa conforme mostra a figura 4.11.



**Figura 4.11:** Escala inversa.

- Com o auxílio de uma série de resistores de valores conhecidos, pode-se calcular a escala do instrumento. Por exemplo, considerando um ohmímetro com resistência interna de  $2k\Omega$  e com fonte de  $6V$ , os valores de corrente correspondentes aos seguintes resistores serão:

$$R_1 = 0\Omega \Rightarrow I_1 = 6 / 2000 = 3mA$$

$$R_2 = 3k\Omega \Rightarrow I_2 = 6 / 3000 = 2mA$$

Com uma coleção de mais resistores conhecidos pode-se calibrar a escala do ohmímetro.

Além do princípio de medição descrito acima, outros princípios podem ser usados para se medir resistência elétrica. São eles:

- Método voltímetro-amperímetro: a jusante e a montante;
- Ponte de Wheastone.

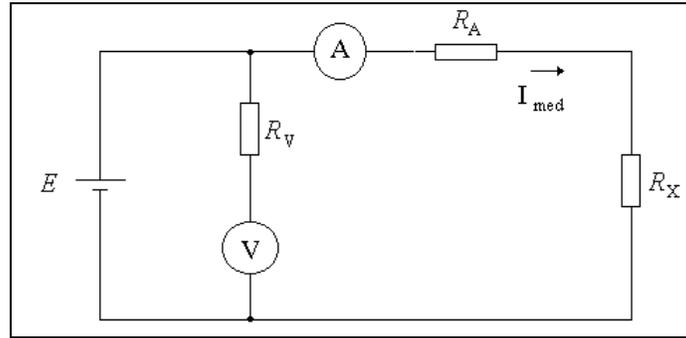
Esses métodos são explicados nos subtópicos seqüentes a essa seção.

### 4.7.1 Método Voltímetro-Amperímetro

Os itens 'a' e 'b' descrevem os procedimentos para realização de medida de resistência elétrica utilizando os instrumentos de medição voltímetro e amperímetro.

a) A montante

Considerando o circuito da figura 4.12.



**Figura 4.12:** Método voltímetro-amperímetro: A montante.

Pode-se observar que são válidas as seguintes equações:

$$V_{med} = (R_X + R_A)I_{med} \quad (4.1)$$

$$R_{med} = \frac{V_{med}}{I_{med}} = R_X + R_A \quad (4.2)$$

Sendo assim os erros de medição cometidos são dados por

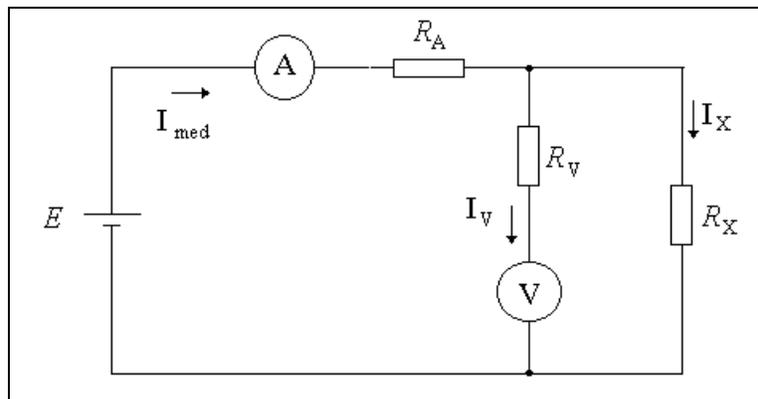
$$\text{Erro absoluto:} \quad \Delta R = R_{med} - R_X = R_A \quad (4.3)$$

$$\text{Erro relativo percentual:} \quad \Delta \mathcal{E}\% = \frac{R_A}{R_X} 100\% \quad (4.4)$$

Deste modo, nota-se que esta montagem é ideal para valores de  $R_X \gg R_A$ , ou seja, valores altos de resistência.

b) A jusante

Considerando o circuito da figura 4.13.



**Figura 4.13:** Método voltímetro-amperímetro: A jusante.

Pode-se observar que são válidas as seguintes equações:

$$I_{med} = I_X + I_V = V_{med} \left( \frac{1}{R_X} + \frac{1}{R_V} \right) \quad (4.5)$$

$$\frac{1}{R_{med}} = \frac{1}{R_X} + \frac{1}{R_V} \quad (4.6)$$

Sendo assim os erros de medição cometidos são dados por

$$\text{Erro absoluto:} \quad \Delta R = -\frac{R_X^2}{R_X + R_V} \quad (4.7)$$

$$\text{Erro relativo percentual:} \quad \Delta \varepsilon \% = \frac{R_X}{R_X + R_V} 100\% \quad (4.8)$$

Assim, pode-se notar que esta montagem é ideal para resistências  $R_X \ll R_V$ , ou seja, para resistências de baixo valor.

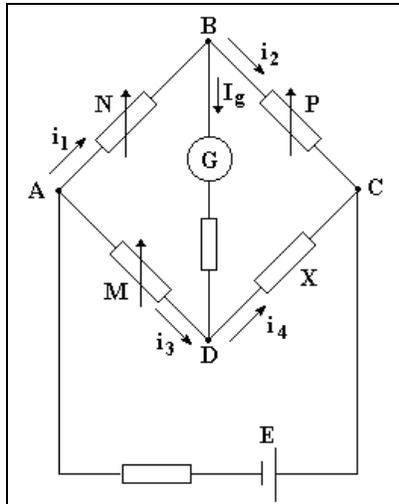
Para medir uma resistência  $R$  desconhecida, emprega-se inicialmente qualquer das duas montagens. Determinada então a ordem de grandeza de  $R$ , repete-se sua medição com a que oferece menor erro relativo.

**Exemplo 4.2:** Uma resistência cujo valor verdadeiro é de  $1\Omega$  foi medida pelo método voltímetro-amperímetro. A capacidade de condução de corrente é de  $100\text{mA}$  e é a corrente a ser utilizada no ensaio. O voltímetro usado tem uma  $R_V = 5\Omega$  e indica até  $100\text{mV}$ .

- a) Qual é o valor medido da resistência nestas condições?
- b) Se fosse utilizado um volímetro com  $R_V = 500\Omega$  qual seria o valor medido de resistência?

### 4.7.2 Ponte de Wheastone

Constitui um dos métodos mais empregados para medição de resistências médias. Sua configuração é mostrada na Figura 4.14.



**Figura 4.14:** Configuração de uma ponte de Wheastone.

A resistência X a medir e 3 resistores ajustáveis conhecidos são ligados em losango, sendo as diagonais constituídas pela fonte (E) e pelo galvanômetro (G).

O princípio da medição consiste em ajustar os valores das resistências N, M e P de tal forma que B e D fiquem com o mesmo potencial. Quando isso ocorre  $I_g = 0$ .

Assim:

$$Ni_1 = Mi_3 \quad (4.9)$$

$$Pi_2 = Xi_4 \quad \text{ou} \quad Pi_1 = Xi_2 \quad (4.10)$$

Portanto:

$$NX = PM \quad (4.11)$$

$$X = \frac{PM}{N} \quad (4.12)$$

### 4.8 Cuidados na Medição de Resistências

A medição de resistência elétrica deve ser feita tomando os seguintes cuidados:

- Um ohmímetro nunca deve ser usado para a medição de resistências onde existe tensão, ou seja, no caso de medir resistências que fazem parte de um circuito este deve ser desligado e descarregado.
- O ohmímetro tem uma fonte de tensão nele incorporada, portanto, é necessário certificar-se que esta tensão não danifica o objeto que está sendo medido;
- Deve-se realizar o ajuste do zero do ohmímetro analógico;
- Não se deve tocar com as mãos os terminais do componente para não colocar em derivação a resistência do próprio corpo.