

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
EEL7040 – Circuitos Elétricos I - Laboratório

**AULA 03**  
**MEDIDAS DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA**

## 1 INTRODUÇÃO

Nas aulas anteriores teve-se como objetivo medir a tensão e a corrente elétrica em circuitos alimentados em corrente contínua. Até o momento comprovamos e estamos aplicando a Lei de Ohm e as 1ª e 2ª Leis de Kirchhoff.

Relembrando, a Lei de Ohm relaciona as grandezas tensão, corrente e resistência num elemento do circuito elétrico. Já a 1ª Lei de Kirchhoff denominada de Lei das Correntes ou Lei dos Nós determina que a soma das correntes em determinado nó (ponto de conexão) do circuito é sempre zero. Por sua vez, a 2ª Lei de Kirchhoff ou Lei das Malhas determina que o resultado da soma das tensões numa malha de um circuito deve ser zero.

Nesta aula o objetivo será determinar a resistência elétrica de resistores de filme de carbono através de dois métodos diferentes: usando a ponte de Wheatstone para medir diretamente a resistência e usando um voltímetro e um amperímetro para obter indiretamente a resistência aplicando a Lei de Ohm. Além disso, também será medida a resistência usando o multímetro digital.

## 2 PONTE DE WHEATSTONE

O método da ponte de Wheatstone, estudado por Wheatstone no século XIX é um dos métodos mais empregados para a medição de resistências na faixa de 1  $\Omega$  a 1 M $\Omega$ . De maneira simplificada, o princípio de funcionamento da Ponte de Wheatstone é descrito a seguir, com auxílio do circuito da figura 1.

A resistência a ser medida ( $R_x$ ) é colocada num circuito em “ponte”, com um galvanômetro (microamperímetro) entre os pontos A e B. Os resistores  $R_p$ ,  $R_1$  e  $R_2$  são resistores que podem ter o valor de suas resistências ajustados.

O princípio de medição consiste em se ajustar o valor de  $R_p$  para que os pontos A e B fiquem no mesmo potencial, ou seja, tensão  $V_{AB}$  nula. Isso fará com que não circule corrente pelo galvanômetro (corrente  $i_g = 0$ ).

Como a corrente  $i_g$  é nula e  $V_A = V_B$ , tem-se :

$$\begin{cases} R_1 \cdot i_1 = R_2 \cdot i_2 \\ R_p \cdot i_1 = R_x \cdot i_2 \end{cases}$$

Logo, o resistor a determinar  $R_x$  poderá ser encontrado:

$$R_x = \frac{R_2 \cdot R_p}{R_1}$$

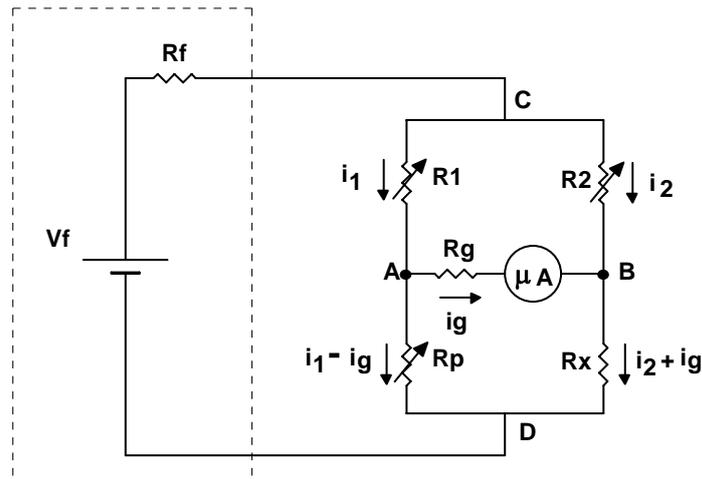


Figura 1 - Circuito equivalente simplificado da ponte de Wheatstone.

Na prática, a ponte de Wheatstone apresenta alguns detalhes construtivos:

- a. Os resistores  $R_1$  e  $R_2$  são formados por um único resistor, com uma derivação central, como mostra a figura 2. Assim, a soma das resistências de  $R_1$  e  $R_2$  é constante, o que se muda é a relação entre elas.

$$R_1 + R_2 = cte \quad q = \frac{R_1}{R_2} = \text{variável}$$

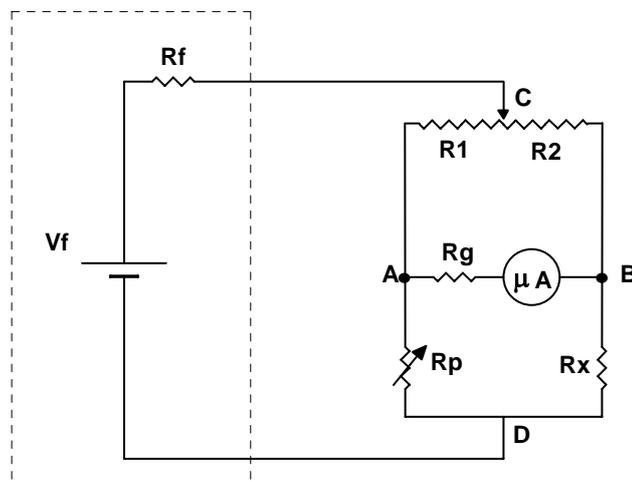


Figura 2 - Circuito da ponte de Wheatstone com a derivação central de  $R_1$  e  $R_2$ .

- b. O resistor ajustável  $R_p$  é constituído de várias décadas de resistores, como mostra a figura 3. A figura 3 mostra quatro décadas de resistores, cujo incremento de resistência é de  $1 \Omega$ ,  $10 \Omega$ ,  $100 \Omega$  e  $1000 \Omega$  por posição, respectivamente.

Assim, a faixa de valores de resistência que a ponte de Wheatstone pode medir irá depender da relação entre  $R_1$  e  $R_2$  e da década resistiva  $R_p$ . Assim, a faixa de medição da ponte será:

$$q_{\min} \cdot R_{p\min} \leq R_x \leq q_{\max} \cdot R_{p\max}$$

O galvanômetro é provido dos sinais + e -, como mostra a figura 4. O que deve ser feito para equilibrar a ponte é fazer o ajuste da resistência  $R_p$  de modo que o galvanômetro fique equilibrado no zero.

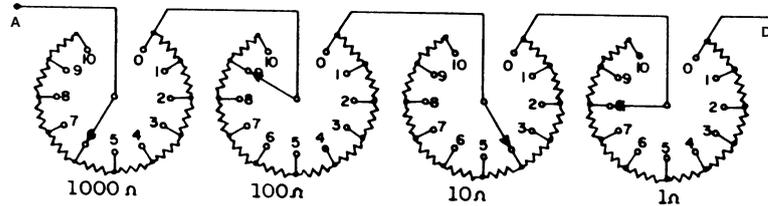


Figura 3 - Década de resistores para a resistência  $R_p$ .

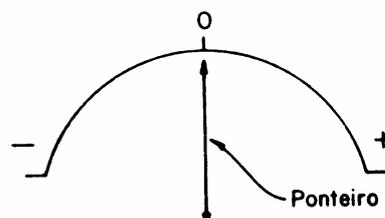


Figura 4 - Mostrador do galvanômetro.

### 3 MEDIDA DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA – MÉTODO DIRETO (PONTE DE WHEATSTONE)

O método da ponte de Wheatstone para medir resistência elétrica é um método direto, pois se obtém o valor sem necessidade de determinar outras grandezas.

Nesta etapa será medida a resistência de alguns resistores usando a ponte de Wheatstone. Assim, considere o circuito mostrado na figura 5 para determinar o que é pedido abaixo.

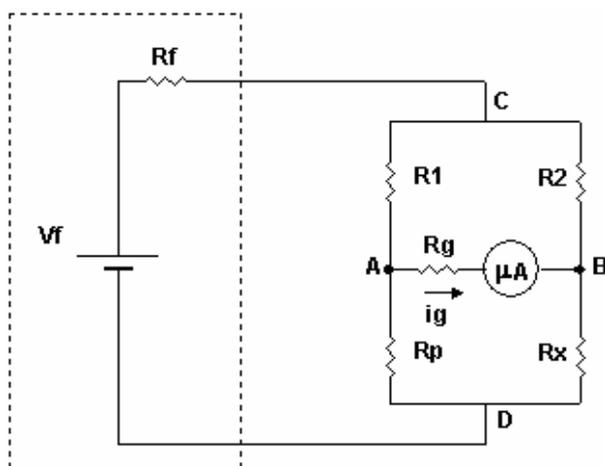


Figura 5 - Circuito em ponte.

- $V_f$  – fonte de tensão de 15 V;
- $R_f$  – resistência interna da fonte;
- $R_1 = 1 \text{ k}\Omega \pm 5\%$  com potência de 1/8 W;
- $R_2 = 4 \text{ k}\Omega \pm 5\%$  com potência de 1/8 W;
- $R_g = 100 \Omega \pm 5\%$  com potência de 1/8 W;
- $R_p = 100 \Omega \pm 5\%$  com potência de 1/8 W;
- $R_x = 390 \Omega \pm 5\%$  com potência de 1/8 W.

Com base no circuito da figura 5 determinar o que é solicitado abaixo.

- Com  $R_x = 390 \Omega$ , determine o deslocamento (em mm) do ponteiro do galvanômetro, sabendo que a sensibilidade do mesmo é de  $10 \mu\text{A}/\text{mm}$ ;
- Qual dos resistores dissipará maior potência? (para  $R_x = 390 \Omega$ ).

A experimentação consiste em:

- Escolher um conjunto de 4 resistores, cada um dentro de uma das seguintes faixas de valores:
  - $10 \Omega$  a  $100 \Omega$ ;
  - $100 \Omega$  a  $12 \text{ k}\Omega$ ;
  - $56 \text{ k}\Omega$  a  $82 \text{ k}\Omega$ ;
  - $100 \text{ k}\Omega$  a  $1 \text{ M}\Omega$ .
- Medir estes resistores com a ponte de Wheatstone e considerar os resultados como valores padrão.

#### 4 MEDIDA DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA – MÉTODO INDIRETO (VOLT-AMPÈRE A JUSANTE)

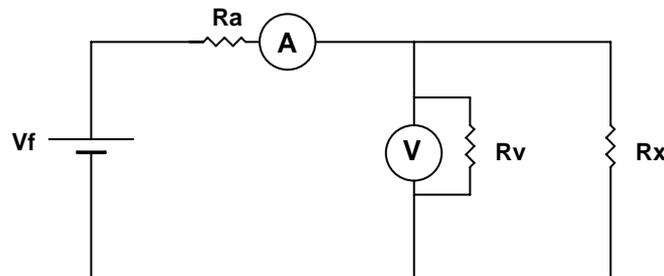


Figura 6 - Método volt-ampère a jusante.

O método volt-ampère a jusante é um dos métodos indiretos para a medição de uma resistência. Utilizamos para isso, um amperímetro e um voltímetro. Com a leitura desses dois instrumentos, podemos determinar a resistência desconhecida  $R_x$ :

$$R_{xJ} = \frac{V}{I}$$

Onde:

- $R_{xJ}$  = Valor calculado da resistência  $R_x$  através da leitura do voltímetro e do amperímetro para o método V-A a jusante;
- $V$  = Valor da tensão lido com o voltímetro;
- $I$  = Valor da corrente lido com o amperímetro.

No entanto, existirá uma diferença entre o valor medido pelo método ( $R_{xJ}$ ) e o valor verdadeiro da resistência ( $R_{xV}$ ), devido aos instrumentos apresentarem resistências internas associadas e também devido aos erros de medida.

Considerando o multímetro analógico ENGRO 484 e o multímetro digital DAWER DM2020 (sugere-se usar o analógico para medir corrente e o digital para medir tensão), calcular:

- Determine o valor de  $R_{xV}$  em função das leituras e das resistências internas dos instrumentos (amperímetro e voltímetro);

$$R_{x_V} = f(V, I, R_v, R_a)$$

b. Determinar o erro de inserção absoluto e relativo do método;

$$\delta R_{x_{ins}} = R_{x_J} - R_{x_V} \quad \delta R_{x_{ins}} \% = \frac{\delta R_{x_{ins}}}{R_{x_V}} \cdot 100$$

c. O erro de inserção é por falta ou por excesso para este método;

d. Em que situação o erro de inserção é menor do que 1%?

Realizar a montagem do circuito da figura 6 e usando o multímetro analógico ENGRO 484 e o multímetro digital DAUER DM2020 determinar:

a. Realizar a medição de 3 resistores, já escolhidos no item a do capítulo 3, pelo método V-A a jusante e que estejam dentro das seguintes faixas:

- 100  $\Omega$  a 12 k $\Omega$ ;
- 56 k $\Omega$  a 82 k $\Omega$ ;
- 100 k $\Omega$  a 1 M $\Omega$ .

Usar a fonte de 5 V para realizar as medidas com os resistores menores do que 1 k $\Omega$ . Para os resistores maiores do que 1 k $\Omega$  pode-se usar a fonte de 15 V.

b. Determine o erro de  $R_x$  para cada uma das leituras (para o relatório).

## 5 MEDIDA DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA – MÉTODO INDIRETO (VOLT-AMPÈRE A MONTANTE)

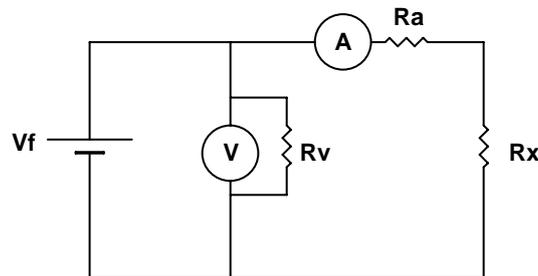


Figura 7 - Método volt-ampère a montante.

O método volt-ampère a montante é outro método indireto para a medição de uma resistência. Utiliza-se também um amperímetro e um voltímetro. Com a leitura desses dois instrumentos, podemos determinar a resistência desconhecida  $R_x$ :

$$R_{x_M} = \frac{V}{I}$$

Onde:

- $R_{x_M}$  = Valor calculado da resistência  $R_x$  através da leitura do voltímetro e do amperímetro para o método V-A a montante;
- $V$  = Valor da tensão lido com o voltímetro;
- $I$  = Valor da corrente lido com o amperímetro.

No entanto, existirá uma diferença entre o valor medido pelo método ( $R_{x_M}$ ) e o valor verdadeiro da resistência ( $R_{x_V}$ ), devido aos instrumentos apresentarem resistências internas associadas e também devido aos erros de medida.

Considerando o multímetro analógico ENGRO 484 e o multímetro digital DAWER DM2020 (sugere-se usar o analógico para medir corrente e o digital para medir tensão), calcular:

- a. Determine o valor de  $R_{xv}$  em função das leituras e das resistências internas dos instrumentos (amperímetro e voltímetro);

$$R_{xv} = f(V, I, R_v, R_a)$$

- b. Determinar o erro de inserção absoluto e relativo do método;

$$\delta R_{x_{ins}} = R_{x_M} - R_{x_V} \qquad \delta R_{x_{ins}} \% = \frac{\delta R_{x_{ins}}}{R_{x_V}} \cdot 100$$

- c. O erro de inserção é por falta ou por excesso para este método;  
d. Em que situação o erro de inserção é menor do que 1%?

Realizar a montagem do circuito da figura 7 e usando o multímetro analógico ENGRO 484 e o multímetro digital DAWER DM2020, determinar:

- a. Realizar a medição de 3 resistores, já escolhidos no item a do capítulo 3, pelo método V-A a montante e que estejam dentro das seguintes faixas:
- 100  $\Omega$  a 12 k $\Omega$ ;
  - 56 k $\Omega$  a 82 k $\Omega$ ;
  - 100 k $\Omega$  a 1 M $\Omega$ .

Usar a fonte de 5 V para realizar as medidas com os resistores menores do que 1 k $\Omega$ . Para os resistores maiores do que 1 k $\Omega$  pode-se usar a fonte de 15 V.

- b. Determine o erro de  $R_x$  para cada uma das leituras (para o relatório);  
c. Compare os resultados obtidos para os métodos: V-A a jusante e V-A a montante.

## 6 MEDIDA DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA – MÉTODO DIRETO (MULTÍMETRO DIGITAL)

Os multímetros analógicos e digitais também permitem medir resistência, de forma rápida, mas não tão precisa como o método da ponte de Wheatstone.

Determinar:

- a. Para os resistores usados nos experimentos anteriores, meça a resistência dos mesmos usando o multímetro digital DAWER DM2020 na escala adequada (anote o erro associado);  
b. Compare os resultados obtidos entre todos os métodos usados até o momento.

## 7 FOLHA DE DADOS (ALUNOS)

**Equipe** Aula: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

**Instrumentos utilizados** \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Tabela 1 – Resistências obtidas.

Resistor	Valor comercial	Valor medido Multímetro digital	Valor medido Ponte de Wheatstone	Valor determinado método V-A a jusante	Valor determinado método V-A a montante
$R_{x1}$ Valor				-	-
----- Escala					
$R_{x2}$ Valor					
----- Escala					
$R_{x3}$ Valor					
----- Escala					
$R_{x4}$ Valor					
----- Escala					

É importante sempre anotar a escala e o erro associado a cada medida.

Tabela 2 – Métodos indiretos.

Resistor	Valor comercial	Valor determinado pelo método V-A a jusante		Valor determinado pelo método V-A a montante	
		Tensão	Corrente	Tensão	Corrente
$R_{x2}$ Valor					
----- Escala					
$R_{x3}$ Valor					
----- Escala					
$R_{x4}$ Valor					
----- Escala					

É importante sempre anotar a escala e o erro associado a cada medida.

**8 FOLHA DE DADOS (PROFESSOR)**

Equipe \_\_\_\_\_ Aula: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_ Assinatura: \_\_\_\_\_

**Instrumentos utilizados** \_\_\_\_\_

---



---



---

Tabela 2 – Resistências obtidas.

Resistor	Valor comercial	Valor medido Multímetro digital	Valor medido Ponte de Wheatstone	Valor determinado método V-A a jusante	Valor determinado método V-A a montante
R <sub>x1</sub>	Valor ----- Escala			-	-
R <sub>x2</sub>	Valor ----- Escala				
R <sub>x3</sub>	Valor ----- Escala				
R <sub>x4</sub>	Valor ----- Escala				

É importante sempre anotar a escala e o erro associado a cada medida.

Tabela 2 – Métodos indiretos.

Resistor	Valor comercial	Valor determinado pelo método V-A a jusante		Valor determinado pelo método V-A a montante	
		Tensão	Corrente	Tensão	Corrente
R <sub>x2</sub>	Valor ----- Escala				
R <sub>x3</sub>	Valor ----- Escala				
R <sub>x4</sub>	Valor ----- Escala				

É importante sempre anotar a escala e o erro associado a cada medida.