

# PRIMEIRA E SEGUNDA LEIS DE OHM

## Introdução

No início do século XIX, Georg Simon Ohm verificou experimentalmente que, para alguns condutores, a relação entre a tensão aplicada ( $V$ ) e a corrente elétrica ( $I$ ) é uma proporção direta. A constante de proporcionalidade desta relação foi denominada resistência elétrica do material. A resistência elétrica é dada em  $V/A$ , usualmente abreviada por ohm ( $\Omega$ ). Assim, de acordo com os experimentos de Ohm, a **1ª Lei de Ohm** é dada por:

$$V = RI \quad (1)$$

A 1ª Lei de Ohm não é uma lei de fundamental, mas uma forma de classificar certos materiais. Os materiais que obedecem à 1ª Lei de Ohm, sintetizada pela Equação (1), são ditos ôhmicos. Para estes materiais, o comportamento do gráfico  $V \times I$  é uma reta, cuja inclinação corresponde ao valor da resistência elétrica do material. A resistência elétrica de um material está relacionada com o quanto esse material resiste à passagem de corrente elétrica. Como exemplo de materiais ôhmicos, serão estudados os resistores ôhmicos. A obtenção da curva  $V \times I$  permitirá verificar a proporcionalidade entre a tensão aplicada e a corrente elétrica do circuito.

O valor da resistência de um dado resistor é estabelecido através de um código de cores, mostrado na Tabela 1. As duas primeiras cores representam os dois primeiros dígitos no valor da resistência, a terceira cor representa a potência de 10 que o valor deve ser multiplicado e a quarta cor é a tolerância no erro de fabricação. Por exemplo, o resistor mostrado na Figura 1 cujas quatro cores são vermelho, violeta, verde e ouro têm uma resistência de  $2.700.000 \Omega$  ou  $2,7 \text{ M}\Omega$ , com uma tolerância de 5%, o que equivale a  $0,135 \text{ M}\Omega$ . Há resistores com mais faixas. Nestes casos, as faixas adicionais são outros dígitos apresentados antes das faixas do multiplicador e da tolerância.

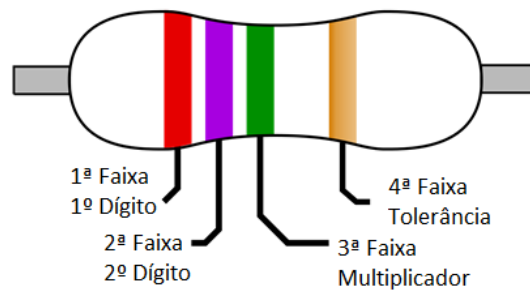


Figura 1: Resistor com resistência elétrica igual a  $2.700.000 \Omega = 2,7 \text{ M}\Omega$ .

Assim podemos escrever:

$$R = (2,70 \pm 0,14)\text{M}\Omega \quad (2)$$

Tabela 1: Código de cores para resistores.

Cor	1ª faixa	2ª faixa	3ª faixa (Multiplicador)	4ª faixa (Tolerância)
Preto	0	0	$10^0$	
Marron	1	1	$10^1$	1%
Vermelho	2	2	$10^2$	2%
Laranja	3	3	$10^3$	
Amarelo	4	4	$10^4$	
Verde	5	5	$10^5$	
Azul	6	6	$10^6$	
Violeta	7	7	$10^7$	
Cinza	8	8	$10^8$	
Branco	9	9	$10^9$	
Ouro			$10^{-1}$	5%
Prata			$10^{-2}$	10%
Sem cor				20%

Materiais que não obedecem à Lei de Ohm são denominados não ôhmicos. A relação entre a corrente elétrica e a tensão para esses materiais não obedece a nenhuma relação específica e sua representação gráfica pode ser qualquer tipo de curva, exceto uma reta. Um exemplo deste material é o diodo

de junção pn, cujo comportamento será estudado nesta prática. Dentre os diodos de junção pn, existe uma classe especial que é denominada LED (diodos emissores de luz). Para estes dispositivos, a aplicação de uma polarização direta (tensão direta) com valor superior a determinado limiar permite a passagem de uma corrente elétrica. Quando uma corrente atravessa a junção o processo de recombinação dos portadores de carga faz com que ocorra a emissão de luz, com frequência muito bem definida e dependente do tipo de material usado no semicondutor. Assim, a cor da luz do LED não vem do plástico que o envolve, mas depende do material semicondutor usado e das impurezas adicionadas ao material. Se um LED usa plástico vermelho, é porque este plástico tem a mesma cor da luz emitida e não é ele que determina essa radiação; LEDs com plástico transparente ou branco podem emitir luz de diversas cores.

A Figura 2 mostra a estrutura de um LED, onde são evidenciados o catodo (-) e o anodo (+). Esse dispositivo estará polarizado diretamente quando o anodo for positivo em relação ao catodo.

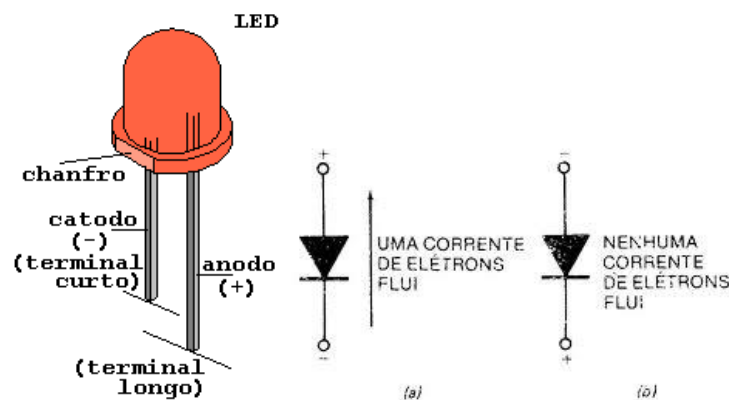


Figura 2: Estrutura interna de um LED e representação simbólica<sup>1</sup>.

A resistência elétrica de um LED varia com a tensão aplicada. Assim, quando o LED começa a conduzir, sua resistência elétrica cai causando um aumento muito rápido da corrente. Para que não haja queima do dispositivo, utiliza-se um resistor limitador ligado em série com o LED, como pode ser visto

<sup>1</sup><http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/733-como-funcionam-os-leds-art096.html>, acessado em 05/03/2012.

na Figura 4, correspondente a uma das montagens desta aula. O valor deste resistor será determinado por meio da seguinte equação:

$$R = \frac{(V - V_{LED})}{I} \quad (3)$$

onde R é a resistência que deve ser ligada em série com o LED; V é a tensão contínua de alimentação;  $V_{LED}$  é a queda de tensão no LED, dada pela Tabela 2; e I é a corrente no LED.

Tabela 2: Tensão limiar para emissão de luz em diferentes LEDs

Cor	Infravermelho	Vermelho	Laranja	Amarelo	Verde	Azul	Branco
$V_{LED}$ (V)	1,6	1,6	1,8	1,8	2,1	2,7	2,7

A corrente com que um LED trabalha é dada pelo fabricante. Geralmente, esta corrente está entre 6 e 20 mA. No nosso experimento, vamos supor que a corrente de funcionamento do LED seja 10 mA, a tensão na fonte no máximo 10 V e a tensão limiar do LED em torno de 2 V. Esse valor é adequado para a maioria dos LEDs comerciais. Desta maneira, para garantirmos que o LED funcionará sem correr o risco de queimar devemos usar um resistor com R pelo menos igual a:

$$R = \frac{(V - V_{LED})}{I} = \frac{(10 - 2)}{10 \times 10^{-3}} = \frac{(8)}{10^{-2}} = 800 \, \Omega \quad (4)$$

De acordo com a **2ª Lei de Ohm**, a resistência elétrica (R) de um condutor homogêneo de secção transversal constante é dependente das características geométricas do condutor. Seu valor é diretamente proporcional ao comprimento  $\ell$ , inversamente proporcional à área de secção transversal A e depende do material do qual o condutor é feito. Deste modo, podemos expressar a 2ª Lei de Ohm como:

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad (5)$$

onde  $\rho$  é a resistividade elétrica do material, dada em  $\Omega \cdot m$  no SI.

Observe atentamente na Figura 3 os parâmetros geométricos utilizados no cálculo da resistência elétrica.

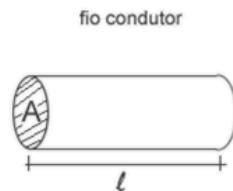


Figura 3: Esquema de um resistor com os parâmetros geométricos usados no cálculo da resistência elétrica.

A resistividade elétrica é uma característica do material usado na constituição do resistor e é dependente da temperatura. Essa característica permite classificar os materiais como condutores, semicondutores e isolantes. Os valores de resistividade do material são tabelados e esta informação pode ser encontrada facilmente na literatura técnica (Tabela 3)<sup>2</sup>.

Tabela 3: Valores de resistividade elétrica, à temperatura ambiente.

Material	Resistividade elétrica ( $\Omega \cdot m$ )
Prata	$1,47 \times 10^{-8}$
Cobre	$1,72 \times 10^{-8}$
Ouro	$2,44 \times 10^{-8}$
Alumínio	$2,75 \times 10^{-8}$
Latão (Cu 60%, Zn 40%)	$8,18 \times 10^{-8}$
Ferro	$10 \times 10^{-8}$
Aço	$20 \times 10^{-8}$
Constantan (Cu 60%, Ni 40%)	$49 \times 10^{-8}$
Porcelana	$10^{17}$
Borracha	$10^{19}$
Parafina	$10^{25}$
Bromo	$10^{26}$
PET	$10^{28}$

---

<sup>2</sup> H.D. Young; R. A. Freedman, Física III - Eletromagnetismo, 12<sup>o</sup> edição, 2009 e <http://edufree.fr/026.html>, acessado em 05/03/2012.

## Atividade experimental

### 1. Objetivos

O objetivo desta atividade prática é contribuir para a compreensão da 1ª e 2ª Leis de Ohm.

### 2. Materiais e Métodos

Os materiais necessários para realização deste experimento são:

- Fonte de tensão elétrica;
- Cabos;
- Multímetros;
- Jumpers;
- Placa de teste;
- LEDs;
- Resistores<sup>3</sup>;
- 2 ponteiras (vermelha/verde e preta/azul);
- 2 réguas fios metálicos.

#### Roteiro Experimental:

#### 1ª Lei de Ohm

**1ª Parte:** Determinação dos valores de resistência.

- i. Escolha 1 resistor para realização da experiência de 1ª Lei de Ohm, evitando escolher resistores com valores nominais de resistência inferiores a  $200 \Omega$ , para evitar correntes que possam danificar os multímetros e os próprios resistores.

---

<sup>3</sup> **Observação:** Não utilizar resistores com resistências muito elevadas (acima de  $15 \text{ k}\Omega$ ). Você sabe qual a razão dessa restrição?

- ii. Determine o valor da resistência e da tolerância nominais, baseado no código de cores.
- iii. Baseado no valor calculado no item ii, determine a melhor escala para medida de resistência no multímetro (utilizando a função de Ohmímetro).
- iv. Utilizando a escala escolhida, efetue a medida da resistência com o multímetro, repetindo 3 vezes a medida resistor, e anote os valores na Tabela 3.

**2ª Parte:** Circuito com resistor.

- i. Para cada uma das tensões nominais sugeridas na Tabela 4, calcule o valor esperado de corrente elétrica, utilizando a 1ª Lei de Ohm. Avalie os maiores valores de correntes esperados e analise a compatibilidade destes valores com o valor máximo tolerado pela entrada de mA do amperímetro.
- ii. Monte o circuito de acordo com a Figura 3, seguindo os procedimentos de segurança aprendidos na aula anterior.

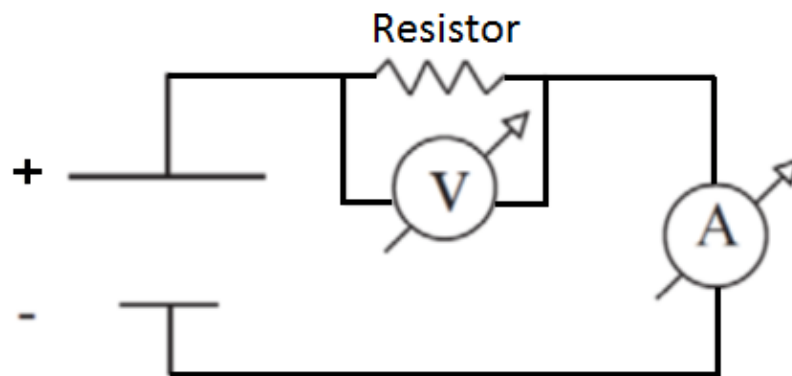


Figura 3: Esquema de ligação do circuito com resistor da experiência de 1ª Lei de Ohm.

- iii. Escolha a escala mais adequada para medida no amperímetro e no voltímetro com base nos valores determinados no item i.
- iv. Aplique no circuito cada um dos valores de tensão nominal sugeridos na Tabela 4 e meça 3 vezes os valores corrente elétrica, utilizando sempre a escala mais adequada.

### 3ª Parte: Circuito com resistor e LED.

- i. Monte o circuito de acordo com a Figura 4, inserindo um LED e utilizando um resistor de  $1000\ \Omega$ . Você sabe a importância do valor da resistência desse resistor? Se tiver dúvida quanto a este valor, use o ohmímetro para determiná-lo.

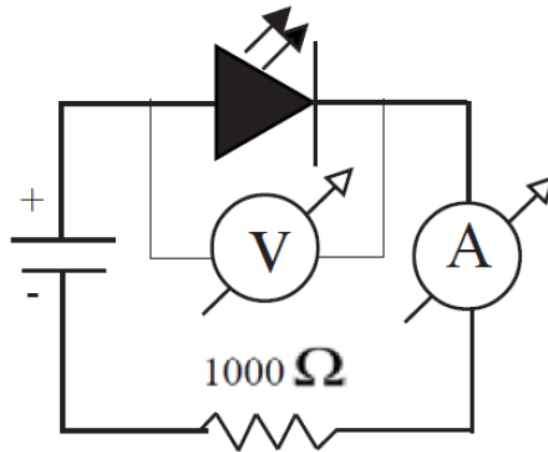


Figura 4: Esquema de ligação do circuito com resistor e LED da experiência de 1ª Lei de Ohm.

- ii. Escolha a escala de 200 mA no amperímetro.
- iii. Varie a tensão total aplicada no circuito de 0 a 10 V e observe o que acontece. (**Tome cuidado para não ultrapassar a tensão de 10 V!**).
- iv. Inverta os pólos de ligação do LED e varie novamente a tensão de 0 a 10 V, observando novamente o que acontece.
- v. Montando o LED no circuito com a polaridade na qual ele “acende”, verifique em que tensão inicia a passagem de corrente no circuito. Considere este valor como o valor de tensão limiar indicado na Tabela 5 e a partir dele defina os valores de tensão no LED, conforme indicação da Tabela 5;
- vi. Meça 3 vezes os valores de corrente elétrica para cada valor nominal de tensão no LED sugeridos na Tabela 5. **Atente que os valores de tensão sugeridos se referem à diferença de potencial no LED, e não na fonte de tensão**, o que deve ser medido utilizando o voltímetro posicionado conforme Figura 4.



- vii. Considerando os valores das grandezas medidas no LED, calcule o valor da resistência para cada valor de tensão, usando a 1ª Lei de Ohm. Esse cálculo poderá ser feito em casa.

#### **4ª Parte: 2ª Lei de Ohm**

- i. Conecte as ponteiros nos respectivos bornes do multímetro na função ohmímetro.
- ii. Meça o valor da resistência interna do ohmímetro na escala de  $200 \Omega$  (que será a escala usada no experimento). Para tanto, encoste as ponteiros uma na outra e verifique o valor indicado no instrumento. Há um espaço para anotar esse valor na Tabela 6.
- iii. Meça os valores de resistência correspondentes a cada um dos comprimentos sugeridos na Tabela 6 para as duas régua de Constantan. Cada medida deve ser repetida 3 vezes e a escala de medição escolhida deve ser sempre a mais adequada para fornecer a leitura com maior precisão.
- iv. Subtraia de cada valor do item iii o valor determinado no item ii, pois os valores do item iii são referentes à associação em série da resistência interna do instrumento com a resistência do fio metálico.

### 3. Tabela de Dados

Tabela 3: Valores de resistência obtidos para o resistor da atividade prática sobre a 1ª lei de Ohm.

Resistor utilizado em 1ª Lei de Ohm	
Resistência Nominal ( $\Omega$ )	
Tolerância Nominal (%)	
	Resistência ( $\Omega$ )
Medida 1	
Medida 2	
Medida 3	
<b>Média</b>	
Desvio Padrão	
$\sigma_a$	
$\sigma_b$	
$\sigma_c$	
Resultado	( _____ $\pm$ _____ ) _____

Tabela 4: Dados coletados na atividade prática sobre a 1ª lei de Ohm no circuito com resistor.

Resistor utilizado em 1ª Lei de Ohm											
Tensão Sugerida (V)	Corrente Calculada <sup>1</sup> (mA)	Tensão Medida (V)	$\sigma_b$ (V)	$I_{Medida}$ (mA)			$I$ (mA)	$\sigma_a$ (mA)	$\sigma_b$ (mA)	$\sigma_c$ (mA)	Resultado de $I$
				Medida 1	Medida 2	Medida 3					
0,5											( _____ $\pm$ _____ ) _____
1,0											( _____ $\pm$ _____ ) _____
1,5											( _____ $\pm$ _____ ) _____
2,0											( _____ $\pm$ _____ ) _____
2,5											( _____ $\pm$ _____ ) _____
3,0											( _____ $\pm$ _____ ) _____
3,5											( _____ $\pm$ _____ ) _____
4,0											( _____ $\pm$ _____ ) _____
4,5											( _____ $\pm$ _____ ) _____
5,0											( _____ $\pm$ _____ ) _____

<sup>1</sup> Para permitir a escolha da escala adequada

Tabela 5: Dados coletados na atividade prática sobre a 1ª lei de Ohm no circuito com resistor e com LED.

Resistor de 1000 Ω + LED											
Tensão no LED Sugerida (V)	Tensão Medida (V)	$\sigma_b$ (V)	$I_{Medida}$ (mA)			I (mA)	$\sigma_a$ (mA)	$\sigma_b$ (mA)	$\sigma_c$ (mA)	Resultado de I	Resistência do LED (Ω)
			Medida 1	Medida 2	Medida 3						
$V_{limiar} - 0,3 V =$										( ± )	
$V_{limiar} - 0,2 V =$										( ± )	
$V_{limiar} - 0,1 V =$										( ± )	
$V_{limiar} =$										( ± )	
$V_{limiar} + 0,1 V =$										( ± )	
$V_{limiar} + 0,2 V =$										( ± )	
$V_{limiar} + 0,3 V =$										( ± )	
$V_{limiar} + 0,4 V =$										( ± )	
$V_{limiar} + 0,5 V =$										( ± )	

Tabela 6: Valores de resistência obtidos para diferentes comprimentos e espessura de fio.

Material: Constantan; Diâmetro: 0,20 mm									
Comprimento (mm)	$\sigma_b$ (mm)	Resistência (Ω)			R (Ω)	$\sigma_a$ (Ω)	$\sigma_b$ (Ω)	$\sigma_c$ (Ω)	Resultado de R
		Medida 1	Medida 2	Medida 3					
400	1								( ± )
800	1								( ± )
1200	1								( ± )
1600	1								( ± )
2000	1								( ± )
Material: Constantan; Diâmetro: 0,40 mm									
Comprimento (mm)	$\sigma_b$ (mm)	Resistência (Ω)			R (Ω)	$\sigma_a$ (Ω)	$\sigma_b$ (Ω)	$\sigma_c$ (Ω)	Resultado de R
		Medida 1	Medida 2	Medida 3					
400	1								( ± )
800	1								( ± )
1200	1								( ± )
1600	1								( ± )
2000	1								( ± )

## 4. Discussão

### 1ª Parte:

1. Compare o valor de resistência determinado pela marcação das faixas em cores e o valor médio determinado a partir das medidas no ohmímetro e determine o erro percentual.
2. Verifique se o valor de resistência elétrica medido está dentro da faixa de tolerância indicada no corpo do resistor.

### 2ª Parte:

1. De acordo com a 1ª Lei de Ohm, qual deve ser o comportamento de  $V \times I$  para o resistor?
2. Construa um gráfico de  $V \times I$  com os dados da Tabela 4. Faça o gráfico plotando os pontos com as suas respectivas incertezas.
3. Qual o formato das curvas obtidas? Estes componentes obedecem a 1ª Lei de Ohm? Explique.
4. Usando um ajuste linear determine a resistência do resistor com a sua respectiva incerteza (no SI). Além do gráfico faça um “print screen” dos parâmetros do ajuste.
5. Compare o resultado obtido no item anterior com os valores determinados na 1ª Parte deste experimento, determinando a diferença percentual entre os valores dos dois itens.

### 3ª Parte:

1. Qual a função do resistor no circuito da Figura 4?
2. Compare o valor de tensão limiar determinado experimentalmente com o valor de tensão limiar tabelado, quantificando a diferença através do erro percentual.
3. Construa um gráfico de  $I \times V_{LED}$  com os dados da Tabela 5. Não se esqueça das incertezas. Atente que o gráfico solicitado nesse item é  $I$  (eixo vertical)  $\times V$  (eixo horizontal) e não  $V \times I$ , como no caso dos resistores.
4. Qual o formato da curva obtida? Este componente obedece a 1ª Lei de Ohm? Explique.

5. Qual o comportamento da resistência do LED com a tensão? Para responder, calcule um valor estimado para a resistência do LED em cada ponto de medida de tensão e corrente usando **a relação da 1ª Lei de Ohm** (complete a última coluna da Tabela 5). Compare este comportamento com o comportamento da resistência dos resistores.

#### 4ª Parte

1. Para cada das réguas, construa gráficos da resistência por comprimento/área ( $R \times L/A$ ) ou resistência por comprimento ( $R \times L$ ).
2. Que comportamento deve ter esta curva?
3. Faça o ajuste adequado para essa curva e um “print screen” dos parâmetros do ajuste.
4. Determine graficamente as resistividades e utilize os valores obtidos no ajuste para calcular a incerteza na determinação da resistividade.
5. Compare os valores obtidos com os valores tabelados.
6. Considerando a 2ª Lei de Ohm, discuta a dependência esperada da resistência com o comprimento e com o diâmetro e compare com os dados experimentais obtidos.