RESISTÊNCIA ELÉTRICA DE FIOS METÁLICOS EM FUNÇÃO DE SEUS PARÂMETROS GEOMÉTRICOS E LEI DE OHM

Nesta prática serão estudados os comportamentos da resistência elétrica, R, em termos de seus parâmetros construtivos, assim como, o comportamento da corrente elétrica, I, em função da tensão elétrica aplicada, V, ao longo de um condutor elétrico (Lei de Ohm).

Sempre que surgir uma dúvida quanto à utilização de um instrumento ou componente, o aluno deverá consultar o professor para esclarecimentos.

Quando for trocar a função de um multímetro, desconecte os fios, gire o botão e só então reconecte ao circuito. Lembre-se que as entradas para voltímetro e ohmímetro são diferentes das entradas para amperímetro.

Materiais Utilizados

- Régua contendo fios da liga níquel/cromo 80/20 com diferentes diâmetros.
- Régua contendo 01 fio da liga níquel/cromo 80/20 com diâmetro constante e comprimento variável
- Régua contendo fios de diferentes materiais com diâmetros e comprimentos constantes.
-Trena
-Fonte de tensão contínua
-2 multímetros por montagem experimental

I – Introdução

I.1 - As Leis de Ohm

Em 1827, Georg Simon Ohm, físico e matemático alemão, publicou os resultados do que é hoje conhecido como as Leis de Ohm. Nessa época, Ohm trabalhava como professor de física e matemática numa escola colegial em Colônia, e usava o laboratório da escola para experiências com circuitos elétricos, que eram então uma novidade (Volta havia desenvolvido a bateria eletrolítica poucos anos antes). Os resultados dessas experiências foram publicados no trabalho *"O circuito galvânico investigado matematicamente"*. Ohm descobriu que a corrente,

Profa. Dra. Dorotéia de Fátima Bozano
Instituto de Física
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Laboratório de Física FIII

I, que atravessa um fio condutor é proporcional à diferença de potencial aplicada, V, à área da seção transversal do fio, A, e inversamente proporcional ao comprimento, L. A proporcionalidade entre a corrente e a diferença de potencial observada em alguns tipos de materiais é hoje conhecida como a *Primeira Lei de Ohm*, e os componentes que apresentam essa propriedade são chamados de condutores ôhmicos. A razão V / I denota o quanto de tensão, V, tem de ser aplicada para passar certa corrente, I, em um dispositivo de circuito. Assim, quanto maior for a dificuldade que o dispositivo impõe à passagem da corrente, maior deve ser a tensão aplicada para estabelece um certo valor de corrente. Diz-se que a razão V/I é **uma medida da dificuldade imposta pelo dispositivo à passagem da corrente elétrica** e por isso **é denominada de resistência elétrica, R.** A unidade de resistência elétrica no SI foi denominada ohm (Ω) em homenagem a Georg Simon Ohm. A formulação matemática dessa Lei é dada pela Equação 1.

$$\mathbf{V = RI \quad ou \quad R = \frac{V}{I} \quad ou \quad I = \frac{1}{R}V.} \tag{1}$$

Outra observação feita por Ohm em seus experimentos foi que a resistência elétrica, R, é diretamente proporcional ao comprimento do condutor, L, e inversamente proporcional à área da seção transversal, A, o que ficou conhecido como a *Segunda Lei de Ohm*, que pode ser escrita como na Equação 2.

$$\mathbf{R = \rho \frac{L}{A}.} \tag{2}$$

O coeficiente de proporcionalidade é conhecido como resistividade elétrica, **ρ**, e é uma característica intrínseca de cada material, pois depende da configuração microscópica de cada material. A Tabela 1 apresenta a resistividade e a condutividade elétrica de alguns materiais.

Os metais e suas ligas têm resistividade da ordem de 10^{-8} a 10^{-6} Ω.m, enquanto os isolantes têm resistividade entre 10^{4} a 10^{24} Ω.m. A resistividade dos semicondutores (como o germânio e o silício) encontra-se entre esses extremos (Tabela 1).

Uma grande inspiração para o trabalho de Ohm foi o trabalho de Fourier sobre a condução de calor, publicado anos antes. Fourier descobriu que a condução de calor entre dois pontos é proporcional à diferença de temperatura entre eles e a condutividade térmica do meio que os separa. Fazendo a analogia, a corrente faz o papel do calor, o potencial elétrico faz o papel da temperatura e a resistência elétrica faz o papel do inverso da condutância térmica.

Tabela 1 – Resistividade elétrica, ρ, e condutividade elétrica, σ, de alguns materiais. Observe a diferença da ordem de grandeza entre os condutores e isolantes.

Material	**ρ (Ω•m) at 20 °C**	**σ (S/m) at 20 °C**
Condutores		
Prata	$1{,}59\times10^{-8}$	$6{,}30\times10^{7}$
Cobre	$1{,}68\times10^{-8}$	$5{,}96\times10^{7}$
Cobre Recozido	$1{,}72\times10^{-8}$	$5{,}80\times10^{7}$
Ouro	$2{,}44\times10^{-8}$	$4{,}10\times10^{7}$
Alumínio	$2{,}82\times10^{-8}$	$3{,}5\times10^{7}$
Tungstênio	$5{,}60\times10^{-8}$	$1{,}79\times10^{7}$
Zinco	$5{,}90\times10^{-8}$	$1{,}69\times10^{7}$
Níquel	$6{,}99\times10^{-8}$	$1{,}43\times10^{7}$
Lítio	$9{,}28\times10^{-8}$	$1{,}08\times10^{7}$
Ferro	$1{,}0\times10^{-7}$	$1{,}00\times10^{7}$
Platina	$1{,}06\times10^{-7}$	$9{,}43\times10^{6}$
Estanho	$1{,}09\times10^{-7}$	$9{,}17\times10^{6}$
Aço Carbono	$1{,}43\times10^{-7}$	$6{,}99\mathrm{x}10^{6}$
Chumbo	$2{,}2\times10^{-7}$	$4{,}55\times10^{6}$
Titânio	$4{,}20\times10^{-7}$	$2{,}38\times10^{6}$
Aço Inoxidável	$6{,}9\times10^{-7}$	$1{,}45\times10^{6}$
Mercúrio	$9{,}8\times10^{-7}$	$1{,}02\times10^{6}$
Liga de níquel cromo 80/20 (Nikrothal 80)	$1{,}09\times10^{-6}$	$9{,}09\times10^{5}$
Semicondutores		
Arseneto de Gálio (GaAs)	5×10^{-7} a 10×10^{-3}	5×10^{-8} a 10^{3}
Germânio (semicondutor)	$4{,}6\times10^{-1}$	2,17
Isolantes		
Água Potável	2×10^{1} a 2×10^{3}	5×10^{-4} a 5×10^{-2}
Água deionizada	$1{,}8\times10^{5}$	$5{,}5\times10^{-6}$
Madeira (úmida)	10^{3} a 10^{4}	10^{-4} a 10^{-3}
Madeira (seca ao forno)	10^{14} a 10^{16}	10^{-16} a 10^{-14}
Vidro	10^{9} a 10^{13}	10^{-13} a 10^{-9}
Borracha dura	10×10^{13}	10^{-14}
Ar	10^{16}	10^{-16}
Graxa de parafina	1×10^{17}	10^{-17}
PET	10×10^{20}	10^{-21}
Teflon	10×10^{22} a 10×10^{24}	10^{-25} a 10^{-23}

Fonte: https://www.thoughtco.com/table-of-electrical-resistivity-conductivity-608499, consultado em 15/02/2024.

A tensão, V, e a corrente, I, elétricas são grandezas macroscópicas e por esse motivo as Equações 1 e 2 são também chamadas de Lei de Ohm macroscópicas. Combinando as Equações 1 e 2, pode-se escrever o módulo do campo elétrico, E, em função das características geométricas do condutor como apresentado na Equação 3.

$$|\vec{\mathbf{E}}| = \frac{|\vec{\mathbf{V}}|}{\mathbf{L}} = \boldsymbol{\rho}\frac{|\vec{\mathbf{I}}|}{\mathbf{A}}. \qquad (3)$$

A razão V/L é o campo elétrico, $\vec{E}$, que age sobre o condutor, e I / A é chamada de densidade de corrente, simbolizado por $\vec{J}$. Assim, a Equação 3 pode ser reescrita como na Equação 4.

$$\vec{\mathbf{E}} = \boldsymbol{\rho}\vec{\mathbf{J}}. \qquad (4)$$

A Equação 4 é usualmente escrita em termos da condutividade, σ, que é o inverso da resistividade, ρ (σ = 1/ρ), como apresentado na Equação 5.

$$\vec{\mathbf{J}} = \boldsymbol{\sigma}\vec{\mathbf{E}}. \qquad (5)$$

A densidade de corrente, $\vec{J}$, e o campo elétrico, $\vec{E}$, podem ser definidos à partir de características microscópicas e por isso a Equação 5 é chamada de *Lei de Ohm Microscópica*.

I.2 - O Modelo de Drude

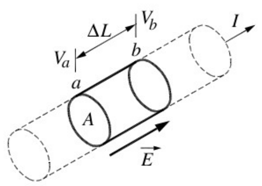
Em 1897, o elétron foi descoberto por J. J. Thomson e seus colegas John S. Townsend e Harold A. Wilson, partícula carregada que seria responsável pelos fenômenos elétricos. Havia, então, necessidade de explicar os fenômenos usando a ideia do elétron, incluindo as Leis de Ohm. Isso foi feito por Paul Drude em 1900.

Da eletrostática sabia-se que o valor do potencial elétrico, V, é o mesmo em todos os pontos de um condutor em equilíbrio eletrostático. Em outras palavras, nessa situação não há diferença de potencial, ddp, entre dois pontos quaisquer de um metal eletrostaticamente carregado. No entanto, em um material condutor os elétrons mais externos aos átomos estão fracamente ligados aos núcleos. Devido à energia térmica, esses elétrons estão livres para se mover aleatoriamente ao longo do condutor (por isso são chamados de elétrons de condução). Portanto, uma visão simplista de um material condutor, seria de uma "nuvem" de elétrons livres em movimento aleatório devido às flutuações térmicas, e um conjunto de íons de fundo, provenientes dos átomos dos quais os elétrons de condução se originaram.

Na presença de um campo elétrico, $\vec{E}$, surge uma força, $\vec{F}$, sobre os elétrons livres, fazendo com que além do movimento aleatório eles possuam um movimento ordenado na direção do campo. Quando isso acontece, o condutor não está mais em equilíbrio eletrostático. Uma análise preliminar pode dar a impressão que sob a influência dessa força a velocidade dessas cargas aumentaria indefinidamente. Na verdade, isso não ocorre devido a colisões entre os elétrons de condução e os íons de fundo. Para descrever este mecanismo de condução podemos utilizar um modelo microscópico conhecido como Modelo de Drude, cujas principais hipóteses são:

- **i.** Não há interação elétron-elétron ou elétron-íon no intervalo entre as colisões;
- **ii.** As colisões ocorrem abruptamente e os íons não se movem;
- **iii.** Existe um tempo médio entre colisões (Δt);
- **iv.** Após cada colisão, o elétron perde a "memória" sobre sua trajetória e velocidade.

Figura 1 – Condutor elétrico submetido de comprimento ΔL submetido à uma diferença de potencial, V.



Fonte: Referência 1

Na Figura 1 temos um condutor de comprimento, ΔL (Figura 1), está submetido a uma diferença de potencial, $V = V_b - V_a$. A aplicação de uma diferença de potencial (ou tensão elétrica), V, faz com que apareça um campo elétrico de intensidade $E = V/\Delta L$ no condutor. Logo, um dado elétron de condução será submetido a uma força elétrica ($\vec{F} = -e\vec{E}$), sendo acelerado até atingir uma velocidade $\vec{v}$ durante um tempo Δt. Então, podemos escrever que a variação de velocidade atingida por esse elétron é dada pela Equação 6.

$$\mathbf{m_e}\frac{\Delta\vec{\mathbf{v}}}{\Delta\mathbf{t}} = -\mathbf{e}\vec{\mathbf{E}} \quad \rightarrow \quad \Delta\vec{\mathbf{v}} = \frac{\mathbf{e}}{\mathbf{m_e}}\vec{\mathbf{E}}\Delta\mathbf{t}. \tag{6}$$

A quantidade de carga que flui através da seção transversal, **A**, do condutor pode ser escrita na forma, $\mathbf{\Delta Q} = n(-e)Av_m\Delta t$, onde n representa a densidade volumétrica dos elétrons de condução, **e** é a carga do elétron, $\mathbf{v_m}$ velocidade média de deslocamento dos elétrons e $\mathbf{\Delta t}$ o tempo decorrido. Logo a corrente elétrica, I, que flui através do condutor pode ser escrita como na Equação 7.

$$\mathbf{I} = \frac{\Delta\mathbf{Q}}{\Delta\mathbf{t}} = -\mathbf{neAv_m}. \tag{7}$$

A velocidade média atingida pelo elétron é dada pela Equação 8.

$$|\mathbf{v_m}| = \frac{\mathbf{I}}{\mathbf{neA}}. \tag{8}$$

É importante enfatizar que o valor médio de velocidade, $|v_m|$, dado pela Equação 8 é o valor da velocidade de arraste dos elétrons devido à aplicação do campo elétrico, $\vec{E}$, e não a velocidade individual dos elétrons, que é, sobretudo, determinada pela agitação térmica.

Uma estimativa da velocidade adquirida pelos elétrons devido a agitação térmica pode ser feita considerando pelo Teorema da Equipartição da Energia, que estabelece que a cada grau de liberdade de translação dos elétrons contribui com $k_BT/2$ para a energia térmica dos mesmos (k_B é denominada de constante de Boltzmann e T é a temperatura em Kelvin). Assim, igualando a energia cinética média dos elétrons com a energia térmica, obtemos a Equação 9.

$$\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}}\mathbf{m_e}\langle\mathbf{v^2}\rangle = \frac{\mathbf{3}}{\mathbf{2}}\mathbf{k_B T}. \tag{9}$$

onde: $\mathbf{m_e}$ é a massa do elétron e, $\langle\mathbf{v^2}\rangle$ é a média do quadrado das velocidades dos elétrons. De onde obtemos o valor da velocidade quadrática média dos elétrons, v_{rms} (do inglês *root mean square*), dada pela Equação 10.

$$\mathbf{v_{rms}} = \sqrt{\langle \mathbf{v^2} \rangle} = \sqrt{\frac{\mathbf{3k_BT}}{\mathbf{m_e}}}, \tag{10}$$

Fazendo um cálculo dessa velocidade em temperatura ambiente (300 K) e sabendo que $\mathbf{k_B}$ **= 1,38x10**$^{\mathbf{-23}}$ **J/K**, $\mathbf{m_e}$ **= 9,11x10**$^{\mathbf{-31}}$ **kg**, obtém-se: $\mathbf{v_{rms}}$ **= 1,17x10**$^{\mathbf{5}}$ **m/s**. De fato, esse valor é ainda maior quando se usa a mecânica quântica para fazer o cálculo. Neste caso, o valor de velocidade obtido é conhecido como velocidade de Fermi, sendo o seu valor $\mathbf{v_F}$ **= 1,57x10**$^{\mathbf{6}}$ **m/s**.

Para fim de comparação, vamos estimar a velocidade média de arraste dos elétrons devido ao campo elétrico, $\vec{E}$, quando uma corrente de 1A atravessa um fio de cobre de 1 mm de raio. A densidade do cobre é de 8,92 g/cm^3, sua massa atômica é de 63,5g/mol que diz que a massa de um mol de cobre é de 63,5 g. Como o número de átomos em um mol é dado pela constante de Avogadro N_A = 6,02x10^{23}, o número de átomos por cm^3 no cobre é $6{,}02\text{x}10^{23}\,\frac{8{,}92}{63{,}5} = 8{,}46\text{x}10^{22}$ átomos/cm^3. Considerando que cada átomo de cobre contribui com um elétron para a condução, temos que a densidade volumétrica de elétrons, n = 8,46x10^{28} átomos/m^3. Assim, como a carga do elétron é e = 1,6x10^{-19} C, tem-se, segundo a Equação 8, que a velocidade média dos elétrons é dada pela Equação 11.

$$|\overrightarrow{\mathbf{v_m}}| = \frac{\mathbf{I}}{\mathbf{neA}} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{8,46x10^{28}\ x1,6x10^{-19}x[\pi(10^{-3})^2]}} = \mathbf{2,35x10^{-5}}\,\frac{\mathbf{m}}{\mathbf{s}} = \mathbf{8,5}\,\frac{\mathbf{cm}}{\mathbf{h}}. \tag{11}$$

Portanto, a velocidade média de arraste dos elétrons devido ao campo elétrico (2,35x10^{-5} m/s) é muito menor que a velocidade devido à agitação térmica (v_{rms} = 1,17x10^5 m/s) .

Da quarta hipótese, a velocidade de um elétron após uma colisão tem direção aleatória. No entanto, o que importa é o comportamento coletivo dos elétrons, e não os comportamentos individuais. Assim, fazemos uma média de velocidades sobre todos os elétrons, que resulta que a velocidade após a colisão é nula (v_i = 0). Assim, é possível escrever as Equações 12 e 13.

$$\mathbf{\Delta v = v_f - v_i = v_f}. \tag{12}$$

$$\mathbf{v_m} = \frac{\mathbf{v_f + v_i}}{\mathbf{2}} = \frac{\mathbf{v_f.}}{\mathbf{2}} \tag{13}$$

Logo, a variação de velocidade que um elétron sofre (Δv na Equação 6) é o dobro da velocidade média (v_m na Equação 8). Assim, podemos escrever a Equação 14.

$$\mathbf{2\frac{I}{n.e.A} = \frac{eE\Delta t_{med}}{m_e}} \tag{14}$$

E o tempo médio entre colisões pode ser estimado pela Equação 15.

$$\mathbf{\Delta t_{med} = 2\frac{m_e I}{ne^2 AE}} \tag{15}$$

Uma outra grandeza usualmente definida é o livre caminho médio $\bar{l}$, que expressa a distância percorrida pelos elétrons entre colisões sucessivas. Sabendo que o tempo médio entre colisões é Δt_{med} (Equação 15) e que a velocidade térmica média dos elétrons é v_F , o livre caminho médio pode ser calculado pela Equação 16.

$$\mathbf{\bar{l} = v_F \Delta t_{med} = \frac{2 v_F m_e}{ne^2 A} . \frac{I}{E}} \tag{16}$$

Para um condutor de comprimento ΔL submetido a um campo elétrico $|\vec{E}|$, a diferença de potencial, V, entre suas extremidades é dada pela Equação 17.

$$\mathbf{V = |\vec{E}|\Delta L} \tag{17}$$

Substituindo a Equação 15 na Equação 17, obtemos a relação entre a diferença de potencial, V, nas extremidades do condutor em função dos parâmetros microscópicos (massa do elétron, m_e, carga do elétron, número de portadores de carga, n, e o tempo médio de colisões, Δt_{med}) e os parâmetros macroscópicos (comprimento do condutor, ΔL, área de secção transversal do condutor, A, e a corrente que percorre o condutor), como apresentado pela Equação 18.

$$\mathbf{V} = \frac{\mathbf{2m_e}}{\mathbf{ne^2\Delta t_{med}}}\frac{\mathbf{\Delta L}}{\mathbf{A}}\mathbf{I}. \tag{18}$$

A Equação 18 mostra que a diferença de potencial, V, é proporcional à corrente, I, o que é previsto pela Primeira Lei de Ohm.

A resistência elétrica, R, (razão entre tensão e corrente) é dada pela Equação 19.

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{V}}{\mathbf{I}} = \frac{\mathbf{2m_e}}{\mathbf{ne^2\Delta t_{med}}}\frac{\mathbf{\Delta L}}{\mathbf{A}} \tag{19}$$

A resistência elétrica, R, é proporcional ao comprimento do condutor, ΔL, e inversamente proporcional à área da seção transversal, A, o que concorda com as observações de Ohm.

Comparando as Equações 2 e 19, obtemos a Equação 20, que descreve a resistividade elétrica em função dos parâmetros microscópicos.

$$\boldsymbol{\rho}_{\textbf{elétrica}} = \frac{\mathbf{2m_e}}{\mathbf{ne^2\Delta t_{med}}}. \tag{20}$$

O Modelo de Drude fornece uma expressão para a resistividade elétrica, $\rho_{\text{elétrica}}$, dos materiais (uma grandeza macroscópica) que depende apenas de grandezas microscópicas (a carga e a massa do elétron, a densidade de elétrons livres e o tempo médio entre colisões). Embora no tratamento acima tenhamos falado somente em elétrons de condução, podemos fazer o mesmo tratamento para íons (condução iônica) ou mesmo buracos (falta de elétrons) no caso de semicondutores.

I.3 - Terminologia

- O termo resistor é usado para um componente eletrônico comercial; o termo resistência elétrica, símbolo R, deve ser preferencialmente usado para descrever o fenômeno da oposição à propagação da corrente. A unidade no SI é ohm e o símbolo é Ω; o termo resistividade, cujo símbolo é ρ, corresponde à uma propriedade intrínseca do material e independe das dimensões físicas do condutor, a unidade no SI é ohm-metro ou Ω/m;

- O termo condutividade elétrica, cujo símbolo é σ, é a grandeza inversa da resistividade ($\sigma = 1/\rho$), a unidade no SI é o siemens por metro (S/m);
- O termo mobilidade eletrônica, cujo símbolo é μ, é a quantidade que relaciona a velocidade de deriva (v_d) dos portadores de carga com o campo elétrico local (E), $v_d = \mu E$;
- O termo Efeito Joule corresponde à energia dissipada por um condutor em forma de calor, cuja potência dissipada é $P_{Joule} = RI^2$. Se o calor não é removido apropriadamente, a temperatura do condutor aumenta como consequência do aquecimento Joule. Assim a relação I versus V deixa de ser linear. Um condutor metálico é um condutor ôhmico somente se a temperatura permanece constante.

I.4 - Resistores Ôhmicos e Não-Ôhmicos

A Lei de Ohm afirma que a ***tensão em um resistor é <u>diretamente proporcional</u> à corrente que passa pelo mesmo***. Dito de outra forma, a Lei de Ohm afirma que a razão entre a tensão e a corrente em um dispositivo se mantém constante e essa constante é denominada resistência elétrica. Todavia, isso só é verdade para resistores ditos ***ôhmicos*** **ou** ***resistores lineares***. **<u>Um resistor ôhmico é aquele no qual o valor da resistência elétrica não varia com a tensão aplicada</u>**. O gráfico da função corrente elétrica, I(V), em função da tensão elétrica, V, de um resistor ôhmico, é uma reta e ***a sua inclinação mede o valor do inverso da resistência elétrica, R***.

A resistência elétrica em um resistor não-linear (não ôhmico) pode variar segundo diversas formas de dependência entre a tensão e a corrente, conforme os princípios físicos de funcionamento do dispositivo. ***Resistores não ôhmicos não são descritos pela Lei de Ohm***. A resistência elétrica não é uma constante e varia com a tensão aplicada entre os seus terminais. ***Nesse caso, gráfico da função corrente elétrica, I(V), em função da tensão elétrica, V, de um resistor não ôhmico, não é uma reta.*** Para os resistores não ôhmicos, define-se uma resistência elétrica dinâmica pois a mesma varia com a tensão aplicada. Exemplos de tais elementos não-ôhmicos são: o filamento de uma lâmpada incandescente (dependência com a temperatura), diodos semicondutores (dependência do tipo de estrutura cristalina), termistores (dependência com a temperatura, NTC: *Negative Temperature Coefficient*; PTC: *Positive Temperature Coefficient*), LDRs (*light dependent resistor*, dependência com a intensidade luminosa), varistores (VDR, dependência com a tensão aplicada), *Strain gauge* (resistor que varia a resistência de acordo com a deformação a que está submetido), etc. É importante notar que resistores ôhmicos deixam de obedecer à Lei de Ohm fora de uma faixa de temperatura, de pressão, etc.

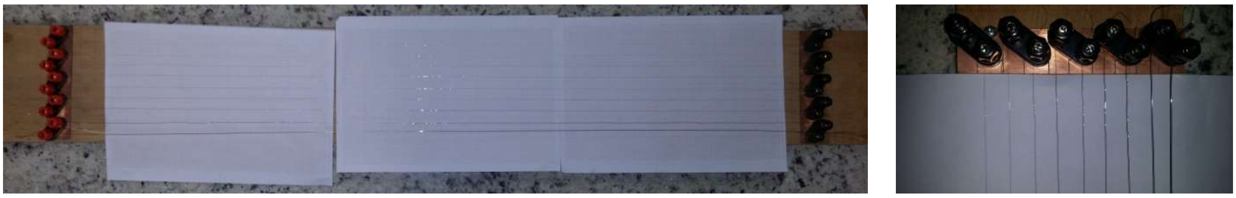
II – Procedimento Experimental

Para os experimentos serão utilizados fios condutores metálicos de uma liga metálica de Níquel/Cromo *(Liga Nikrothal™- 80/20, 80% de Níquel – 20% de Cromo).*

II.1 - Resistência Elétrica em Função da Área da Secção Transversal do Fio da Liga Níquel/Cromo

Utilize a régua montada (Figura 2) com diversos fios metálicos da liga níquel/cromo 80/20 (Nikrothal) com diferentes diâmetros e mesmos comprimentos. Usando um multímetro na função de ohmímetro determine as resistências de cada fio em função do diâmetro de cada fio.

Figura 2 – Régua contendo fios da liga níquel/cromo 80/20 com diferentes diâmetros.



Fonte: Autora.

a) Determine o comprimento de cada fio, L_{fio} (m), da régua da Figura 2, utilizando uma trena.

b) Determine o diâmetro de cada fio, utilizando um micrômetro. A partir do diâmetro de cada fio determine a área da secção transversal dos fios, $A_{fio} = \pi D^2/4$ (m^2).

c) Determine a resistência elétrica, R_{fio} (em ohm), com o ohmímetro (verifique o fundo de escala utilizado no ohmímetro) para cada fio.

d) Construa uma tabela com os valores de R_{fio} , A_{fio} e $1/A_{fio}$ com suas respectivas unidades.

e) Utilizando um editor de gráfico científico, construa um gráfico em escala linear de R_{fio} versus $Área_{fio}$ e verifique sua concordância com a Equação 2.

f) A partir do gráfico obtido no item II.1.e, obtenha a curva (e sua respectiva equação que **deve ser apresentada no relatório**) que melhor representa os resultados experimentais. Lembre-se que a resistência elétrica, R, varia com o inverso da área de secção transversal do fio, 1/A. Através da equação da melhor curva de ajuste, obtenha o valor da resistividade elétrica, ρ, do material utilizado e sua respectiva incerteza. Compare o valor obtido com o apresentado na Tabela 1.

Obs: Para fins de comparação entre valores teóricos e os valores obtidos experimentalmente, determine a razão apresentada na Equação 21:

$$\frac{|\text{valor teórico} - \text{valor experimental}|}{\text{valor teórico}} \cdot 100\% \qquad (21)$$

Se o valor da razão obtido na Equação 21 for menor ou igual a 5%, dizemos que o resultado experimental é comparável ao valor esperado.

g) Construa um gráfico em escala linear de R_{fio} versus $1/Área_{fio}$ e utilizando o método dos mínimos quadrados determine a melhor reta que descreve os resultados experimentais e o coeficiente de determinação, r^2. Através da equação da melhor reta que descreve os resultados experimentais, determine: o valor da resistividade, ρ, da liga metálica utilizada; e o valor do coeficiente de determinação, r^2, e verifique se o comportamento de R_{fio} em função de $1/Área_{fio}$ obedece a Equação 2.

h) Compare o valor obtido com os valores teórico e o valor obtido no item II.1.f, utilizando a Equação 19.

II.2 - Resistência Elétrica em Função do Comprimento do Fio da Liga Níquel/Cromo.

Utilize a régua com um fio da liga níquel/cromo de diâmetro constante, disponibilizada na bancada e meça a resistência elétrica do fio, R_{fio}, em função do seu comprimento, L_{fio}, utilizando o multímetro na função de ohmímetro e uma trena.

a) Determine o diâmetro do fio, utilizando um micrômetro. A partir do diâmetro do fio determine a área da secção transversal do fio, $A_{fio} = \pi D^2/4$ (**m^2**).

b) Inicie as medidas com um comprimento de 0,5 m e acrescente 0,5m para cada nova medida. Utilize todas as posições dos conectores para os diferentes comprimentos disponíveis na régua.

c) Construa uma tabela com os valores da resistência elétrica do fio, R_{fio} (em ohm) em função do comprimento do fio, L_{fio} (m).

d) Construa um gráfico em escala linear de R_{fio} em função do comprimento do fio, L_{fio}. Utilizando o método dos mínimos quadrados determine a melhor reta que descreve os resultados experimentais e o coeficiente de determinação, r^2.

e) Através da equação da melhor reta que descreve os resultados experimentais, determine o valor da resistividade, ρ, da liga metálica utilizada. Compare com o resultado obtido com o valor teórico apresentado na Tabela 1 e com os valores obtidos no item II.1 utilizando a Equação 19.

f) Através do valor do coeficiente de determinação, r^2, verifique se o comportamento de R_{fio} em função de L_{fio} obedece a Equação 2.

II.3 - Resistência Elétrica em Para Fios de Diferentes Materiais

a) Utilize a régua que contém fios metálicos de mesmos comprimentos e diâmetros e distintos condutores.

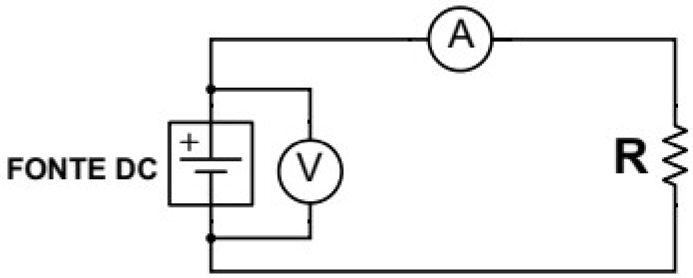
b) Identifique a composição de cada fio e determine suas resistências elétricas, R.

c) A partir dos valores do comprimento, L, área de secção transversal, $A = \frac{\pi d^2}{4}$ (d é o diâmetro do fio), determine as resistividades elétricas, ρ, para cada material, utilizando a Equação 2.

II.4 - Corrente Elétrica do Fio da Liga Níquel/Cromo em Função da Tensão Elétrica Aplicada

Utilize a régua montada da Figura 2, escolha um dos fios (determine a área da Secção Transversal do Fio, A_{fio}, e o comprimento do fio utilizado, L_{fio}), monte o circuito elétrico apresentado na Figura 3 para determinar a curva característica da corrente elétrica que percorre o fio, I_{fio}, em função da diferença de potencial aplicada ao fio, V_{fio}.

Figura 5- Montagem experimental para determinação da curva característica $V_{fio}xI_{fio}$ para um resistor composto por um fio resistor de níquel/cromo de um metro de comprimento.



Fonte: Autora.

Coloque o amperímetro na escala de 20A (terminal COM equivale ao terminal (-) e o terminal 20A é o (+)), e a escala do voltímetro em 20V (COM é o (-) e V-Ω-S é o (+)). A fonte de tensão deve ter o dial de controle de tensão no mínimo e o de corrente no ponto médio.

Atenção: quando utilizamos de 20A no amperímetro, o mesmo só pode ficar ligado durante 30s. Portanto, ajuste o valor da tensão e faça sua leitura com o voltímetro e, só então, ligue o amperímetro, faça a leitura e o desligue novamente.

a) Mantenha a escala do voltímetro em 20V. Selecione uma tensão inicial (lida no voltímetro) de 1V a ser aplicada ao resistor metálico. Eleve a tensão elétrica em passos de 1 V até 15 V.

b) Com o amperímetro, leia o valor da corrente elétrica e sua respectiva unidade para cada tensão aplicada.

c) Registre em uma tabela os valores da corrente elétrica que percorre o fio, I_{fio}, em função da tensão elétrica aplicada ao fio, V_{fio}.

d) Altere a escala do amperímetro sempre que necessário.

e) Construa uma tabela para os valores de I_{fio} em função da tensão aplicada ao fio, V_{fio}.

f) Construa um gráfico em escala linear de I_{fio} em função da tensão elétrica aplicada ao fio, V_{fio}. Determine a equação da melhor reta que descreve os resultados experimentais e seu coeficiente de determinação, r^2.

g) Através da equação da melhor reta que descreve os resultados experimentais determine o valor da resistência elétrica do fio utilizado, R_{fio}. Através do valor da resistência elétrica obtida determine o valor da resistividade, ρ, da liga metálica utilizada e compare com os resultados determinados nos Itens II.1. e II.2 utilizando a Equação 19

h) Através do valor do coeficiente de determinação, r^2, verifique se o comportamento de I_{fio} em função de V_{fio} obedece a Equação 1.

Referências Bibliográficas

1) Introdução a Circuitos de Corrente Contínua, www.ifsc.usp.br/.../03-Introducao CircuitosCorrenteContinua.pdf, visitado em 15/11/2015.

2) Lei de Ohm versus Resistência Incremental, João Kögler, https://jkogler.wordpress.com/2008/03/27/lei-de-ohm-versus-resistencia-incremental/, visitado em 14 de novembro de 2015.

3) Experimento II – Lei de Ohm - Moodle USP do Stoa, disciplinas.stoa.usp.br/mod/resource/view.php?id=212054, consultado em 15/11/2015.