

Introdução

Na primeira parte desta experiência vamos rever as **Leis de Kirchhoff** e de **Ohm** e suas aplicações na previsão do funcionamento de circuitos resistivos lineares. O objetivo consiste em determinar os valores de resistências desconhecidas, através de diferentes circuitos, a partir de medições com um voltímetro e amperímetro. Com isso pretende-se entender o funcionamento e os cuidados que devem ser tomados ao se fazer medições em cada uma das funções de um multímetro: **Amperímetro, Voltímetro e Ohmímetro**.

Juntamente com esta apostila será distribuída a **Apostila de Complementos de Física Experimental - 1^o parte** do Prof. J. H. Vuolo (**apostila de CFE - 1**). Essa apostila traz o aporte teórico necessário a este curso e deve ser trazida em todas as aulas, para consultas.

Na segunda parte desta experiência será realizada a medição da **resistência interna de um voltímetro digital**, na escala de **20V**.

Os princípios de funcionamento dos multímetros analógico e digital estão resumidos no **capítulo 7 da apostila de CFE, página 75**. Nas experiências deste curso vamos utilizar multímetros digitais (este tipo de multímetro está descrito na **seção 7.3 do capítulo 7 da apostila de CFE, página 83**).

Estas experiências serão realizadas em 2 (duas) aulas, e apresentadas em um relatório que deverá ser entregue uma semana após o término da última experiência (ou segunda aula).

Vamos apresentar um breve resumo dos conceitos mais importantes relativos a este estudo, sendo que mais detalhes podem ser encontrados nas duas referências citadas acima.

Leis de Kirchhoff

Resistores ôhmicos ou resistores lineares são aqueles que obedecem a **Lei de Ohm**, que diz que a resistência elétrica, **R**, é definida pela relação:

$$R = V/i \quad \text{e} \quad R = \text{constante} \quad (1.1)$$

Notar que a relação **R = V/i** somente, não é o enunciado da **Lei de Ohm**, essa relação é a definição de resistência para qualquer elemento resistivo incluindo os não ôhmicos. Os elementos ôhmicos têm resistência constante independentemente das tensões ou correntes que atravessam o elemento e de outras variáveis tais como a temperatura do elemento.

Para a solução do circuito precisamos das **Leis de Kirchhoff** e de algumas definições. Uma malha é definida como qualquer percurso fechado em um circuito e um nó é definido como um ponto de interligação de três ou mais fios de um circuito.

A **Lei das Tensões de Kirchhoff** estabelece que é nula a soma algébrica das diferenças de potencial ao longo de uma malha qualquer. Esta lei é consequência da definição de potencial elétrico. Exceto para o caso de um circuito de uma única malha, o número de equações independentes que se obtém com a aplicação dessa lei é sempre menor que o número de malhas.

A **Lei das Correntes de Kirchhoff** estabelece que é nula a soma algébrica das correntes que convergem para um nó de um circuito. As correntes que entram num nó são consideradas de sinal oposto às correntes que saem do nó. Esta lei é consequência da conservação de cargas.

Nesta experiência vamos trabalhar com resistores de carvão que são especificados para uma certa potência nominal máxima que pode ser dissipada. Veja a **seção 1.2** da **apostila de CFE - 1^o parte, página 3**, sobre a potência dissipada por um resistor num circuito.

A potência especificada em um resistor significa que o fabricante garante que o resistor suporta essa potência sem se danificar. Entretanto, os resistores são resistores ôhmicos **não ideais**, ou seja, eles se comportam como resistores ôhmicos ideais (de resistência constante) desde que a temperatura do resistor não aumente significativamente. Assim é recomendável evitar ao máximo o aquecimento dos resistores, trabalhando numa potência bem menor que o limite do fabricante para cada resistor.

Então, antes de começar as medidas deve ser estabelecido um valor máximo para a tensão **V** a ser aplicada ao circuito, de forma que a potência em cada componente seja seguramente menor que o limite de estabelecido e, por outro lado, seja alta o suficiente para que as tensões sobre eles sejam mensuráveis com o voltímetro que se tem à disposição.

Uma análise qualitativa da tensão que pode ser aplicada nos circuitos que serão utilizados deve ser feita baseando-se nas características dos seus componentes, resistência interna de um voltímetro real elevada, da ordem de $M\Omega$ e o amperímetro baixa, da ordem de Ω , potência dos resistores e no tipo de associação feita, conforme pode ser visto na **Figura 1.1**.

A seguir mais características dos instrumentos de medidas serão analisadas, pois já que não se trata de instrumentos ideais, eles alteram o valor da grandeza medida. A intenção, portanto é através deste conhecimento minimizar a alteração causada.

Instrumentos de Medidas

Multímetro

O multímetro reúne num único aparelho três instrumentos de medição, ou seja, um amperímetro para a medida de corrente elétrica, um voltímetro para a medida de tensão elétrica e um ohmímetro para a medida de resistência elétrica.

O importante é que todo instrumento de medida de corrente elétrica, tensão elétrica ou resistência elétrica, seja ele analógico ou digital, altera o circuito, porque para efetuar a medida toda, ou parte, da corrente que flui pelo circuito deve atravessar o medidor. Isso acarreta, na melhor das hipóteses, a introdução de uma resistência no circuito, o que modifica a corrente ou a tensão, (ou ambas), nesse circuito.

O que se faz para resolver essa dificuldade é projetar medidores cuja interferência no circuito possa ser considerada desprezível, isto é, que a modificação introduzida pelo medidor, no parâmetro que vai ser medido, seja menor ou igual ao erro de escala do medidor.

Amperímetro

No caso em que se deseja medir uma corrente, o medidor é um amperímetro, que para efetuar a medida necessita que essa corrente o atravesse. Para não modificar as tensões nos demais elementos de circuito a queda de tensão no amperímetro idealmente deveria ser igual a zero e, portanto, sua resistência deveria ser zero. Um amperímetro real é projetado de maneira que sua resistência seja muito pequena quando comparada às demais resistências do circuito, de maneira que a alteração nas tensões e na própria corrente a ser medida possa ser considerada desprezível em face ao erro intrínseco do aparelho. Por ter que ter uma resistência muito pequena amperímetros são, em geral, instrumentos muito delicados, e, como devem ser colocados em série nos circuitos, podem ser danificados, caso a corrente seja muito maior que aquela para a qual foram construídos.

Portanto, quando se vai utilizar um amperímetro tem que se ter em mente as características do circuito, o fundo de escala e a resistência interna do medidor para se saber se ele é adequado àquele circuito.

O multímetro digital que vai ser utilizado contém um amperímetro, com fundos de escala diferentes e resistências internas diferentes. Toda vez que for utilizar o multímetro como amperímetro deve-se ter certeza que a corrente existente não ultrapassa o fundo de escala escolhido. As resistências internas das várias escalas constam do manual do aparelho disponível em sala de aula.

Como amperímetros têm resistência elétrica muito pequena, jamais ligue um amperímetro em paralelo com um gerador, pois estará provocando um curto circuito que certamente danificará o amperímetro e a fonte, ou gerador.

Voltímetro

Para a medida de tensões usa-se o multímetro como voltímetro. O aparelho é ligado em paralelo com o elemento de circuito sobre o qual se deseja medir a tensão. Para efetuar a medida, parte da corrente será desviada para o voltímetro e isso altera o circuito, porque é como se uma resistência fosse ligada em paralelo com o elemento de circuito de interesse. Portanto, o voltímetro ideal deve ter resistência elétrica infinita para que a corrente desviada seja zero. Os voltímetros reais são, então, construídos de maneira tal, que sua resistência interna seja muito grande se comparada à resistência do elemento de circuito sobre o qual se quer medir a tensão, garantindo assim que as alterações por ele introduzidas no circuito sejam desprezíveis, quer dizer, sejam menores ou iguais ao erro de escala do medidor.

O multímetro digital que vai ser utilizado dispõe de um voltímetro com vários fundos de escala diferentes e que podem ter resistências internas diferentes. Como voltímetros têm resistências internas altas e são percorridos por correntes muito pequenas não são tão passíveis de serem danificados como os amperímetros. **Portanto, é sempre preferível, quando possível, medir a corrente num circuito através da medida da tensão sobre um resistor ôhmico conhecido, ou seja, usando um voltímetro em vez de um amperímetro.**

Pelas mesmas razões descritas para o amperímetro, convém ter uma noção das tensões que se vai medir para não exceder o fundo de escala utilizado. Além disso, deve-se ter certeza de que a resistência interna do voltímetro seja **algumas ordens de grandeza** maior que a resistência do elemento sobre o qual se quer medir a tensão. As resistências internas do aparelho para as várias escalas constam do manual disponível em sala de aula. **Voltímetros podem ser ligados em paralelo com geradores ou fontes de corrente por terem alta resistência elétrica, entretanto, para ter certeza de que não vão ocorrer danos ao aparelho verifique se ele dispõe de fundo de escala apropriado para a tensão que vai medir.**

Ohmímetro

Para a medida da resistência elétrica de um elemento de circuito utiliza-se um ohmímetro.

O ohmímetro, que faz parte do multímetro digital, consiste de uma fonte de corrente alimentada por uma bateria, ligada em série, e de um milivoltímetro ligado em paralelo com o elemento de circuito cuja resistência se quer determinar. Fixando-se o valor da corrente fornecida pela fonte, a leitura do milivoltímetro será proporcional ao valor da resistência desconhecida. Ohmímetros são projetados para determinados intervalos de valores de resistências e, portanto, suas leituras somente são confiáveis nesses intervalos.

Ohmímetros não vão fornecer o valor correto da resistência de um elemento se ele estiver ligado num circuito. Se ligar um ohmímetro a um elemento conectado a um circuito estará ligando entre si dois circuitos alimentados pela fonte do ohmímetro ou com duas fontes de alimentação independentes, caso o circuito do elemento já possua uma. Em qualquer dos casos, a leitura do ohmímetro não será o valor da resistência do elemento ao qual ele está ligado será o valor da resistência equivalente naquele ponto do circuito. **Portanto se quiser medir o valor da resistência elétrica de um elemento de circuito desligue-o do circuito antes de ligá-lo ao ohmímetro.**

Procedimento Experimental – Parte 1

Essa parte da experiência, conforme descrito na **Introdução**, tem como objetivo principal medir o valor da resistência de resistores, através de dois circuitos diferentes e com isso verificar a importância do instrumento de medição, no valor obtido. Serão fornecidas em aula duas resistências, uma alta e uma baixa. O procedimento apresentado a seguir deve ser feito para as duas resistências.

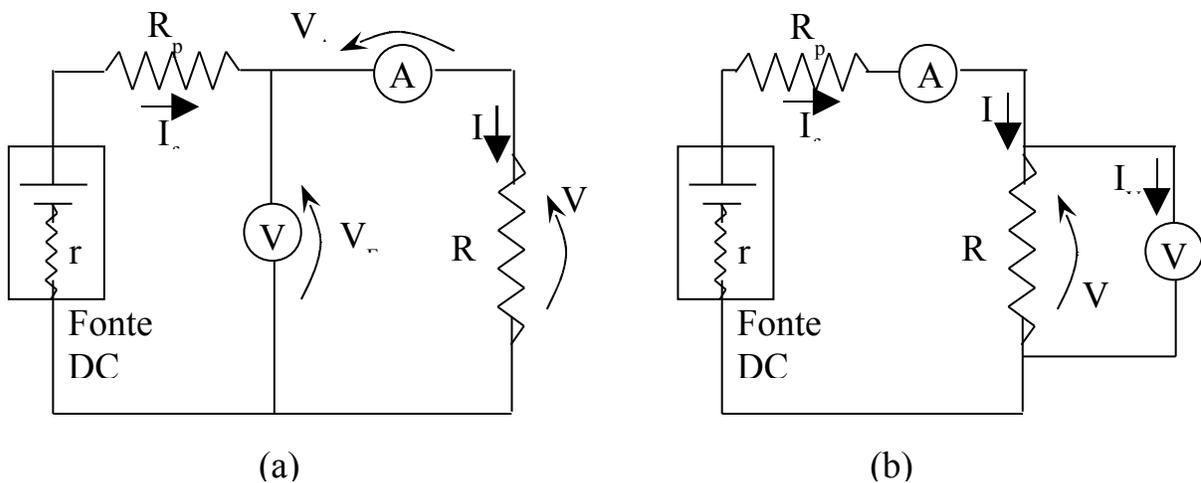


Figura 1.1: Ligações propostas para encontrar o valor da resistência R

- Monte o circuito apresentado na **Figura 1.1 (a)**, sendo R uma das resistências fornecidas. Quando a resistência utilizada for a baixa, utilize também um resistor de proteção R_p de aproximadamente **220 Ω** , para evitar que a corrente que atravessa o circuito seja muito alta e provoque um curto circuito. Mais detalhes sobre a necessidade, de um resistor de proteção serão explicados posteriormente.

- Para a medida com a **resistência baixa** utilize o **fundo de escala** do amperímetro, (*GoldStar DM311*, *Minipa ET1502* ou *Minipa ET2001*), em **200 mA** e do voltímetro em **200 mV**. Para a medida com a **resistência alta** utilize o **fundo de escala** do amperímetro em **200 μ A** e do voltímetro na escala em **200V**
- Varie a tensão na fonte e anote o valor medido pelo amperímetro e pelo multímetro, para no mínimo **10** valores de tensão. Tome cuidado com o aquecimento dos componentes (coloque o dedo para ver se estão esquentando).
- Estimar a incerteza experimental em cada medida levando em conta a incerteza intrínseca fornecida pelo manual do voltímetro e a estabilidade da tensão medida. Coloque todas as medidas e incertezas numa tabela adequada.
- Repita o procedimento já realizado utilizando o circuito apresentado na **Figura 1.1 (b)**.

Análise e Discussão - Parte 1

- Faça dois **gráficos de V_{xi}** , um para cada resistor, **R** , sobrepondo os dados obtidos nas duas montagens. Compare os coeficientes angulares (= **$R_{(a)}$** ou **$R_{(b)}$** , de acordo com a montagem), das curvas sobrepostas.
- Discuta os diferentes valores de resistência, obtidos para o mesmo resistor com as diferentes montagens, dizendo qual valor de coeficiente angular, **$R_{(a)}$** ou **$R_{(b)}$** , mais se aproxima do respectivo valor nominal de **R** , baseando-se no estudo dos aparelhos utilizados, e seus respectivos valores de resistência interna, obtidos no manual do multímetro.
- Em seguida medir os valores de **R** com um ohmímetro e comparar com o resultado experimental obtido anteriormente.
- Com base nos valores obtidos para as resistências, tidos como mais próximos dos valores nominais, obtenha o valor da resistência interna do amperímetro, **R_A** , e do voltímetro, **R_V** .
- A simulação da situação experimental estudada pode ser feita utilizando-se o aplicativo **EWB ("Eletronic Workbench")**. Esse programa, que está instalado no micro computador à sua disposição, permite que se construa um circuito idêntico ao experimental, com fonte de tensão contínua ajustável, para reproduzir exatamente as condições de operação do circuito real, ou simular um circuito ideal. Simule os circuitos utilizados, para um valor de **R** , primeiro supondo os equipamentos de medida ideais e posteriormente supondo-os reais com as resistências internas iguais àquelas dos aparelhos utilizados na primeira parte do experimento (obtidas nos respectivos manuais). Compare os valores da tensão e corrente sobre **R** obtidos nas duas simulações com os valores experimentais.

Procedimento Experimental – Parte 2

O objetivo desta parte do experimento é medir diretamente a resistência interna de um voltímetro digital, na escala de **20V**, e comparar com o valor nominal e com os obtidos pelo restante da sala

Um método simples de realizar essa medida seria através da utilização do circuito da **Figura 1.2**:

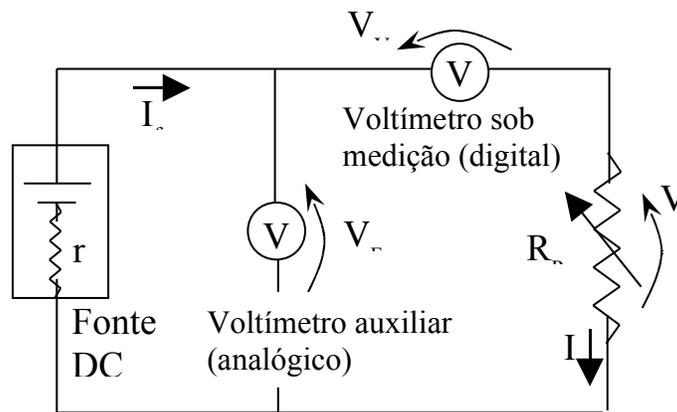


Figura 1.2: Circuito proposto para verificação do efeito da resistência interna da fonte na medida da resistência da escala de 20V do voltímetro digital.

Nesse circuito R_{pot} é um potenciômetro de valor comparável à resistência interna do voltímetro nessa escala (de acordo com o manual). V_f é um voltímetro auxiliar e V é o voltímetro cuja resistência interna se quer medir. É usada uma fonte de tensão contínua (**DC**) não ideal, cuja resistência interna é r .

Como o gerador não é ideal, antes de iniciar as medidas é necessário testar se o efeito da resistência interna do gerador precisa ser levado em conta. Para isso é necessário realizar o procedimento de verificação, descrito a seguir:

- Coloque o potenciômetro em curto-circuito ($R_{pot}=0$).
- Aumente o valor da tensão da fonte ($\sim 10V$).
- Meça a tensão no voltímetro V (aquele cuja resistência interna se quer determinar).
- Anote a tensão da fonte, que é medida no voltímetro auxiliar.
- A seguir ajuste o potenciômetro de forma que a leitura nesse voltímetro V caia muito em relação ao valor inicial (sem alterar a tensão na fonte).
- Anote novamente o valor medido no voltímetro auxiliar.

Se não houver variação na leitura do voltímetro auxiliar significa que, para esse circuito (dado os valores das resistências envolvidas), a perda de tensão na resistência interna da fonte é desprezível. Pode-se, então prosseguir o experimento retirando o voltímetro auxiliar do circuito e desprezando a resistência interna da fonte. Para saber mais sobre fontes de alimentação não ideais veja o **capítulo 2 da apostila de CFE - 1ª parte, página 11** e em particular a **seção 2.3, página 16**.

No caso desta experiência, portanto, o gerador pode ser considerado como um gerador ideal, e, o circuito necessário para a medida é o circuito da **Figura 1.3**:

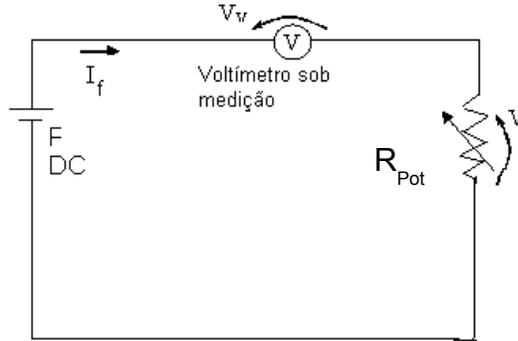


Figura 1.3: Circuito proposto para a medida da resistência interna da escala de 20V do voltímetro digital.

Aplicando a lei das malhas para o circuito da **Figura 1.3**:

$$i = \frac{\varepsilon}{R_V + R_{Pot}} \quad (1.2)$$

onde ε é a tensão da fonte, R_V é a resistência interna do voltímetro, R_{Pot} é a resistência do potenciômetro e i é a corrente no circuito. A tensão no voltímetro, V_V , é:

$$V_V = R_V i = \frac{R_V \varepsilon}{R_V + R_{Pot}} \quad (1.3)$$

$$R_{Pot} V_V = R_V V_V + R_V \varepsilon \quad (1.4)$$

$$R_{Pot} = R_V + \frac{R_V \varepsilon}{V_V} \quad (1.5)$$

Através da **equação 1.5** que relaciona R_{Pot} com V_v e do procedimento apresentado abaixo é possível obter R_v .

- A tensão na fonte deve ser medida com o voltímetro auxiliar no início da tomada de dados.
- Varie o valor de R_{Pot} .
- Anote a tensão fornecida pelo voltímetro que se deseja obter a resistência interna, V_v .
- Desconecte o potenciômetro do circuito e meça a resistência do mesmo, R_{Pot} , com um ohmímetro.
- Repita esse procedimento, variando R_{Pot} e medindo V_v e R_{Pot} , para no mínimo **10** pontos.

Análise e Discussão - Parte 2

- Faça um gráfico de R_{Pot} em função de $(1/V_V)$ e obtenha desse gráfico o valor da resistência interna do voltímetro.
- **Compare** o valor obtido com o **valor nominal** da resistência interna do voltímetro nessa escala. Calcule o erro associado à sua medida e o desvio relativo. Compare seus resultados com os dos **outros grupos da classe**.