

INTRODUÇÃO

Na presente atividade, vamos investigar a validade das Leis de Kirchhoff. Tais leis, em última análise, expressam a conservação de energia e a conservação da carga elétrica em um circuito. Portanto, vamos realizar uma atividade experimental analisando uma rede resistiva simples contendo duas fontes de alimentação.

OBJETIVOS

- Investigar a validade das Leis de Kirchhoff,
- Praticar conhecimentos básicos envolvendo medidas elétricas básicas, e
- Explorar cálculos elementares relacionados com a análise de circuito elétricos.

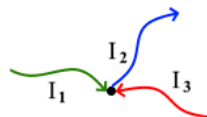
MATERIAL UTILIZADO

- Conjunto experimental dedicado para as Leis de Kirchhoff,
- Multímetro digital, fontes de alimentação, e cabos para interconexões.

RESUMO DAS BASES TEÓRICAS

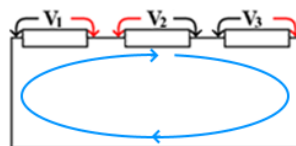
As Leis de Kirchhoff podem ser resumidamente enunciadas como a Lei dos Nós e a Lei das Malhas, como segue:

Lei dos Nós: O somatório de todas as correntes que entram e saem de um nó é nulo. Nó, em um circuito elétrico, é qualquer ponto/junção por onde flui uma corrente elétrica. Esta lei expressa a continuidade do fluxo de cargas elétricas, ou seja, a conservação de cargas elétricas.



$$+I_1 - I_2 + I_3 = 0 \quad (1)$$

Lei das Malhas: O somatório de todas as quedas ou elevações de tensões em uma malha é nulo. Malha, ou laço, em um circuito elétrico, é qualquer caminho fechado por onde flui uma corrente. Esta lei expressa a conservação de energia.



$$+V_1 - V_2 + V_3 = 0 \quad (2)$$

Vejamos um exemplo, envolvendo a análise de um circuito composto por duas malhas e um nó:

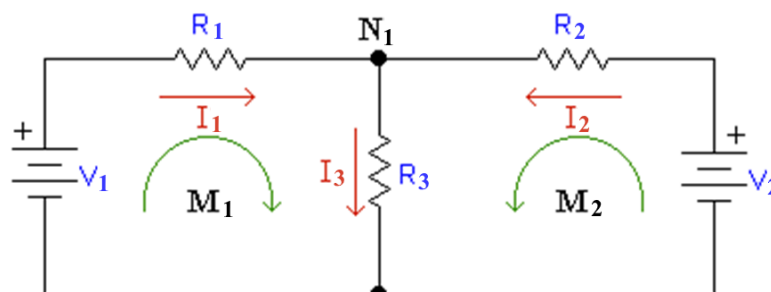


Figura 1: Diagrama esquemático de um circuito de duas malhas e um nó.

Inicialmente, escolhemos de maneira arbitrária o sentido das correntes elétricas I_1 , I_2 e I_3 . Adotando o sentido convencional da corrente elétrica, concluímos que ao percorrermos uma malha subiremos um potencial (tensão com sinal positivo) sempre que encontrarmos a ponta de uma seta que indica o sentido da corrente em um dados elemento do circuito. Caso contrário, descenderemos um potencial (tensão com sinal negativo) se encontrarmos a porção posterior de uma seta. As fontes de alimentação contribuirão para uma elevação (tensão positiva) ou queda de potencial (tensão negativa) de acordo com seu posicionamento (polaridade) no circuito. O raciocínio mais simples a ser adotado é analisarmos se estamos subindo ou descendo uma dada fração de potencial elétrico na medida em que percorremos os elementos que compõem uma malha. Cabe ainda mencionar que contabilizamos como positiva as correntes que “entram” em um nó, e como negativa as correntes que “saem” de um nó. Maiores detalhes, ilustrações e exemplos podem ser encontrados nos livros citados nas referências bibliográficas sugeridas.

Tendo em mente as os comentários acima, e analisando as correntes no nó N_1 , temos:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0 \Rightarrow I_3 = I_1 + I_2 \quad (3)$$

Equacionando as tensões na malha M_1 , temos:

$$V_1 - V_{R1} - V_{R3} = 0 \Rightarrow V_1 - R_1 \cdot I_1 - R_3 \cdot I_3 = 0 \text{ pois } V_{R1} = R_1 \cdot I_1 \text{ e } V_{R3} = R_3 \cdot I_3 \quad (4)$$

Para a malha M_2 , obtemos:

$$V_2 - V_{R2} - V_{R3} = 0 \Rightarrow V_2 - R_2 \cdot I_2 - R_3 \cdot I_3 = 0 \text{ pois } V_{R2} = R_2 \cdot I_2 \text{ e } V_{R3} = R_3 \cdot I_3 \quad (5)$$

Substituído I_3 , dado pela equação (3), nas equações (4) e (5), obtemos o sistema de equações:

$$\begin{aligned} (R_1 + R_3) \cdot I_1 + R_3 \cdot I_2 &= V_1 \\ R_3 \cdot I_1 + (R_2 + R_3) \cdot I_2 &= V_2 \end{aligned} \quad (6)$$

Resolvendo esse sistema linear, podemos determinar facilmente as corrente I_1 e I_2 , ou seja:

$$I_1 = \frac{V_1 \cdot (R_2 + R_3) - V_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} \text{ e } I_2 = \frac{V_2 \cdot (R_1 + R_3) - V_1 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} \quad (7)$$

Então, substituindo esse resultado na equação (3) obtemos a corrente I_3 , que será dada por:

$$I_3 = \frac{V_1 \cdot R_2 + V_2 \cdot R_1}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} \quad (8)$$

Assim podemos calcular as diferenças de potenciais aplicadas sobre cada resistor, via a Lei de Ohm:

$$V_{R1} = R_1 \cdot I_1, \quad V_{R2} = R_2 \cdot I_2 \text{ e } V_{R3} = R_3 \cdot I_3 \quad (9)$$

Caso for encontrado um valor negativo para alguma tensão ou corrente, isso indicará que o sentido da corrente elétrica é oposto ao escolhido inicialmente. Finalizando, cabe mencionar que a escolha do nó e das malhas é também algo arbitrário, desde que obedeçam as respectivas definições.

Na presente atividade, iremos testar a validade das Leis de Kirchhoff, comparando as previsões teóricas com medidas reais. O diagrama esquemático e a aparência geral do conjunto experimental são mostrados na Figura 2. As interconexões serão feitas por cabos do tipo banana-banana. Utilizaremos um único multímetro que irá operar como voltímetro, amperímetro e ohmímetro alternadamente, sendo o procedimento adotado descrito em detalhes no texto que segue.

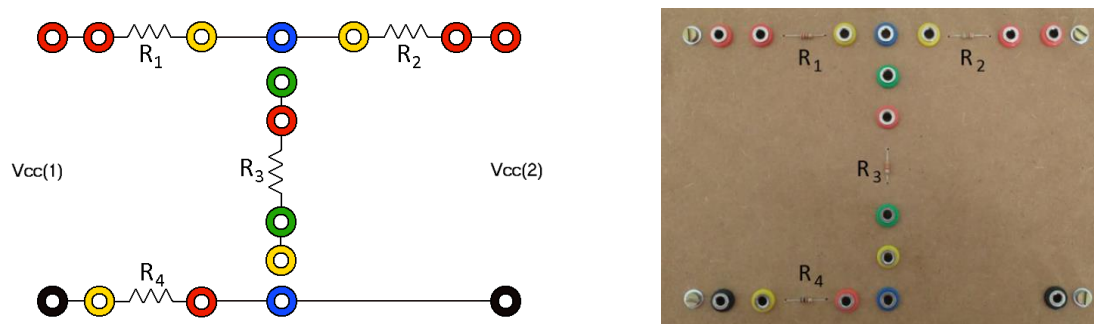


Figura 2: Diagrama esquemático e aparência geral do conjunto experimental.

PROCEDIMENTOS BÁSICOS

1. Com o conjunto completamente desconectado de qualquer fonte de tensão/corrente, efetue a leitura dos valores nominais dos resistores R_1 , R_2 , R_3 e R_4 , medindo em seguida os valores reais desses resistores. Para efetuar tais medidas conecte um multímetro, devidamente ajustado para operar como ohmímetro, e registre as leituras de resistência na folha de dados em anexo. Calcule também os desvios percentuais entre o valor nominal, R_n , e o valor real (medido), R_m , via a expressão:

$$D_{\%} = \frac{|R_m - R_n|}{R_n} \times 100 \quad (10)$$

Inclua essa tabela de dados no relatório e discuta os desvios encontrados, observando as unidades requeridas. Tais desvios são compatíveis com a tolerância nominal dos resistores?

2. Ajuste ambas as fontes de alimentação tal como indicado (V_1 e V_2) e monte o circuito ilustrado no diagrama esquemático abaixo.

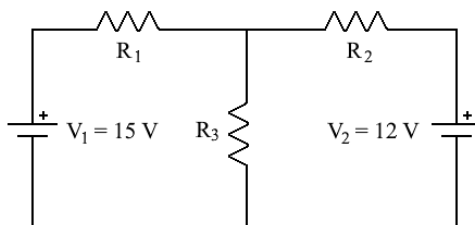


Figura 3: Diagrama esquemático do primeiro circuito de teste.

3. Com o circuito em operação, efetue as medidas de tensão e corrente, completando os quadros abaixo. Para as medidas de diferença de potencial use a escala de tensão contínua de 20 V. Para as medidas de corrente use a escala de 20 mA. Observe que $I_{V1} = I_1$ e $I_{V2} = I_2$, correspondendo às correntes fornecidas pelas fontes de tensão contínua V_1 e V_2 , respectivamente.

$V_1 =$	V
$V_2 =$	V
$V_{R1} =$	V
$V_{R2} =$	V
$V_{R3} =$	V

$I_{V1} =$	I_1 mA
$I_{V2} =$	I_2 mA
$I_1 =$	mA
$I_2 =$	mA
$I_3 =$	mA

4. Compare os resultados obtidos com os valores previstos teoricamente, pelas equações (7), (8) e (9). Para executar esses cálculos use os valores reais dos resistores e das tensões V_1 e V_2 . Determine o desvio percentual entre os valores teóricos e experimentais, tal como foi feito no item 1. Esses desvios são aceitáveis? Quais seriam as razões para os desvios?
5. Ajuste ambas as fontes de alimentação tal como indicado (V_1 e V_2) e monte o circuito ilustrado no diagrama esquemático abaixo.

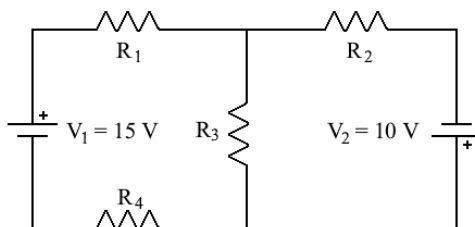


Figura 4: Diagrama esquemático do segundo circuito de teste.

6. Com o circuito em operação, efetue as medidas de tensão e corrente, completando os quadros abaixo. Para as medidas de diferença de potencial use a escala de tensão contínua de 20 V. Para as medidas de corrente use a escala de 20 mA. Observe que $I_{V1} = I_1$ e $I_{V2} = I_2$, correspondendo às correntes fornecidas pelas fontes de tensão contínua V_1 e V_2 , respectivamente.

$V_1 =$	V
$V_2 =$	V
$V_{R1} =$	V
$V_{R2} =$	V
$V_{R3} =$	V
$V_{R4} =$	V

$I_{V1} =$	I_1 mA
$I_{V2} =$	I_2 mA
$I_1 =$	mA
$I_2 =$	mA
$I_3 =$	mA
$I_4 =$	mA

7. Tendo em mente as Leis de Kirchhoff enunciadas anteriormente, calcule teoricamente as correntes e tensões correspondentes a cada resistor. Inclua em seu relatório o desenvolvimento algébrico detalhado desses cálculos. Uma vez obtidas as expressões para as correntes e tensões, calcule esses valores teóricos e compare com os resultados obtidos experimentalmente. Para executar esses cálculos use os valores reais dos resistores e das tensões V_1 e V_2 . Determine o desvio percentual entre os valores teóricos e experimentais, tal como foi feito anteriormente. Esses desvios são aceitáveis? Quais seriam as razões para os desvios?
8. Levando em consideração os resultados obtidos nos itens acima, discuta sobre a validade de cada uma das Leis de Kirchhoff. Elas são válidas?

TAREFAS E QUESTIONAMENTOS

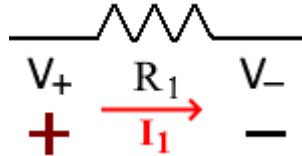
1. Responda os questionamentos inclusos nas diversas etapas do procedimento básico.
2. Ao elaborar suas respostas, circunstancie e discuta cada resultado, sempre comparando medidas experimentais com as previsões teóricas. Cabe salientar que nos cálculos sempre deveremos usar valores reais (medidos) dos resistores.

SUGESTÕES PARA REFERENCIAS

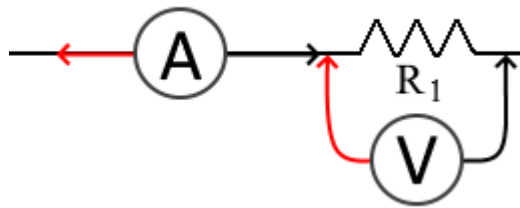
- Fundamentos de Física: Eletromagnetismo, Halliday, Resnick e Walker, Vol.3, Ed. LTC.
- Física III: Eletromagnetismo, Sears e Zemansky / Young e Freedman, Ed. Pearson.
- Apostilas, manuais, roteiro e material complementar disponíveis em <https://physika.info>

ANEXO 1: CONEXÕES ENTRE ANÁLISE TEÓRICA E MEDIDAS EXPERIMENTAIS

Suponha a situação ilustrada abaixo pela figura que indica um resistor R_1 que faz parte de um circuito qualquer, onde arbitrariamente escolhemos o sentido da corrente I_1 . Observa-se que a seta indica o sentido convencional da corrente, onde o fluxo de cargas elétricas ocorre de um maior potencial para um menor. Aqui fica implícito que estamos considerando os portadores de carga como sendo cargas positivas, algo que sabemos experimentalmente ser o oposto, mas que não faz diferenças práticas na análise de um circuito. Portanto, a referida seta indica uma queda de potencial de V_+ para V_- , conforme assinalado.



Se desejamos efetuar medidas compatíveis com essa análise, e assim comparar resultados, deveremos adotar o seguinte posicionamento dos multímetros:

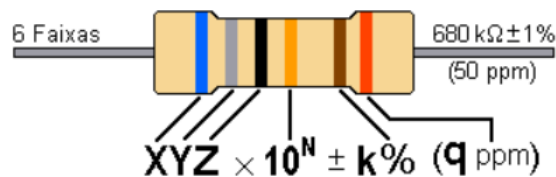
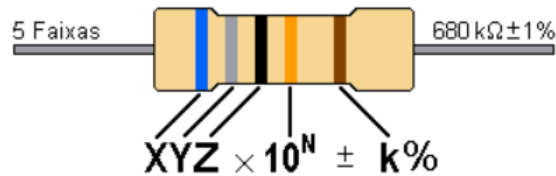
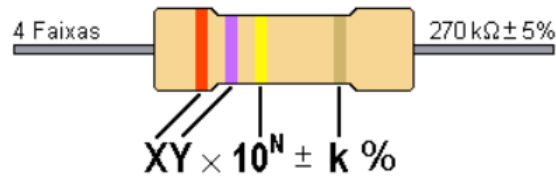


Tal metodologia é coerente com a análise proposta acima. As setas vermelhas indicam a entrada positiva do multímetro e as setas pretas a entrada COM (negativa) do instrumento. A escolha desse posicionamento é compatível com os sentidos das correntes adotados arbitrariamente na análise teórica.

FOLHA DE DADOS

Medidas de resistência

Resistor	Resistência Nominal R_n (k Ω)	Resistência Medida R_m (k Ω)	Desvio $D\%$
R1			
R2			
R3			
R4			



Cor	Algarismo (X,Y,Z)	Multiplicador (N)	Tolerância (k %)	Coef. Temp. (q ppm/°C)
preto	0	0	x1	---
marron	1	1	x10	1%
vermelho	2	2	x100	2%
laranja	3	3	x1.000	---
amarelo	4	4	x10.000	---
verde	5	5	x100.000	0,5%
azul	6	6	x1.000.000	0,25%
violeta	7	7	x10.000.000	0,1%
cinza	8	-	---	---
branco	9	-	---	---
prata	---	-2	x0,01	10%
ouro	---	-1	x0,1	5%
sem faixa	---	-	---	20%