

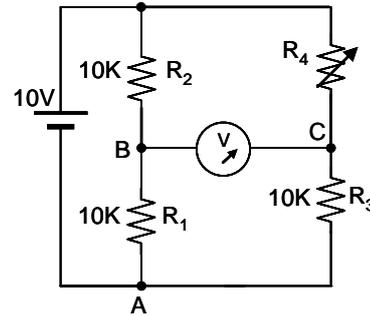
vídeo disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=euce-01NPsU&t=449s>

**Para relatório você(s) devem responder aos itens escritos em vermelho**

Correção de um valor na tabela (vide em amarelo)

**I. Ponte de Wheatstone**

A configuração da Figura ao lado é conhecida como Ponte de Wheatstone e pode ser usada para determinar o valor do resistor  $R_1$ , em função dos resistores  $R_2$ ,  $R_3$  e  $R_4$ . Para isto, ajusta-se de tal modo a obter  $V_{BC} = 0$ , nesta condição diz-se que a ponte está balanceada.



**a) Mostre que para  $V_{BC} = 0$  temos:**

$$R_1 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4}$$

**Experimento:**

Na Figura acima colocamos os valores nominais dos resistores ( $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ ) os quais tem tolerância de  $\pm 5\%$ . Com o intuito de melhorar a precisão da medida, medimos as resistências com o ohmímetro, obtendo:

$$R_1 = 10.26 \text{ K}\Omega \quad R_2 = 10.08 \text{ K}\Omega \quad R_3 = 10.11 \text{ K}\Omega$$

estes valores são próximos a 10 KW, dentro da tolerância esperada de 5%.

$R_4$  é um resistor variável, mas no experimento no lugar de  $R_4$  utilizamos um resistor de 8.2 K $\Omega$  em série com um potenciômetro de 2.2 K $\Omega$ . Conseqüentemente, a resistência  $R_4$  varia no intervalo 8.2 – 10.4 K $\Omega$ .

Montamos o circuito da Figura acima usando uma fonte com tensão  $V_0 = 10,03 \text{ V}$  e medimos o valor da tensão  $V_{BC}$  em função do valor da resistência  $R_4$ , os dados obtidos estão na tabela abaixo:

$R_4$ (K $\Omega$ )	$V_{BC}$ (mV)	$R_4$ (K $\Omega$ )	$V_{BC}$ (mV)
10,47	134,90	9,64	-70,9
10,29	89,60	9,56	-96,2
10,10	43,50	9,32	-151,9
10,00	20,10	9,22	-184,5
9,95	3,20	9,07	-226
9,94	0,00	88,1	-299
9,92	-5,50	8,47	-398
9,84	-22,9	8,32	-439
9,72	-55,4		

**b) Faça o gráfico de  $V_{BC}$  versus  $R_4$**

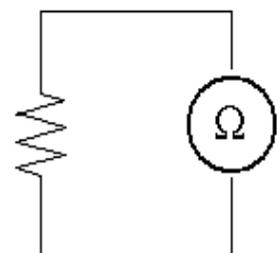
**c) Calcule o valor de  $R_1$  através da condição de balanceamento (eq. acima). Compare este valor com o valor  $R_1 = 10.26 \text{ K}\Omega$  (medido com o ohmímetro).**

**d) considerando que a incerteza  $\pm 0.005 \text{ K}\Omega$ , dos valores de todas as resistências medidas com o ohmímetro, o valor obtido no item c) está de acordo com o valor medido no ohmímetro ( $R_1 = 10.26 \text{ K}\Omega$ ).**

**II. Medição de nulo**

i) Disponha, como na Figura ao lado, um resistor de 10K $\Omega$ /1/8W e meça a sua resistência através de um ohmímetro digital.

$R1=10K / 1/8W$



Obs: note que o resistor de 1/8W tem uma  $\epsilon$  pequeno e sua massa é pequena.

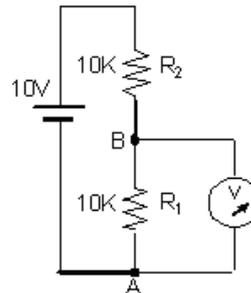
ii) Com o intuito de aquecer o resistor, coloque-o entre seus dedos para aquece-lo.

Aqueça o resistor, usando o circuito da lâmpada  $L_2$  da Figura ao lado e observe se existe alguma variação no valor da resistência medida (*utilizar o ohmímetro Auto Range*).

Se o valor da resistência não mudar, vocês devem concluir que:

- i) a resistência não varia com a temperatura, ou
- ii) a resistência varia muito pouco com a temperatura, de tal forma que o ohmímetro não tem resolução suficiente para observar tal variação. Uma outra observação: para  $R_1$ , utilizamos um resistor pequeno ou de pouca massa (1/8W).

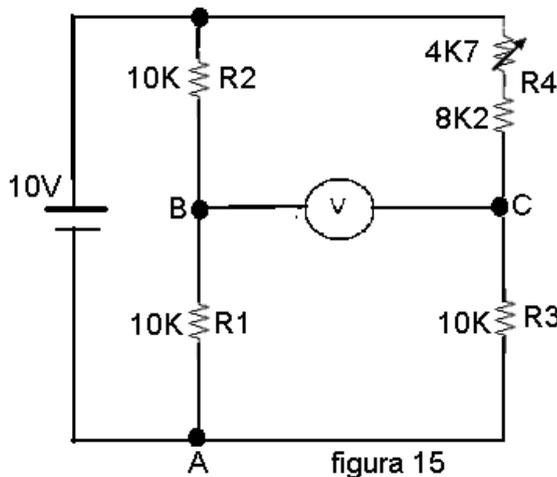
iii) Continuando com a nossa tentativa de medir a variação da resistência do resistor  $R_1$  causada pela mudança da temperatura, projetamos o circuito da Figura ao lado. O resistor  $R_1$  faz agora parte de um divisor de tensão e um voltímetro digital é utilizado para medir a diferença de potencial entre os seus terminais. Supondo que o valor de  $R_2$  se mantenha constante (sua temperatura não varia) como deve variar a tensão  $V_{R_1}$  se  $R_1$  variar?



**Obtenha uma expressão para a variação da tensão,  $\Delta V_{R_1}$ , para uma variação de resistência,  $\Delta R_1$ , em função de  $R_1$  e da tensão da fonte ( $V_0$ ). Supondo que a sensibilidade do voltímetro seja de 0.01V (na escala de 20V) estime a menor variação relativa ( $\Delta R_1/R_1$ ) que poderia ser determinada neste experimento.**

iv) Aqueça o resistor  $R_1$  da maneira que indicamos na parte (B). Você observa variação da voltagem?

Na montagem da Figura ao lado, conhecida como Ponte de Wheastone, temos dois divisores de tensão em paralelo. A ideia aqui é fazer um circuito comparador. O voltímetro mede a tensão  $V_{BC} = V_B - V_C = (V_B - V_A) - (V_C - V_A) = V_{CA} - V_{BA}$ .



v). Quando todos os resistores estão à temperatura ambiente, ajuste  $R_4$  para que o voltímetro indique  $V_{CB} \sim 0V$  (o mais próximo de zero que você conseguir). Para isso, aumente gradativamente a sensibilidade do voltímetro até que o ajuste possa ser feito na sua escala mais sensível. Mantendo o voltímetro nessa escala, aqueça o resistor  $R_1$  conforme explicamos na parte (ii). E agora? Você nota alguma variação na leitura do voltímetro quando o resistor é aquecido? O que você pode concluir a respeito deste experimento?

vi). Suponha que a ponte esteja inicialmente balanceada ( $R_1 \sim R_2 \cdot R_3 / R_4$  onde  $V_{BC} = 0$ ) e o resistor  $R_1$  tenha uma pequena variação  $\delta R_1$ , devido a uma variação de temperatura.

**Mostre que para a configuração  $R_1 = R_2$  temos:**

$$\Delta V_{BC} = 0,25 V_0 \cdot (\Delta R_1 / R_1)$$

Supondo  $\Delta R_1 \ll R_1$ , onde  $\Delta V_{BC}$  é a variação da tensão  $V_{BC}$ .

Assumindo que a variação  $\Delta R_1$  do valor da resistência  $R_1$ , devido a uma pequena variação de temperatura,  $T_2 - T_1 = \Delta T \ll T_1$ ) obedece à equação:

$$\frac{R(T_2)}{R(T_1)} \sim \frac{R(T_1) + \Delta R}{R(T_1)} = 1 + \frac{\Delta R}{R(T_1)} = 1 + \alpha \cdot \Delta T$$

Suponha ao aquecer  $R_1$  com a mão, observe-se uma variação de tensão  $\Delta V_{BC} = 16 \text{ mV}$  devido a uma variação de temperatura  $\Delta T \sim 16 \text{ }^\circ\text{C}$ , com  $V_0 = 10\text{V}$ .

**Estime** o valor do parâmetro  $\alpha$  em unidades de  $^\circ\text{C}^{-1}$  e expresse esse valor em **ppm** (partes por milhão). No presente caso,  $\alpha$  é positivo ou negativo?

Vi) Como mostrado no vídeo, o experimento Medição de Nulo, foi repetido utilizando um termistor com valor  $\alpha = -0.2 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  previamente determinado. Note que este valor de  $\alpha$  é várias ordens de magnitude maior (em módulo) comparado a de um resistor comum (item v).

**Supondo que a variação de tensão observada seja de  $\Delta V_{BC} = 50 \text{ mV}$ , estime a variação de temperatura  $\Delta T$  devido a aproximação da mão do experimentador ao termistor.**

**Curiosidade:** o circuito da Figura 15 é amplamente utilizado em equipamentos, muitos deles do nosso cotidiano, como: balanças de precisão, medidores de pH, controladores de temperatura, medidores de stress em estruturas diversas, etc.

### Exercícios Complementares

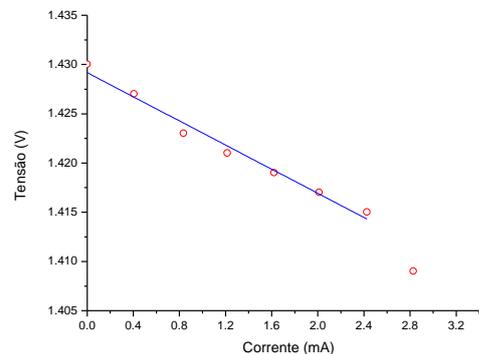
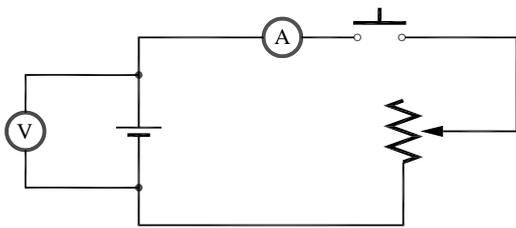
#### 1) Resistência interna de uma pilha

Montamos o circuito da Figura a seguir, utilizando uma pilha como fonte de tensão contínua, um amperímetro em série, uma chave de botão (normalmente aberta), um potenciômetro de  $50\Omega$  e um voltímetro em paralelo a pilha.

Inicialmente, medimos a tensão da pilha com a chave do circuito aberta. Depois fechamos o circuito (chave) e, variando a resistência do potenciômetro, determinamos a dependência da tensão da fonte em função da corrente observada no amperímetro,  $V(I)$ , tal como mostrado na Figura. Ajustado os dados obtivemos:

$$V = 1,43 - 6,7 \cdot I$$

com  $V$  em unidades de Volts e  $I$  em unidades de Ampere



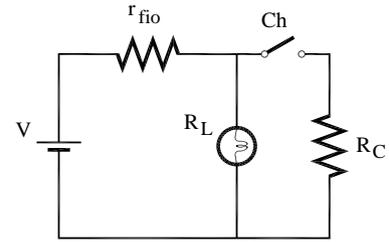
- O comportamento de  $V(I)$  está de acordo com o esperado para uma fonte de tensão real (vide Eq.1 da apostila). Caso afirmativo, obtenha os valores de  $\epsilon$  e  $r_i$  desta pilha.
- Qual a máxima corrente que esta pilha pode fornecer?

2) Resistência interna do “eliminador de pilha” – no vídeo o Prof. Eduardo demonstrou qualitativamente que uma fonte barata, conhecida comercialmente como “eliminador de pilha”, pode não se comportar como uma fonte ideal. Para averiguar quantitativamente o comportamento desta fonte, um estudante fez o procedimento análogo ao do exercício anterior, ou seja:

- Mediu a tensão da fonte em aberto (corrente  $I = 0$ ) obtendo  $V = 6,75 \text{ V}$ .
- Ligou a fonte em série a um amperímetro e uma lâmpada, obtendo  $V = 5,9 \text{ V}$  com  $I = 15 \text{ mA}$ .

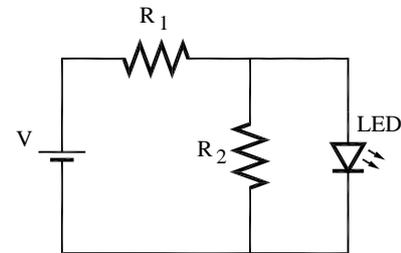
- a) A partir destes dados determine  $\epsilon$  e  $r_i$  desta fonte
- b) Suponha agora que vc ligue esta fonte em um resistor  $R = 10 \Omega$ . Qual será o valor da corrente neste circuito?

3) Considere o circuito ao lado onde temos uma fonte de tensão, uma lâmpada de resistência  $R_L$ , e um chuveiro com resistência  $R_c$ . Como a lâmpada e o chuveiro estão bem distantes da fonte a resistência do fio  $r$  não é desprezível. Considere que todas as resistências são constantes, ou seja, despreze sua variação devido ao aquecimento.



- a) Suponha que  $r \ll R_c \ll R_L$ . Quando se liga o chuveiro (a chave é fechada) qual a relação entre as tensões na lâmpada e no chuveiro  $V_L$  e  $V_c$ , respectivamente? Como você compara  $V_L$  com a queda de tensão no fio  $V_r$ . Como o valor de  $V_L$  muda quando a chave é fechada? O brilho da lâmpada muda quando a chave é fechada?
- b) Considere o caso em que a fonte pode ser descrita pelo modelo da fonte de tensão real ( $V = \epsilon - r_i \cdot I$ ) com  $\epsilon = 110V$ ,  $r_i = 0,2\Omega$ , uma lâmpada de  $100W$ , e um chuveiro de  $5000W$ . Quais os valores de  $R_L$  e  $R_c$ ? Calcule a potência dissipada na lâmpada com a chave (Ch) aberta. Calcule novamente a potência dissipada na lâmpada quando a chave é fechada.

4) A Figura ao lado representa uma fonte de tensão  $V_0$  ligada a um resistor  $R_1 = 100\Omega$ , o qual está em série com dois elementos em paralelo entre si: uma resistência  $R_2 = 200\Omega$  e um LED.



- a) Sabendo que a tensão medida no LED é  $2,2V$  e a tensão em  $R_1$  é  $1,8V$ , calcule a tensão na fonte.
- b) Se a corrente que passa através de  $R_1$  for  $13mA$ , calcule a corrente através do LED.