

Nome	RA	Turma
Adriam Ferreira da Silva	2648067	C32
Carlos Gabriel Baratieri	2706598	C32
Eduardo Consalter Diniz	2268175	C32
Gustavo Tudela Frussa	2612240	C32
Larissa Gonçalves Carneiro	2678381	C32
Richard Lopes Moura	2706709	C32

## Roteiro de Prática de Laboratório

### Prática 1: Ponte de Wheatstone e Conversão $\Delta$ -Y

## 1. OBJETIVOS

- Verificar a operação de uma Ponte de Wheatstone;
- Verificar a conversão de  $\Delta \rightarrow Y$ ;
- Verificar a conversão de  $Y \rightarrow \Delta$ .

## 2. MATERIAIS

- Multímetro;
- Resistores;
- Matriz de Contatos (*Protoboard*);
- Fontes de tensão de corrente contínua;
- Cabos e fios para conexão entre a fonte e os resistores.

## 3. ROTEIRO

- Faça um resumo sobre Ponte de Wheatstone.
- Simule a tensão  $V_{AB}$  do circuito mostrado na Figura 1 para os seguintes valores de  $R_x = 1k\Omega$ ,  $2,2k\Omega$  e  $4,7k\Omega$  e apresente os resultados na Tabela 1.
- Simule o circuito  $\Delta$  da Figura 2. Encontre as correntes  $I_1, I_2, I_3$ , as correntes nas resistências  $I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}$  e as tensões  $V_{AB}, V_{BC}, V_{CA}$ . Faça a conversão  $\Delta \rightarrow Y$  desse circuito e simule o circuito  $Y$  equivalente. Meça as tensões  $V_{ABY}, V_{BCY}, V_{CAY}$  e compare com as medidas no circuito anterior. Prove matematicamente a relação existente entre as correntes  $I_1, I_2, I_3$  e as correntes  $I_{AB}, I_{BC}, I_{CA}$ .
- Simule o circuito  $Y$  da Figura 3. Encontre as correntes  $I_1, I_2, I_3$ , as tensões nas resistências  $V_{RA}, V_{RB}, V_{RC}$  e as tensões  $V_{ABY}, V_{BCY}, V_{CAY}$ . Faça a conversão  $Y \rightarrow \Delta$  desse circuito e simule o circuito  $\Delta$  equivalente. Meça as tensões  $V_{AB\Delta}, V_{BC\Delta}, V_{CA\Delta}$  e compare com as medidas no circuito anterior. Prove matematicamente a relação existente entre as tensões  $V_{ABY}, V_{BCY}, V_{CAY}$  e as tensões  $V_{AB\Delta}, V_{BC\Delta}, V_{CA\Delta}$ .

**Observação:** Clicar nos itens acima direciona até a página.

Cálculo para porcentagem de erro:

$$\text{Erro (\%)} = \frac{|\text{medido} - \text{teórico}|}{|\text{teórico}|} \times 100$$

Referências:

- CK-12: Qual é a fórmula para erro percentual?
- O que é Erro Percentual?

## Resumo sobre a Ponte de Wheatstone

A Ponte de Wheatstone é um circuito com formato de losango, utilizado para a medição de uma resistência elétrica desconhecida. Ela é composta por quatro resistores e um galvanômetro.

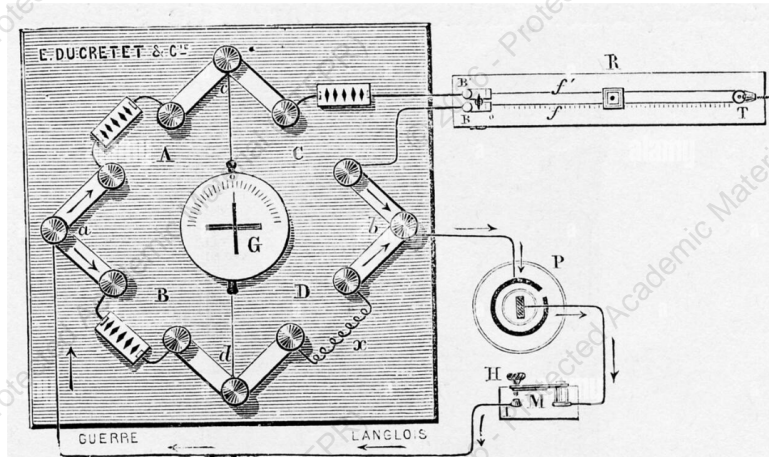


Figura 1: Ponte de WheatStone

O circuito foi desenvolvido por Samuel Hunter Christie em 1833.



Figura 2: Samuel H. Christie



Figura 3: Charles Wheatstone

Mas foi Charles Wheatstone quem se tornou famoso pela sua montagem, descrevendo o circuito cerca de 10 anos depois.

Abaixo, alguns aspectos.

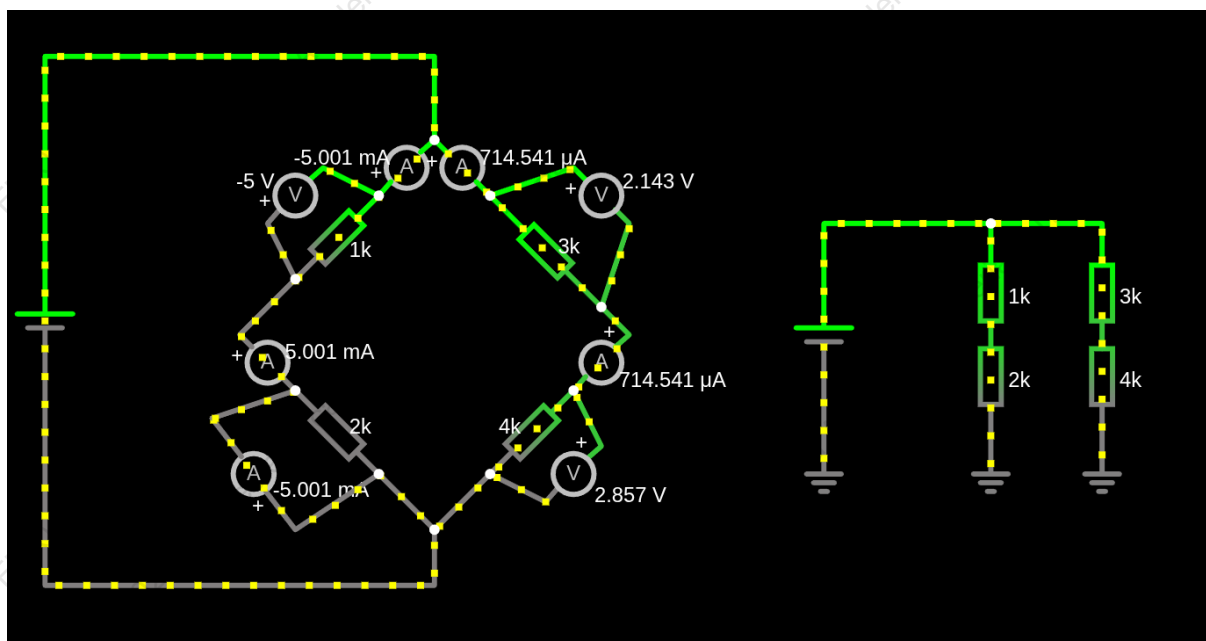


Figura 4: Ponte de Wheatstone

Podemos notar que os resistores de 1 kΩ e 2 kΩ estão em série, assim como os de 3 kΩ e 4 kΩ. Para uma ponte de Wheatstone equilibrada, a relação entre os resistores é dada pelo produto cruzado:

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$$

## 4. Procedimento Experimental

**4.1.** Monte o circuito da Figura 1 em sua bancada (*protoboard*). Meça os valores de  $V_{AB}$  para o circuito mostrado na Figura 1 quando  $R_x$  tiver os valores de  $1k\Omega$ ,  $2.2k\Omega$  e  $4.7k\Omega$ . Em seguida, apresente os resultados na Tabela 1, junto com os resultados do pós-laboratório. Por fim, comente os resultados.

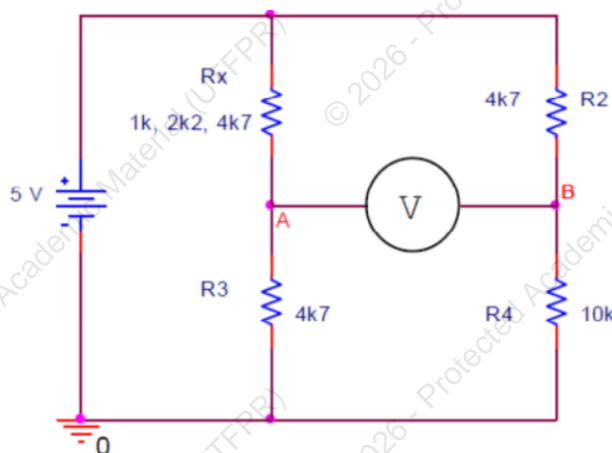
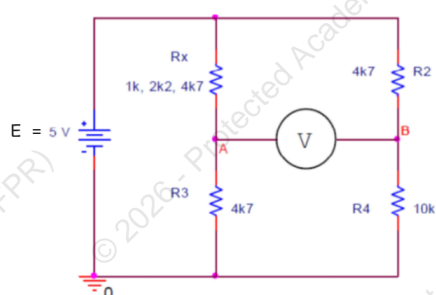


Figura 5: Circuito para prática de Ponte de Wheatstone

Tabela 1 - Tabela com dados simulados e medidos do circuito da figura 1

	Resistência $R_x$			Tensão $V_{AB}$		
	Teórico ( $\Omega$ )	Medido ( $\Omega$ )	Erro (%)	Teórico (V)	Medido (V)	Erro (%)
1	1000	997	0.30	0.7214	0.744	3.19
2	2200	2149	2.32	0.0044	0.033	25
3	4700	4662	0.81	-0.9013	-0.881	2.25



Tensão entre ponto A e B

$$V_{ab} = V_a - V_b$$

Divisor de Tensão

$$V_a = \frac{E \cdot (R_3)}{R_x + R_3} \quad \left| \quad V_b = \frac{E \cdot (R_4)}{R_2 + R_4} \right.$$

$$V_b = \frac{5 \cdot 10}{4,7 + 10} = \frac{50}{14,7} = 3,40136054$$

$$V_{a1} = \frac{5 \cdot 4,7}{1 + 4,7} = \frac{23,5}{5,7} = 4,12280702$$

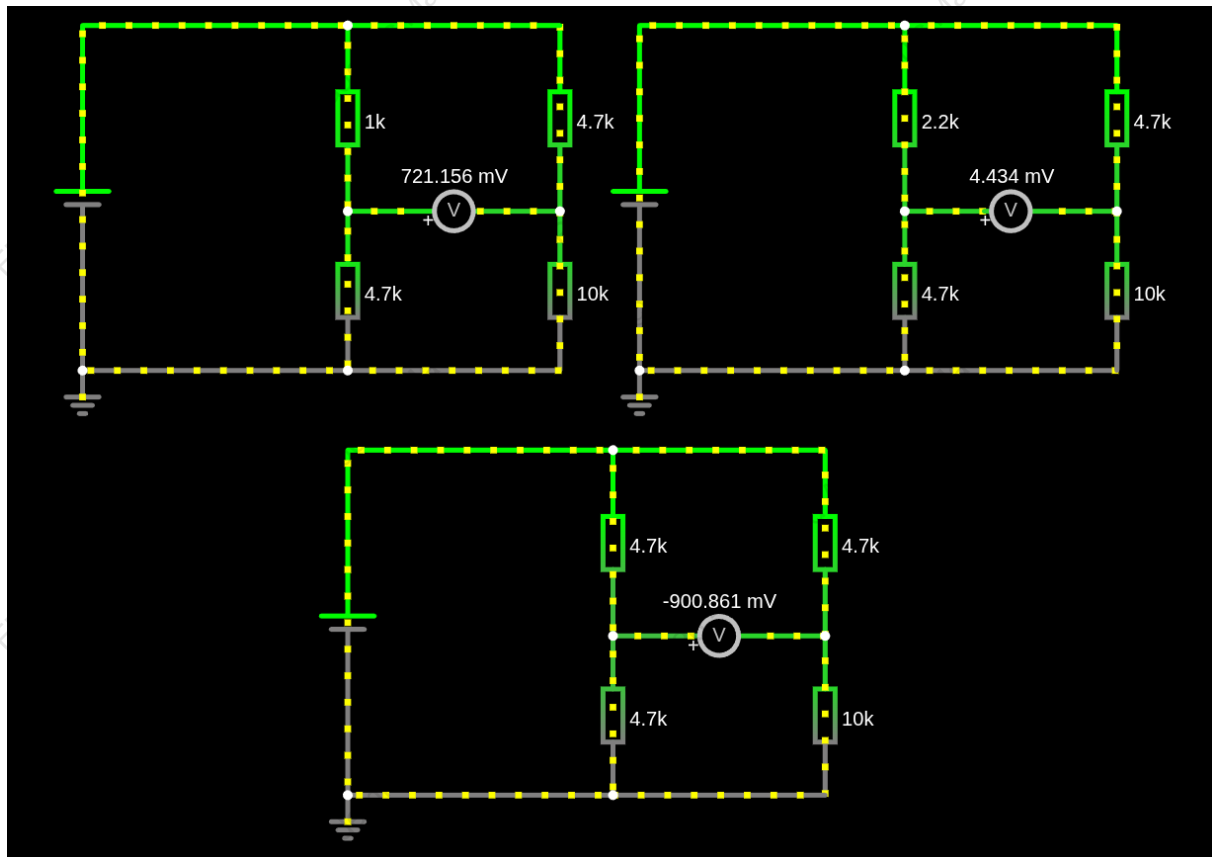
$$V_{a2,2} = \frac{5 \cdot 4,7}{2,2 + 4,7} = \frac{23,5}{6,9} = 3,4057971$$

$$V_{a4,7} = \frac{5 \cdot 4,7}{4,7 + 4,7} = \frac{23,5}{9,4} = 2,5$$

$$V_{ab} = V_{a1} - V_b = 4,12280702 - 3,40136054 = 0,72144648$$

$$V_{ab} = V_{a2,2} - V_b = 3,4057971 - 3,40136054 = 0,00443656$$

$$V_{ab} = V_{a4,7} - V_b = 2,5 - 3,40136054 = -0,90136054$$

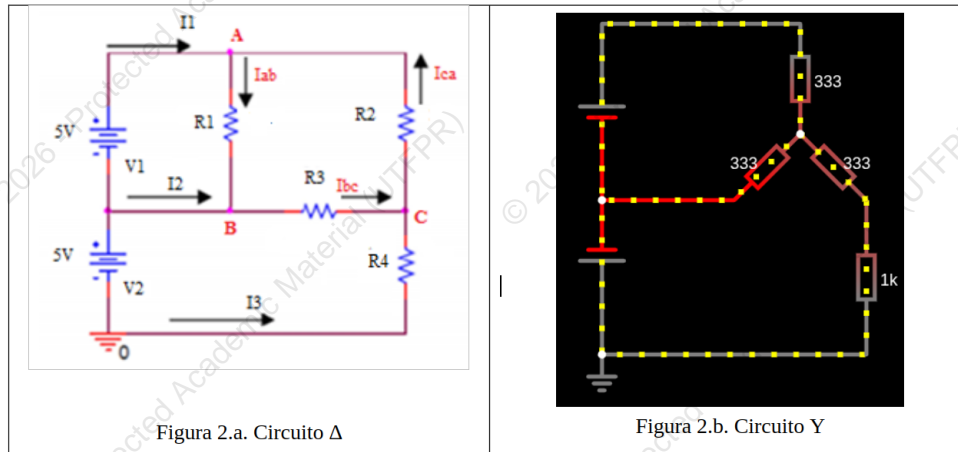


**Comentários:** Podemos perceber, em primeiro lugar, que os valores teóricos e reais são bem próximos, perdendo apenas um pouco de valor devido a fatores de ambientes, descrita também na faixa de tolerância do resistor, no qual representa um desvio aceitável entre o valor real de resistência e o valor nominal. Em outras palavras, o resistor de  $1\text{k}\Omega$  tem 5% de tolerância, podendo variar de valores entre  $950\Omega$  e  $1050\Omega$ .

Podemos notar também alguns aspectos da ponte de Wheatstone, como a composição de resistores em série e, durante o desenvolvimento dos cálculos, o resistor de valor  $2\text{k}\Omega$  chegou bem próximo ao equilíbrio.



4.2. Construa, na mesma bancada, o circuito  $\Delta$  mostrado na Figura 2, assim como o equivalente Y resolvido no pós-laboratório. Faça o desenho do circuito Y equivalente no espaço indicado.



4.3. Meça todas as correntes e tensões pedidas no pós-laboratório para ambos os circuitos. Em seguida, apresente os resultados nas Tabelas 2.a e 2.b, juntamente com os dados do pós-laboratório. Por fim, comente seus resultados.

Tabela 2.a – Tabela com dados simulados e medidos do circuito  $\Delta$  e Y das figuras 2a. e 2b.

Resistência [ $\Omega$ ] - $\Delta$				Resistência [ $\Omega$ ] - $\gamma$	
$\Delta$	(teórico)	(medido)	Erro [%]	$\gamma$	(medido)
$R_1$	1k $\Omega$	0.9891 $\Omega$	1.09%	$R_A$	0.333 $\Omega$
$R_2$	1k $\Omega$	0.979 $\Omega$	2.10%	$R_B$	0.333 $\Omega$
$R_3$	1k $\Omega$	0.980 $\Omega$	2.00%	$R_C$	0.333 $\Omega$

Tabela 2.b – Tabela com dados simulados e medidos do circuito  $\Delta$  da figura 2

Dados - Corrente [A]				Dados - Tensão [V]			
[A]	(teórico)	(medido)	Erro [%]	[V]	(teórico)	(medido)	Erro [%]
$I_1$ [A]	10 mA	10 mA	0	$V_{AB\Delta}$ [V]	5 V	5.972 V	19.44
$I_2$ [A]	-5.00 mA	-4.96 mA	0.8	$V_{BC\Delta}$ [V]	0 V	0 V	0
$I_3$ [A]	5 mA	5.05 mA	1	$V_{CA\Delta}$ [V]	5 V	4.993 V	0.14
$I_{AB}$ [A]	5 mA	X	X	$V_{AB\gamma}$ [V]	5 V	X	X
$I_{BC}$ [A]	166 nA	X	X	$V_{BC\gamma}$ [V]	1.834 mV	X	X
$I_{CA}$ [A]	5 mA	X	X	$V_{CA\gamma}$ [V]	4.998 V	X	X

**Comentários:** Nesse caso, temos a mesma questão da tolerância dos resistores, mas, além disso, podemos observar poucos desvios nos valores da corrente e alguns mais avantajados nos dados de tensão. Isso se deve ao fato de não usarmos o valor íntegro do resistor, pois sempre existe essa variação que afeta o produto final, ou seja, o resultado. Podemos notar também que, na conversão de delta para estrela, tivemos resultados extremamente parecidos e semelhantes, confirmando que ambas as configurações têm efeitos similares. Além disso, de forma breve, por conta da escolha de usarmos resistores de mesmo valor, algumas faixas teóricas não tiveram valor devido à ausência da diferença de tensão. Na prática, tivemos valores por conta de uma corrente chamada **espúria**, que é como se fosse uma **sujeira** e, por fim, uma das fontes estava com valor de 4.950 V, permitindo uma mínima diferença.

4.4. Construa, na mesma bancada, o circuito Y mostrado na Figura 3, e o equivalente  $\Delta$  simulado do pós-laboratório. Faça o desenho do circuito  $\Delta$  equivalente.

4.5. Em seguida, meça todas as correntes e tensões pedidas no pós-laboratório para ambos os circuitos, apresentando os resultados, juntamente com os obtidos no pós-laboratório, nas Tabelas 3.a e 3.b. Comente os resultados.

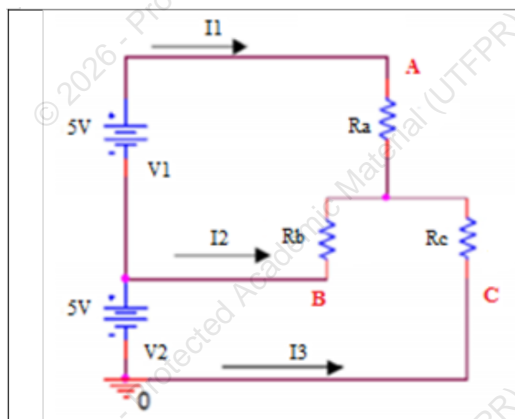


Figura 3.a. Circuito Y

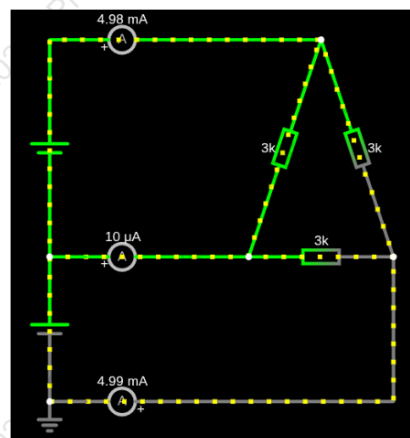


Figura 3.b. Circuito  $\Delta$

Tabela 3.a – Dados simulados e medidos dos circuitos Y e  $\Delta$  das Figuras 3.a e 3.b

Resistência [ $\Omega$ ] - $\gamma$				Resistência [ $\Omega$ ] - $\Delta$	
$\gamma$	(teórico)	(medido)	Erro [%]	$\Delta$	(medido)
$R_1$	1k $\Omega$	0.9891 $\Omega$	1.09%	$R_A$	3k $\Omega$
$R_2$	1k $\Omega$	0.979 $\Omega$	2.10%	$R_B$	3k $\Omega$
$R_3$	1k $\Omega$	0.980 $\Omega$	2.00%	$R_C$	3k $\Omega$

Tabela 3.b – Dados simulados e medidos do circuito Y da Figura 3

Dados - Corrente [A]				Dados - Tensão [V]			
[A]/[V]	(teórico)	(medido)	Erro [%]	[V]	(teórico)	(medido)	Erro [%]
$I_1$ [A]	5 mA	5.06 mA	1.2	$V_{AB\gamma}$ [V]	4.97 V	4.975 V	0.10
$I_2$ [A]	-10 $\mu$ A	-11.9 $\mu$ A	19	$V_{BC\gamma}$ [V]	5 V	4.980 V	0.4
$I_3$ [A]	4.99 mA	5.05 mA	1.2	$V_{CA\gamma}$ [V]	9.97 V	9.970 V	0
$V_{RA}$ [V]	4.98 V	4.974 V	0.12	$V_{AB\Delta}$ [V]	4.97 V	X	X
$V_{RB}$ [V]	10 mV	13 mV	30	$V_{BC\Delta}$ [V]	5 V	X	X
$V_{RC}$ [V]	4.99 V	4.995 V	0.10	$V_{CA\Delta}$ [V]	9.97 V	X	X

**Comentários:** Nesse caso, temos as mesmas características vistas anteriormente, como o fato da tolerância variar os valores dos resistores e o fato de ainda existir uma corrente espúria ou sujeira por causa dos valores de resistência repetidos. Temos um circuito com uma margem de erro bem baixa também e, além disso, temos o aspecto da transformação de estrela para delta aqui também, no qual, como aspecto comum, os valores das tensões não mudam por conta da configuração. Em observação, essa conversão é um artifício matemático que equivale essa configuração, ou seja, um delta equivale a uma estrela e vice-versa.