

# Laboratório de Circuitos Elétricos

Prof. Dr. Walter jaimes salcedo / Prof. Dr. Marcel stefan wagner  
EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de são Paulo  
PSI-3212 – Curso de graduação em engenharia





# Laboratório de Circuitos Elétricos

## Aula 01

---

PROF. DR. WALTER JAIMES SALCEDO  
PROF. DR. MARCEL STEFAN WAGNER

USP – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

EP – ESCOLA POLITÉCNICA

PSI-3212 – LABORATÓRIO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA



# LABORATÓRIO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

## INTRODUÇÃO AO MULTÍMETRO

---

Agradecimentos:

Prof. Dr. Leopoldo Yoshioka por informações sobre o experimento 1



# Laboratório de Circuitos Elétricos

## Apresentação da Disciplina PSI3212

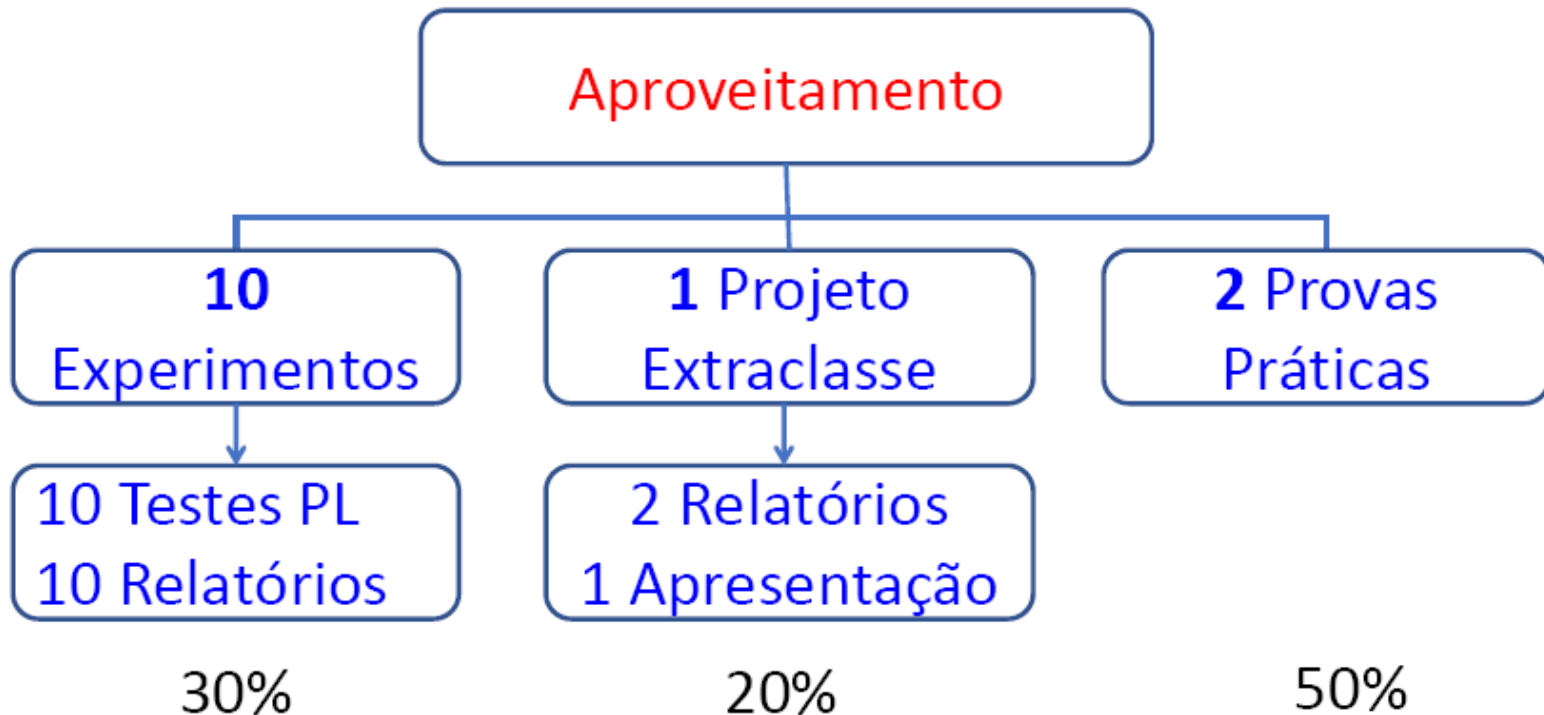
O **objetivo** da disciplina é **desenvolver** as seguintes **habilidades e capacidades**:

- **Montar** circuitos elétricos em *protoboard* e PCI
- Realizar **medidas elétricas** utilizando **instrumentos** de bancada
- Compreender as **características** elétricas de **componentes eletrônicos**
- Analisar o **comportamento** de circuitos elétricos no domínio do **tempo** e **frequência** (resposta transitória e em regime)
- Conhecer algumas **aplicações** de circuitos elétricos

# Laboratório de Circuitos Elétricos



# Laboratório de Circuitos Elétricos



**$N = 0,3RE + 02PJ + 05MP$  se  $RE > 4,0$  e  $PJ > 4,0$  e  $MP > 4,0$**

**caso contrário  $N = \min\{RE, PJ, MP\}$**



# Laboratório – Experiência 1

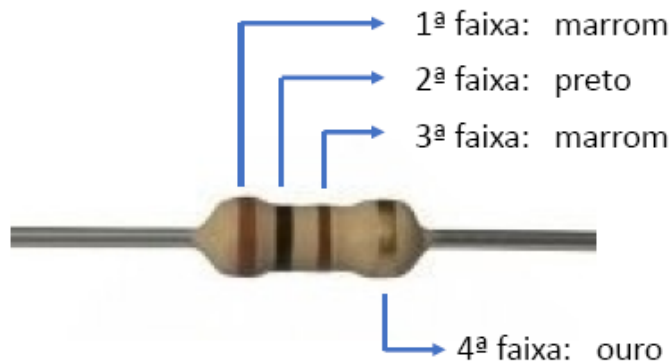
---

O **objetivo** desta experiência é **desenvolver** as seguintes **habilidades e capacidades**:

- Identificar o valor da **resistência nominal** por meio de código de cores
- Medir resistências com Ohmímetro
- Calcular incertezas das medições
- Montar circuitos utilizando *protoboard*
- Alimentar um circuito com fonte de tensão
- Medir tensões e correntes (em CC ou DC) utilizando multímetro
- Avaliar a dissipação de calor e o limite de um resistor

# Experiência 1

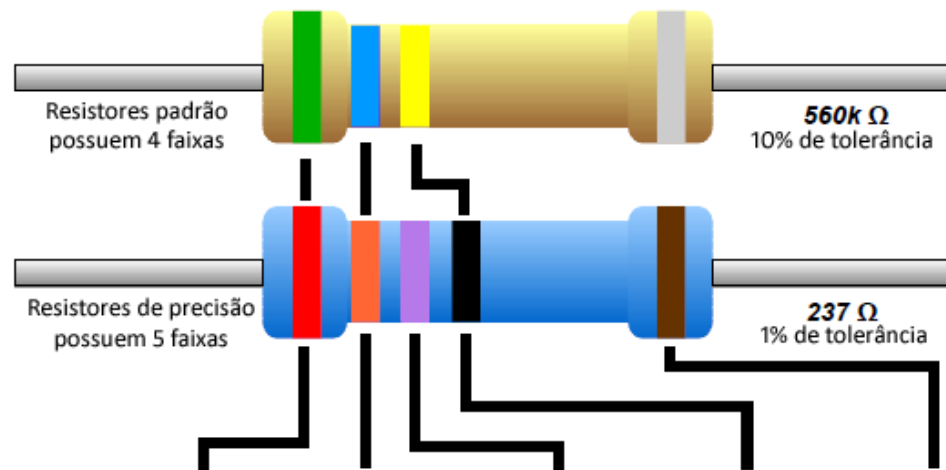
Representação de valor nominal de um resistor por meio de código de cores:



Valor nominal =  $10 \times 10 = 100 \Omega (\pm 5\%)$

## Código de Cores

A extremidade com mais faixas deve apontar para a esquerda

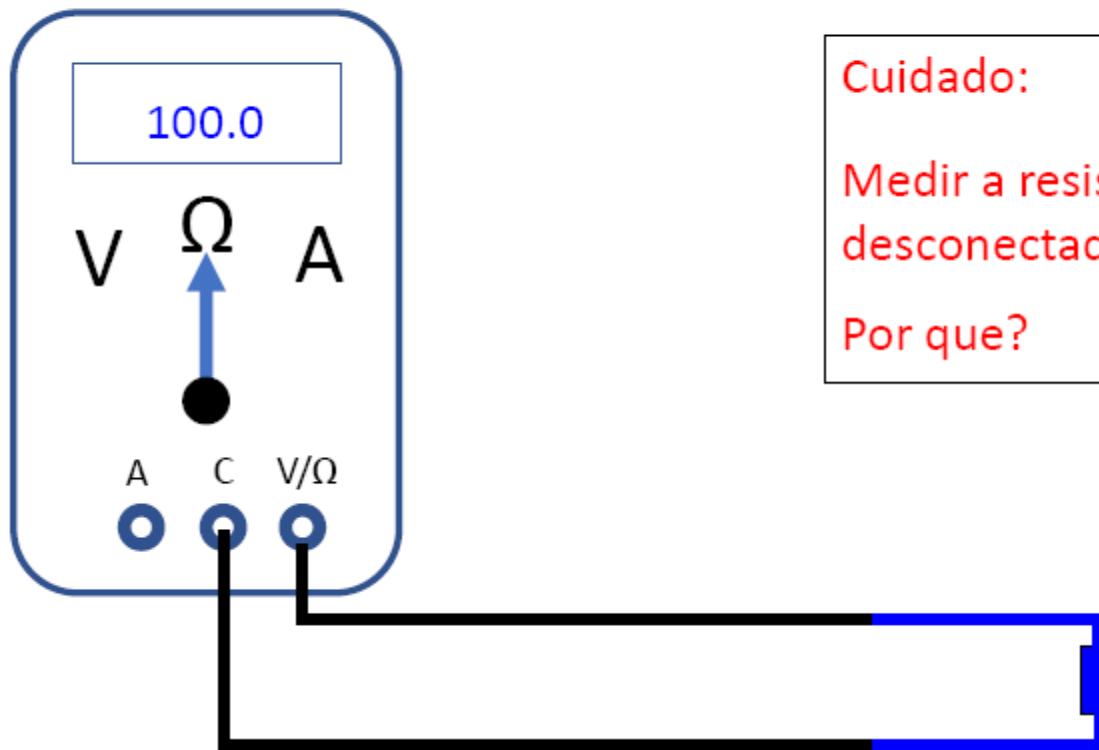


Cor	1ª Faixa	2ª Faixa	3ª Faixa	Multiplicador	Tolerância
Preto	0	0	0	x 1 Ω	
Marrom	1	1	1	x 10 Ω	+/- 1%
Vermelho	2	2	2	x 100 Ω	+/- 2%
Laranja	3	3	3	x 1K Ω	
Amarelo	4	4	4	x 10K Ω	
Verde	5	5	5	x 100K Ω	+/- .5%
Azul	6	6	6	x 1M Ω	+/- .25%
Violeta	7	7	7	x 10M Ω	+/- .1%
Cinza	8	8	8		+/- .05%
Branco	9	9	9		
Dourado				x .1 Ω	+/- 5%
Prateado				x .01 Ω	+/- 10%



# Experiência 1

## Medição de resistência utilizando um Ohmímetro:



Cuidado:

Medir a resistência  
desconectada do circuito

Por que?

# Laboratório – Experiência 1

## Medição de resistência utilizando um Ohmímetro:

- É recomendado utilizar cabos do tipo banana-jacaré para medir a resistência.



# Laboratório – Experiência 1

## Determinação de incerteza de medição de resistência:

### Resistance Measurement $\Omega$

Range	Resolution	Accuracy		Maximum Measuring Current	Open-loop Voltage	Input Protective Voltage
		TY710	TY720			
500 $\Omega$	0.01 $\Omega$			<1mA	<2.5V	1000V rms
5k $\Omega$	0.0001k $\Omega$	0.1+2	0.05+2	<0.25mA		
50k $\Omega$	0.001k $\Omega$	*1	*1	<25 $\mu$ A		
500k $\Omega$	0.01k $\Omega$			<2.5 $\mu$ A		
5M $\Omega$	0.0001M $\Omega$		0.5+2	<1.5 $\mu$ A		
50M $\Omega$	0.001M $\Omega$		1+2	<0.13 $\mu$ A		

\*1: Accuracy is specified after zero adjustment (resistance).

Response time: 1 sec max. at 500 $\Omega$  to 500k $\Omega$

5 sec max. at 5M $\Omega$  to 50M $\Omega$

 Exemplo

# Laboratório – Experiência 1

Exemplo de determinação da Incerteza Instrumental ( $I_I$ ) da Leitura ( $L$ ) de Resistência feita com o Multímetro TY-720 da Yokogawa:

Exemplo:

$L = 10,181 \text{ M}\Omega$

$FE = 50 \text{ M}\Omega$

$Res = 0,001 \text{ M}\Omega$

Valores obtidos da Tabela anterior, na coluna ACCURACY, para uma medida de resistência com Leitura ( $L$ ) em Fundo de Escala (FE) de  $50 \text{ M}\Omega$ , portanto, com valores  $1+2$ , desta forma tem-se a multiplicação da variação de  $1\%$  sobre  $L$  e o fator de multiplicação  $2$  para a Resolução.

$$I_I = \pm(1\% \cdot L + 2 \cdot Res) \rightarrow I_I = \pm\left(\frac{1}{100} \cdot 10,181 + 2 \cdot 0,001\right) \rightarrow$$
$$\rightarrow I_I = \pm\left(\frac{1}{100} \cdot 10,181 + 2 \cdot 0,001\right) \rightarrow I_I = \pm(0,01 \cdot 10,181 + 0,002) \rightarrow$$
$$\rightarrow I_I = \pm(0,10181 + 0,002) \rightarrow I_I = \pm(0,10381) \rightarrow I_I \cong \pm 0,104 \text{ M}\Omega$$

$$\therefore R = (10,181 \pm 0,104) \text{ M}\Omega$$

# Laboratório – Experiência 1

Exemplo de determinação do Erro Relativo ( $E_R$ ) de uma leitura de Resistência feita com o Multímetro TY-720 da Yokogawa:

Exemplo:

$$L = 10,181 \text{ M}\Omega$$

$$T = 10 \text{ M}\Omega$$

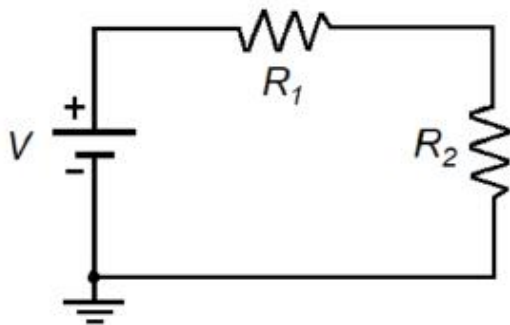
Calcula-se o Erro Relativo ( $E_R$ ) utilizando-se o valor medido de resistência, ou seja, a Leitura (L) feita com o uso do Multímetro, e o valor Teórico (T) obtido da leitura do Código de Cores do Resistor (R).

$$E_R = \frac{(L-T)}{L} \cdot 100 \% \rightarrow E_R = \frac{(10,181 - 10) \text{ M}\Omega}{10,181 \text{ M}\Omega} \cdot 100 \% \rightarrow E_R = \frac{0,181 \text{ M}\Omega}{10,181 \text{ M}\Omega} \cdot 100 \% \rightarrow$$
$$\rightarrow E_R = 0,01778 \cdot 100 \% \rightarrow E_R \cong 1,78 \%$$

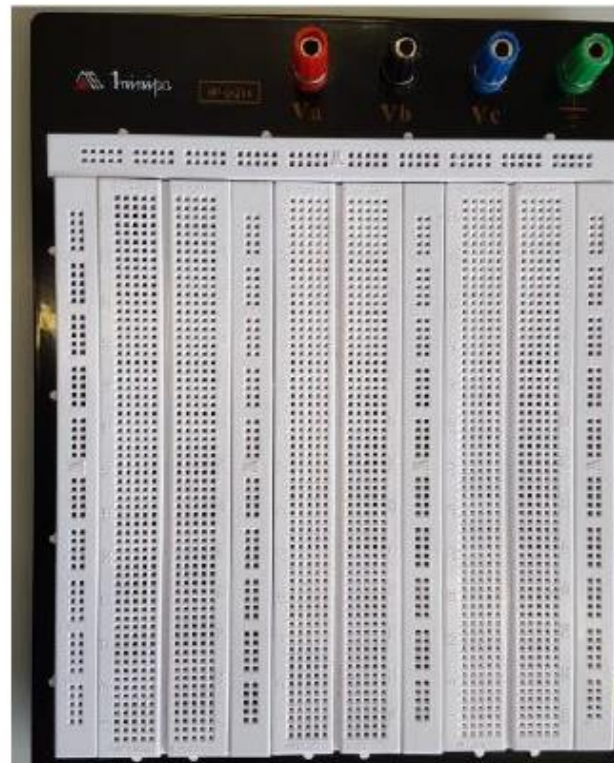
Resultado coerente, pois o valor de  $E_R$  ficou abaixo da Tolerância Nominal obtida da leitura do Código de Cores do Resistor, que no caso foi dourado, ou seja, 5 %.

# Laboratório – Experiência 1

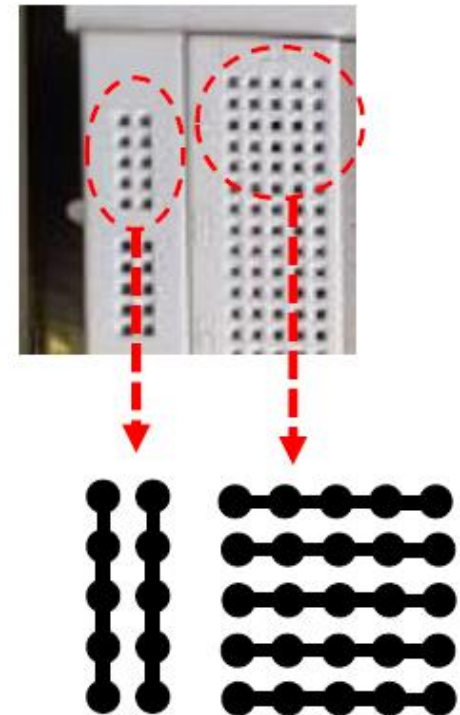
## Montagem de um circuito utilizando um Protoboard:



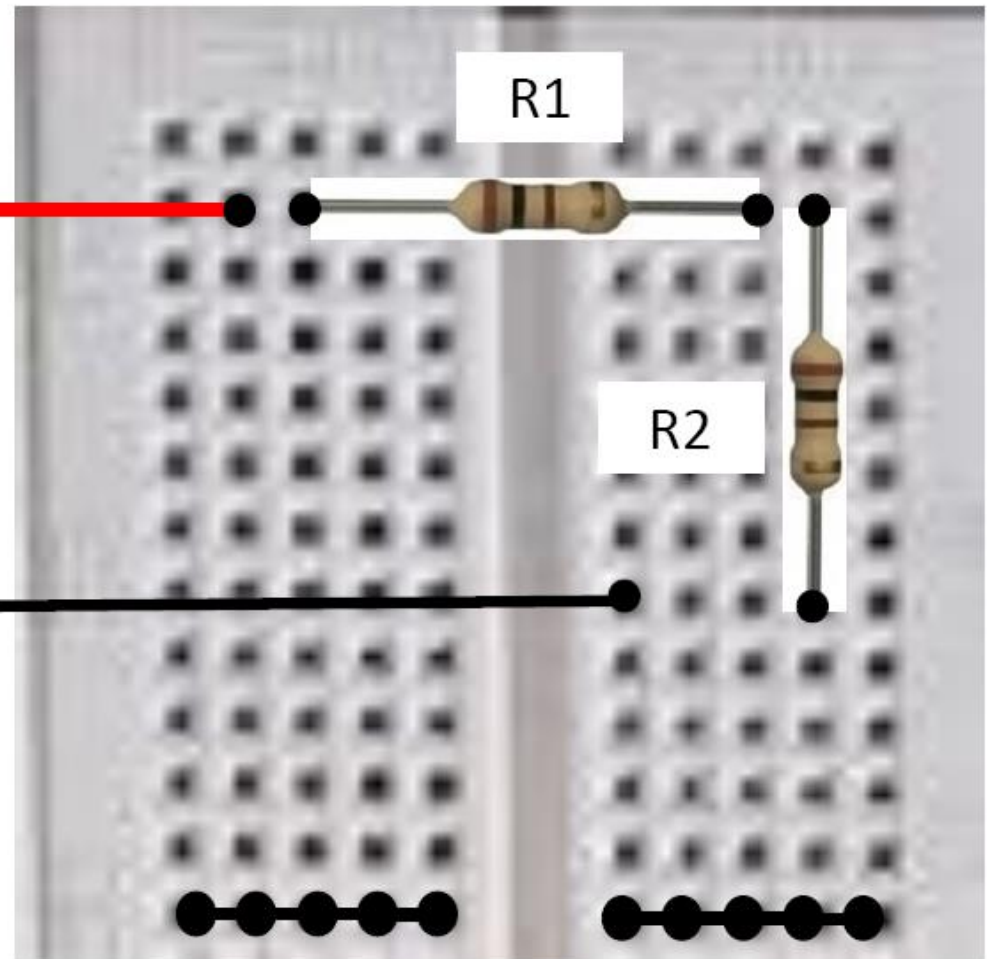
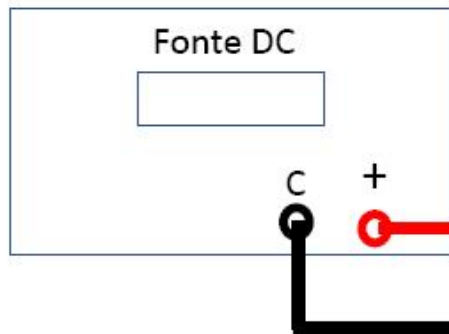
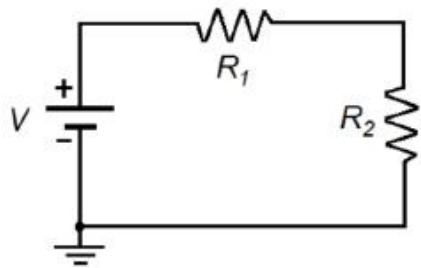
Circuito



Protoboard

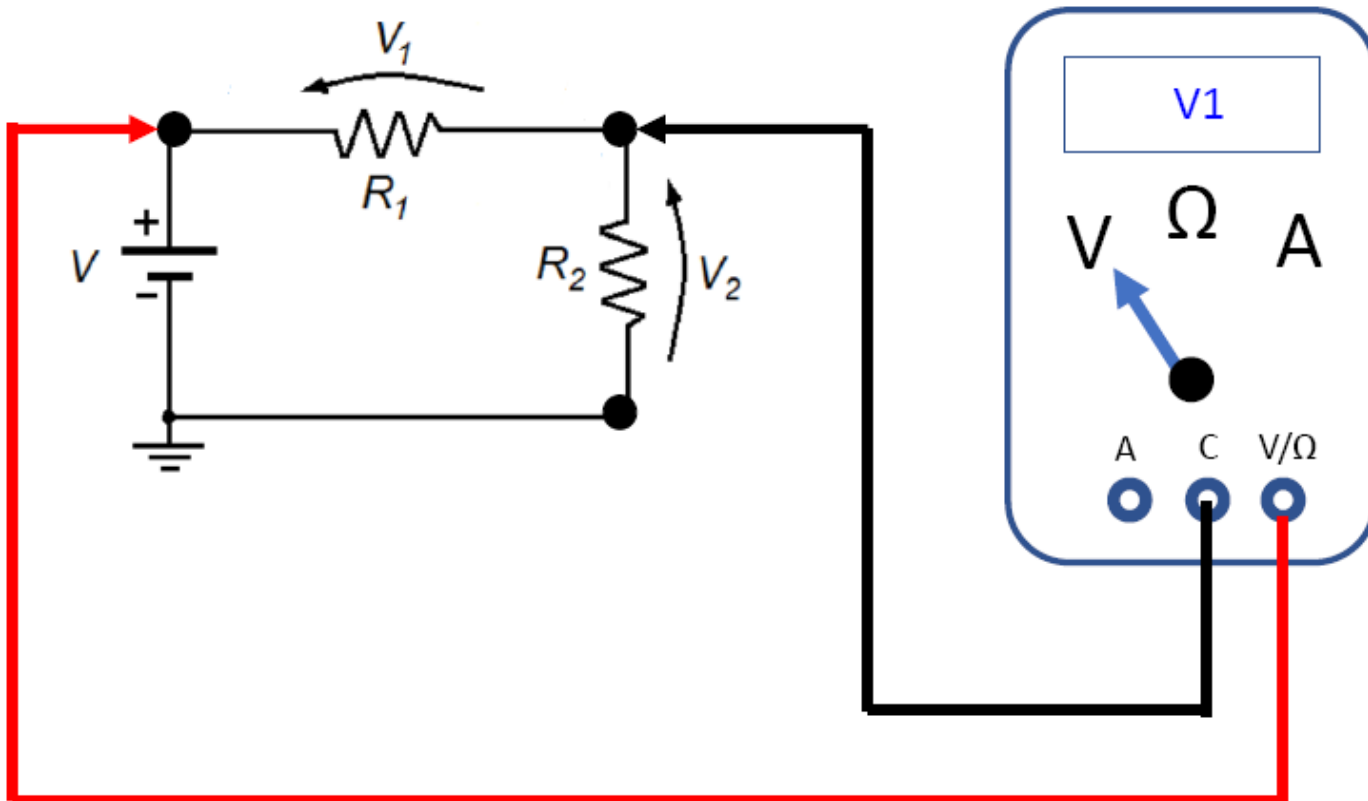


# Laboratório – Experiência 1



# Laboratório – Experiência 1

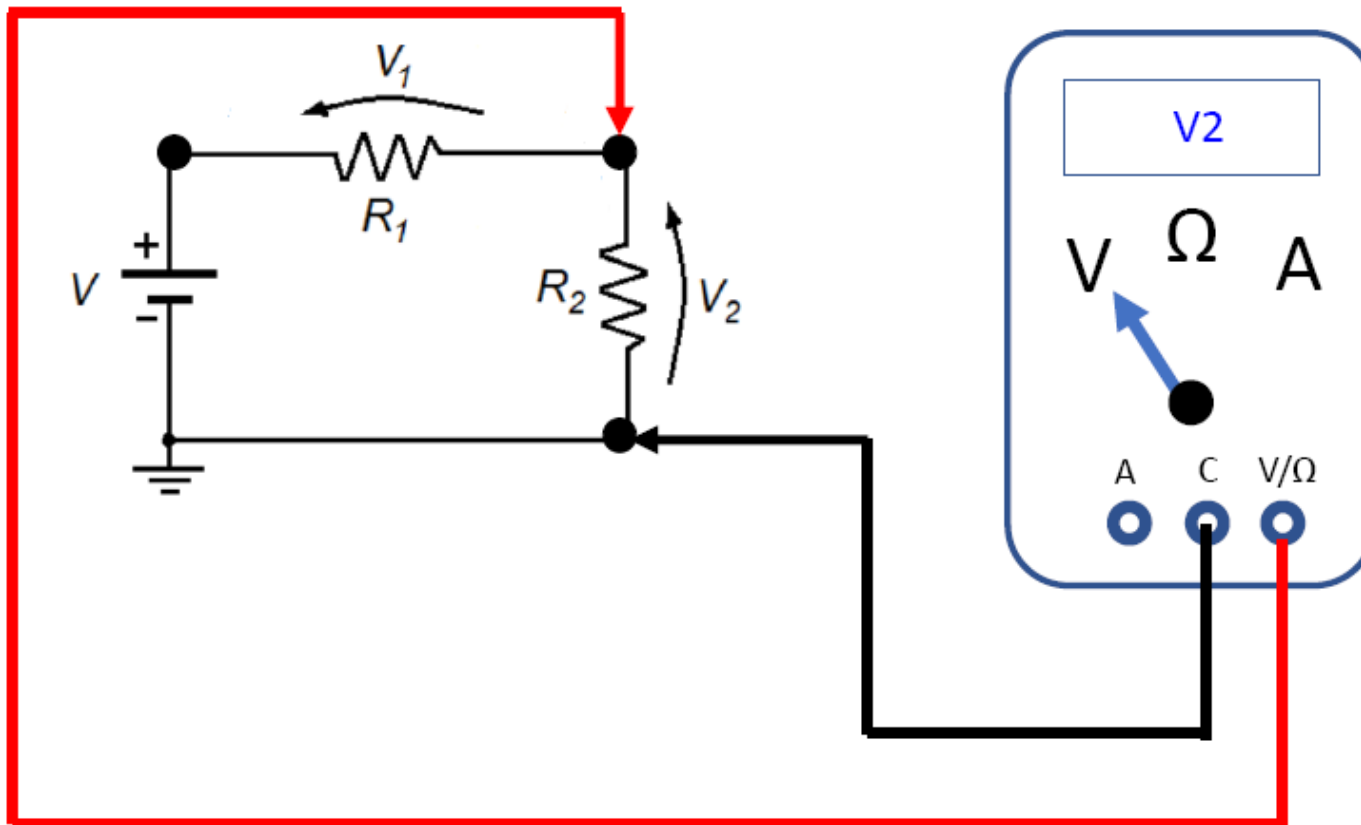
## Medição de tensão utilizando um Voltímetro:





# Laboratório – Experiência 1

## Medição de tensão utilizando um Voltímetro:



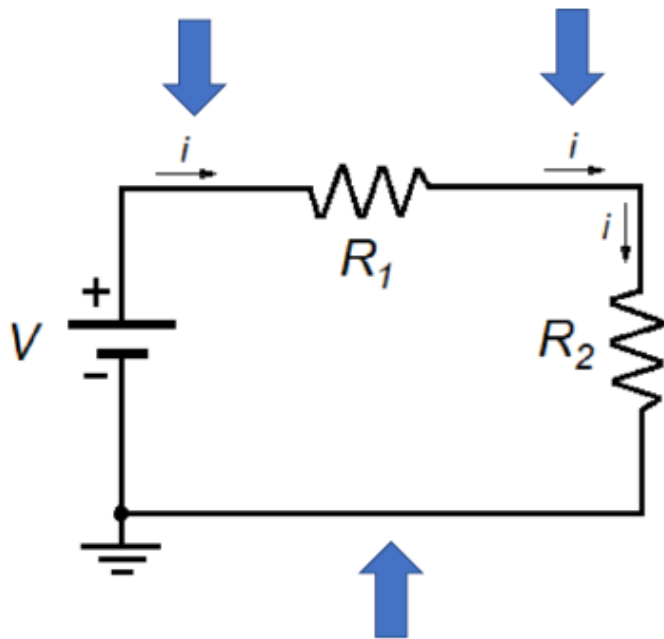
Atenção:

Lembrar que o voltímetro tem uma resistência interna da ordem de  $10M\Omega$

Por que isso é importante?

# Laboratório – Experiência 1

**Medição de corrente utilizando um Amperímetro:**

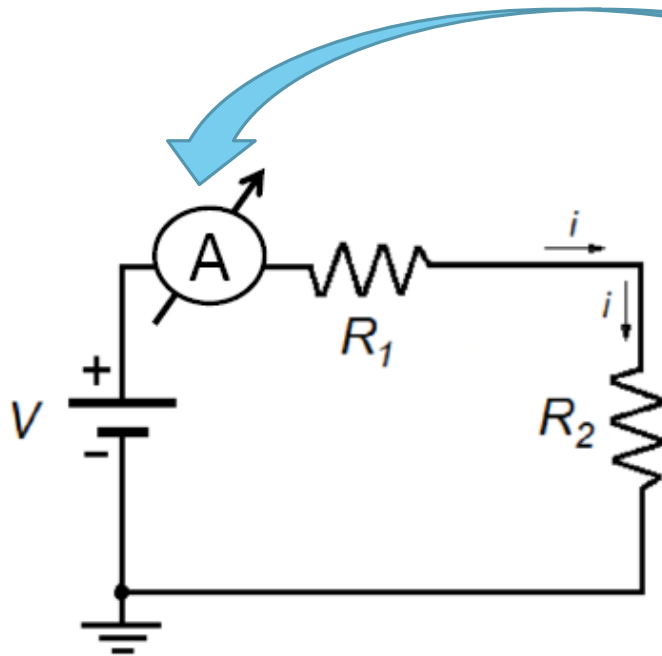


**O Amperímetro precisa ser ligado em série com o circuito !!!**

Existem 3 possibilidades

# Laboratório – Experiência 1

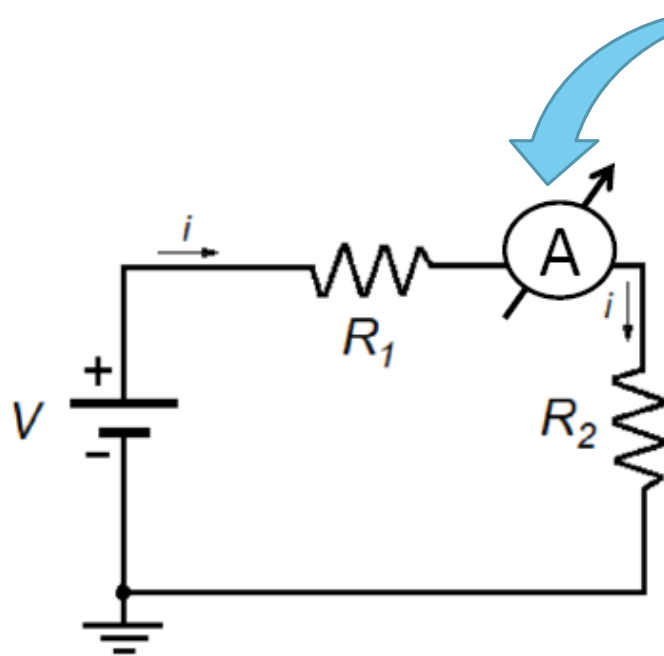
## Medição de corrente utilizando um Amperímetro:



Uma das possíveis posições para conectar o multímetro em série com o circuito, na função de amperímetro.

# Laboratório – Experiência 1

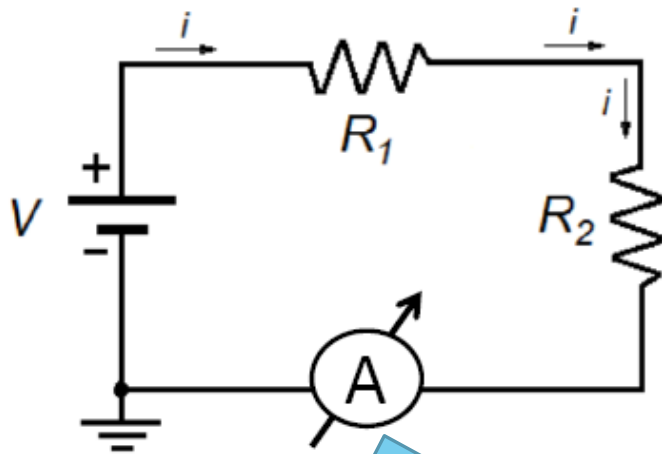
## Medição de corrente utilizando um Amperímetro:



Uma das possíveis posições para conectar o multímetro em série com o circuito, na função de amperímetro.

# Laboratório – Experiência 1

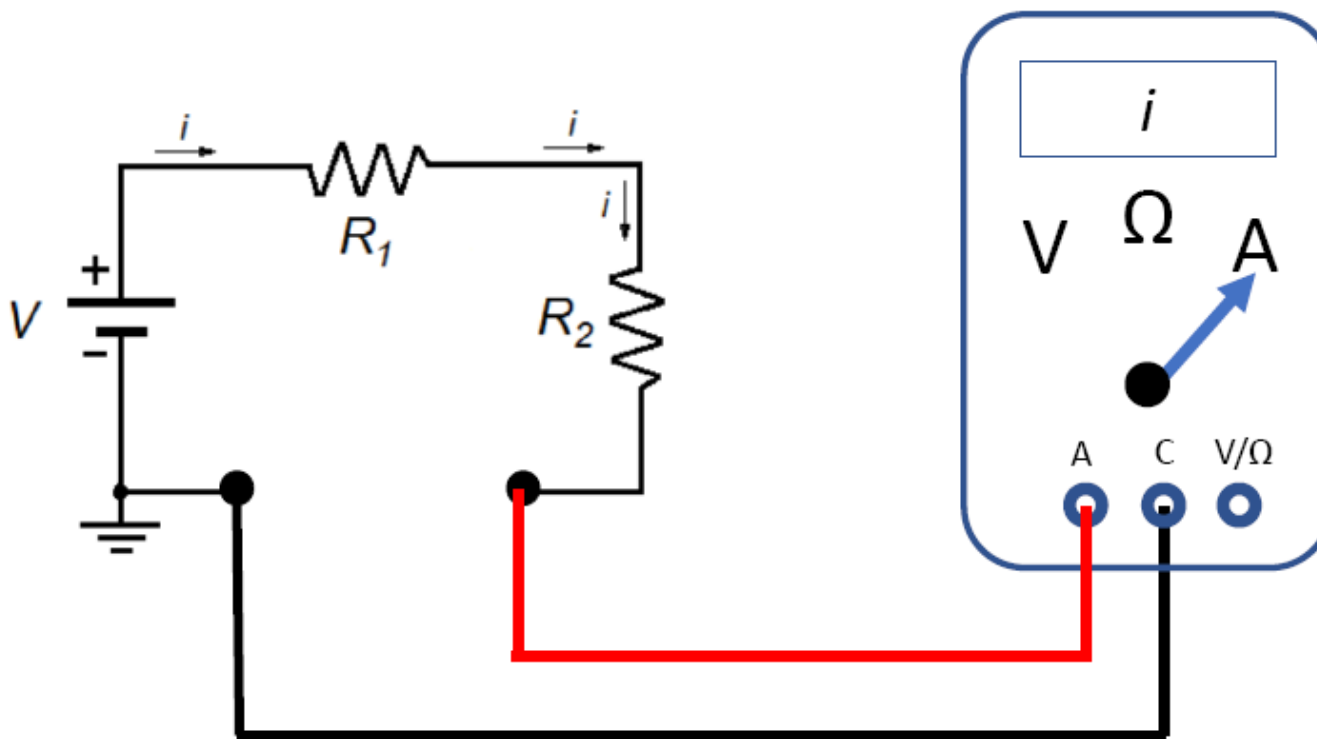
## Medição de corrente utilizando um Amperímetro:



Uma das possíveis posições para conectar o multímetro em série com o circuito, na função de amperímetro.

# Laboratório – Experiência 1

## Medição de corrente utilizando um Amperímetro:

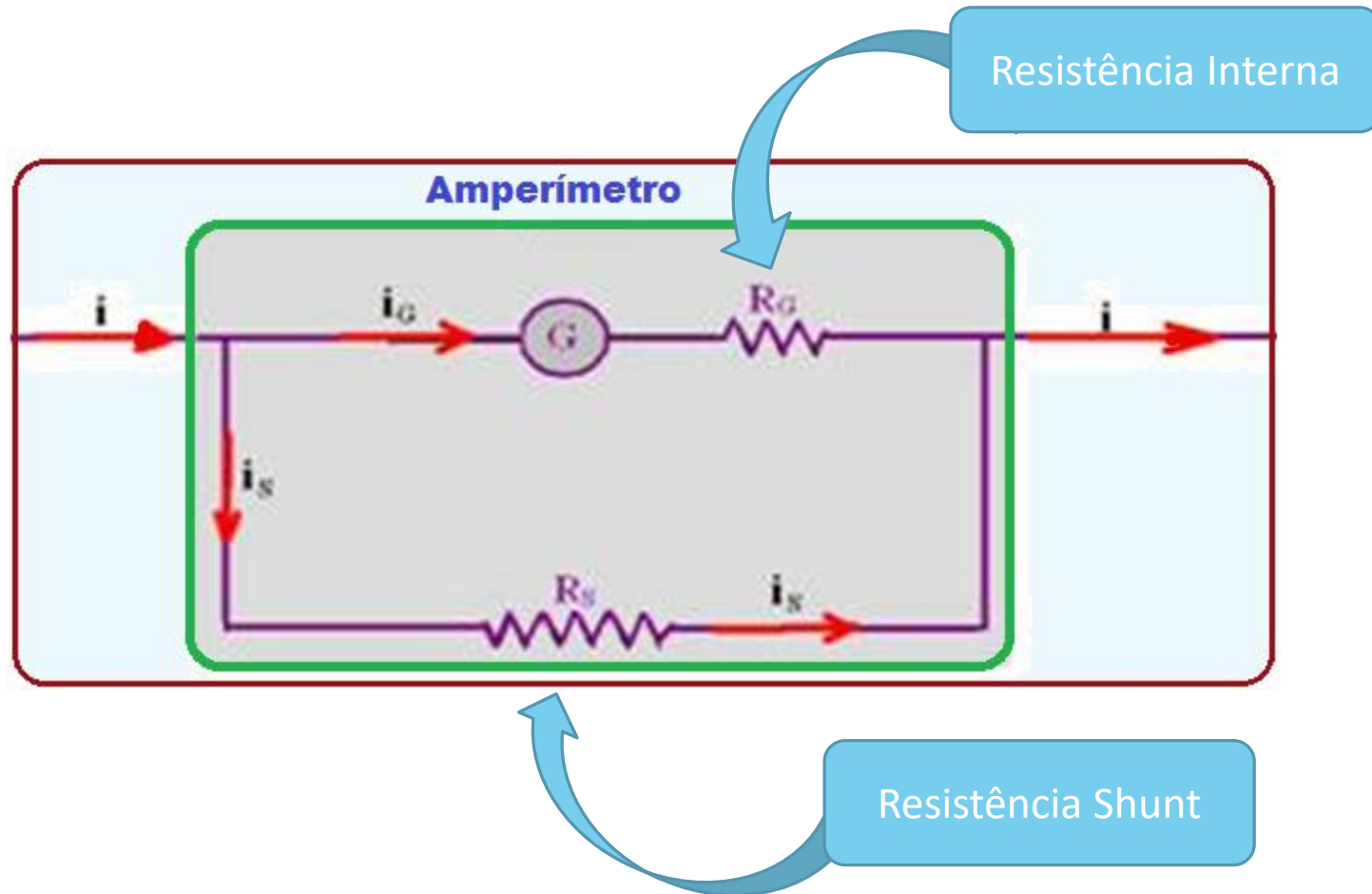


Atenção:

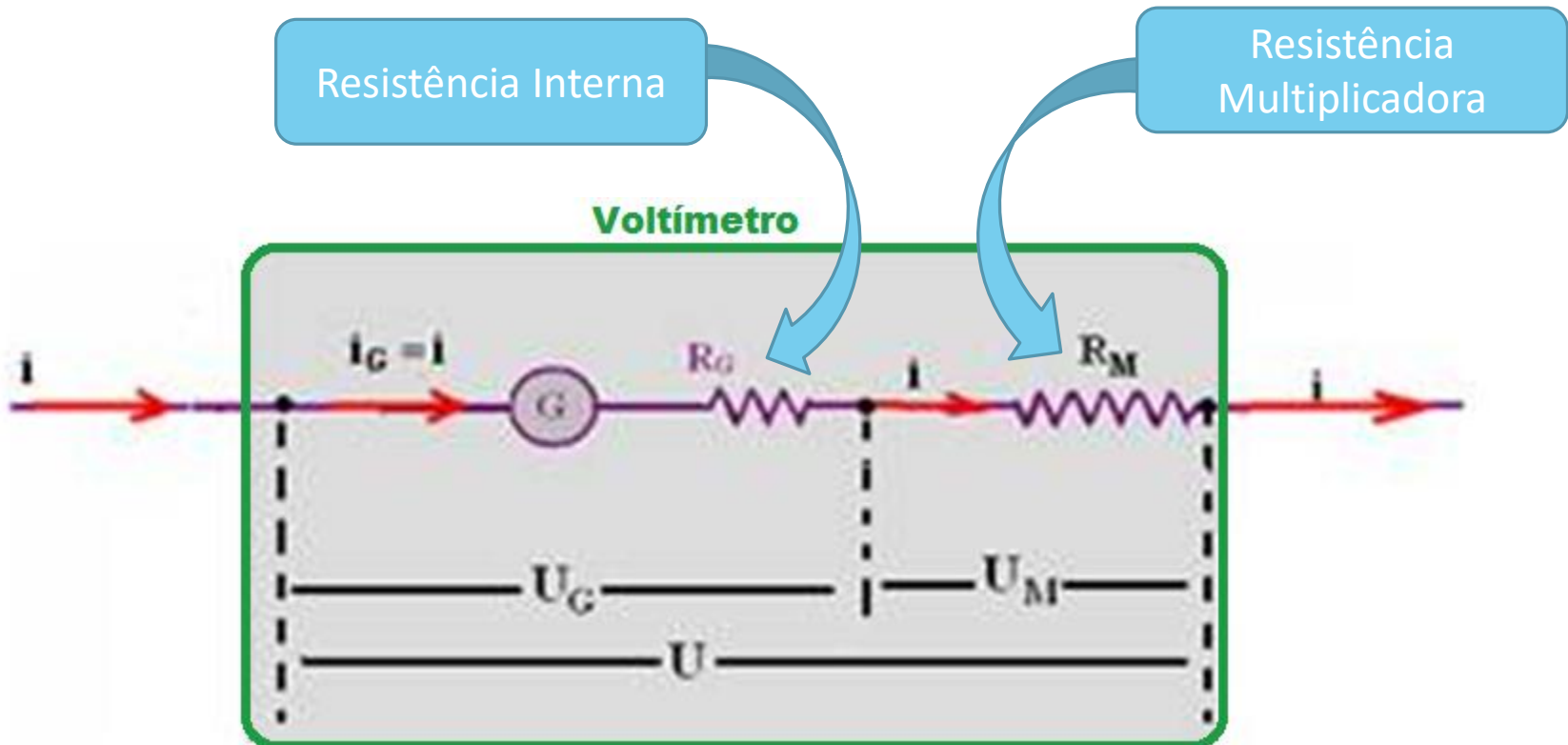
Lembrar que o amperímetro tem uma pequena resistência interna (*shunt*)

Por que isso é importante?

# Circuitos Internos com Galvanômetro



# Circuitos Internos com Galvanômetro





# Tipos de Resistores

## Película de carbón

- 5%, 10%
- Barato
- Propósito general



## Óxido metálico

- Mayor potencia



## Película metálica

- Precisión 1%
- Alto desempeño



## Alambre

- Alta potencia,  
Alta corriente

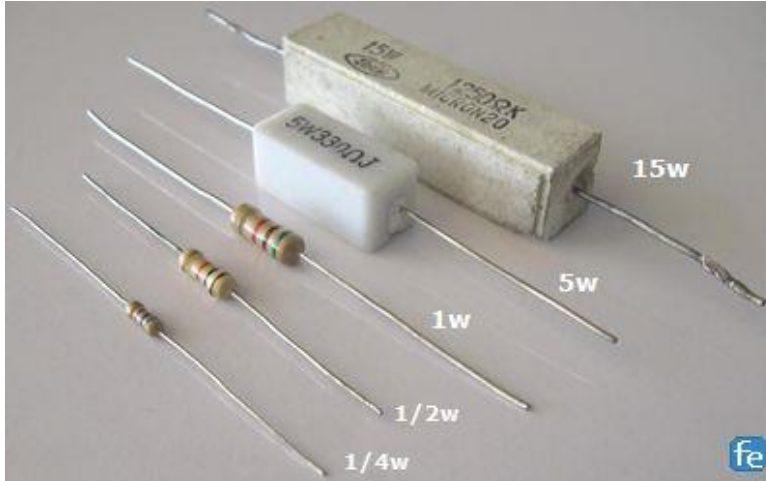


**SMD para circuitos impresos**

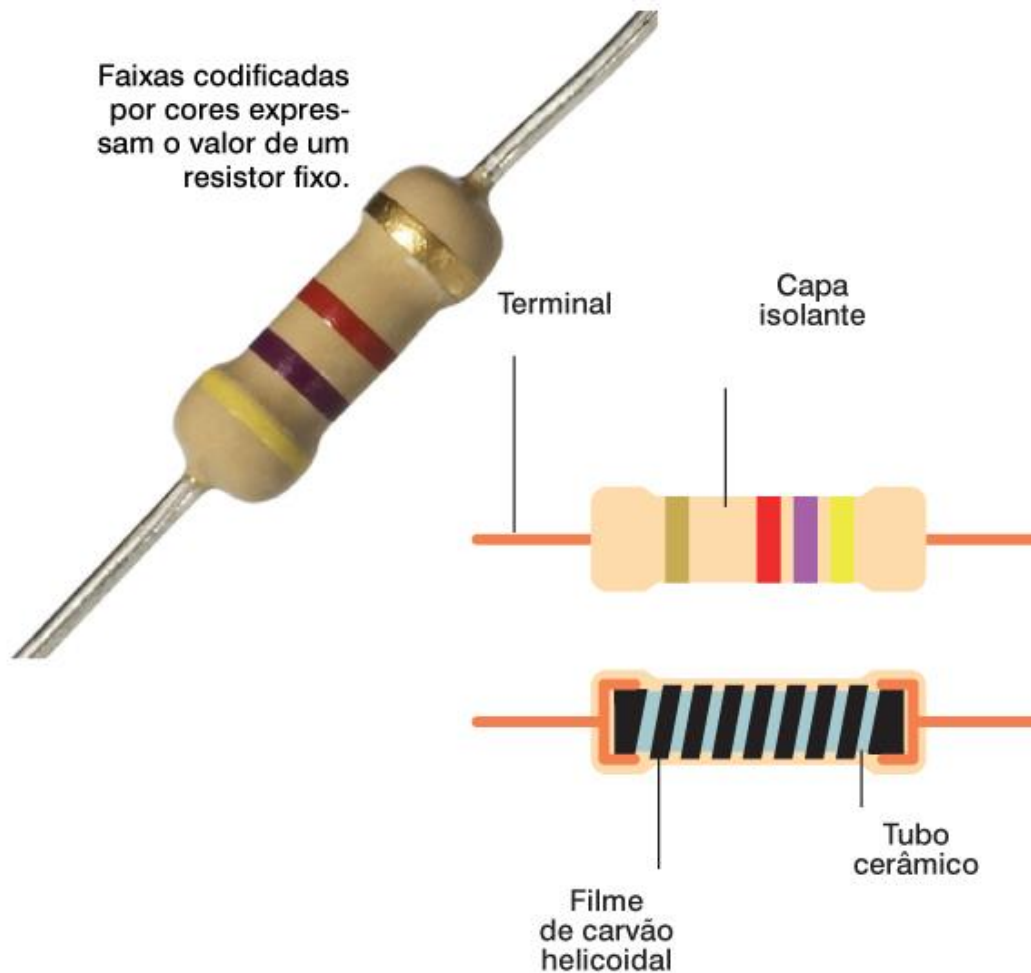
## Alta Potencia



# Resistores – Tamanho e Potência



# Visão interna de Resistores

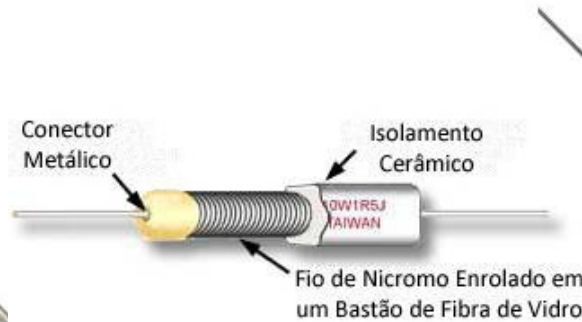


# Visão interna de Resistores

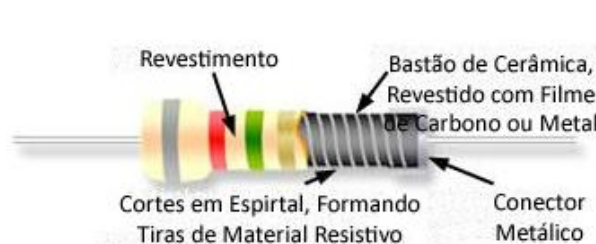
### Resistor de Carvão



### Resistor de Fio (Nicromo)



### Resistor de Filme Metálico/Carvão





# Resistores SMD (*Surface Mount Device*)

## 1.1.5 – Valores nominais padronizados

O valor nominal de resistência dos resistores comerciais é padronizado definido pelo IEC, sendo disponíveis as séries E12, E24, E48, E96 e E192. A tabela a seguir mostra valores para as séries E12, E24 e E48.

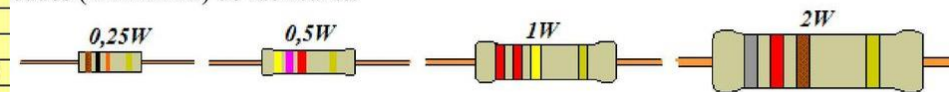
Valores de resistências normalizadas das series IEC E12-E24-E48												
<b>E12</b>	1.0	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2
<b>E24</b>	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0
	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1
<b>E48</b>	1.0	1.05	1.10	1.15	1.21	1.27	1.33	1.40	1.47	1.54	1.62	1.69
	1.78	1.87	1.96	2.05	2.15	2.26	2.37	2.49	2.61	2.74	2.87	3.01
	3.16	3.32	3.48	3.65	3.83	4.02	4.22	4.42	4.64	4.87	5.11	5.36
	5.62	5.90	6.19	6.49	6.81	7.15	7.50	7.87	8.25	8.66	9.09	9.53
Tolerâncias: E12+/-10% E24+/- 5% E48+/- 2%												
Valores de resistências em $\Omega$ , k $\Omega$ , M $\Omega$ .												

Os resistores são fabricados com resistências nominais de valores múltiplos desses vistos nas tabelas, por exemplo:  $1\Omega$  –  $10\Omega$  –  $100\Omega$  –  $1k\Omega$ , etc.

Resistores SMD		
	1º. número=1º. dígito 2º. número=2º. dígito 3º. número=multiplicador	1200 $\Omega$
	1º. número=1º. dígito R=vírgula decimal 3º. número=multiplicador	1,6 $\Omega$

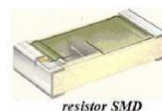
## 1.1.6 – Potência do resistor

O tamanho do resistor é um indicador da potência de um resistor. Em geral, quanto maior o tamanho do resistor de certo tipo, maior será sua capacidade de dissipação de potência em watts (W). A figura a seguir mostra diferentes tamanhos e potências dos resistores de filme de carbono. Para outros materiais utilizados na fabricação do resistor o tamanho pode variar e, portanto deve-se consultar as folhas de dados (*data sheets*) do fabricante.



## 1.1.7 – Resistores SMD

São resistores de pequeno tamanho utilizados em placas de circuitos impressos onde o componente é colado à superfície da placa. SMD – *Surface Mounted Device*.

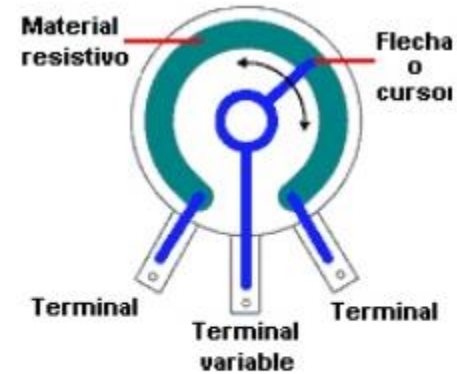
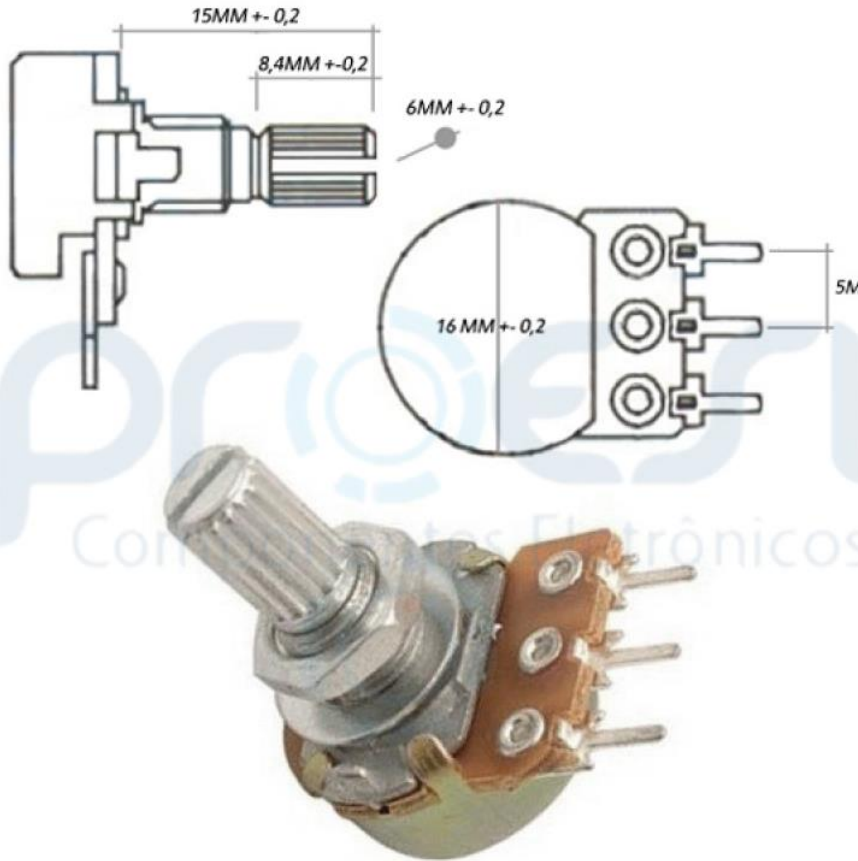


Resistores SMD		
	1º. número=1º. dígito 2º. número=2º. dígito 3º. número=multiplicador	1200 $\Omega$
	1º. número=1º. dígito R=vírgula decimal 3º. número=multiplicador	1,6 $\Omega$

## 1.2 – RESISTORES VARIÁVEIS, AJUSTÁVEIS E ESPECIAIS

Os resistores que permitem modificação do valor da resistência podem ser classificados em dois grupos: variáveis e ajustáveis. Existe um contato elétrico móvel nesses dispositivos, que permite modificar a resistência elétrica dentro de certa faixa de valores entre seus terminais.

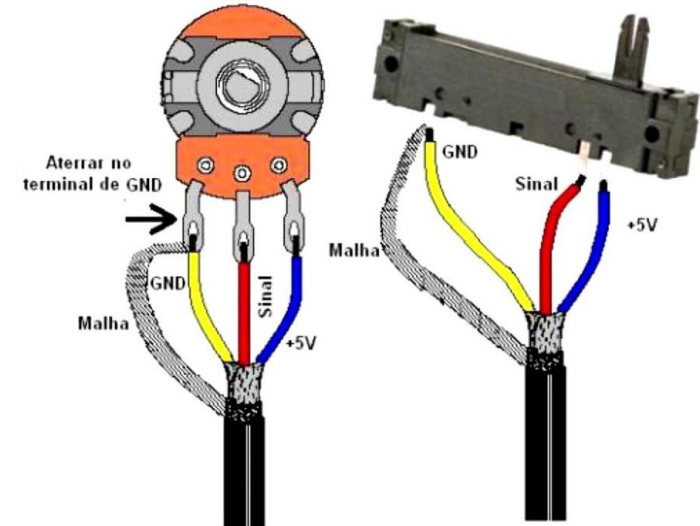
# Potenciômetro



$$R = \rho \frac{L}{S}$$

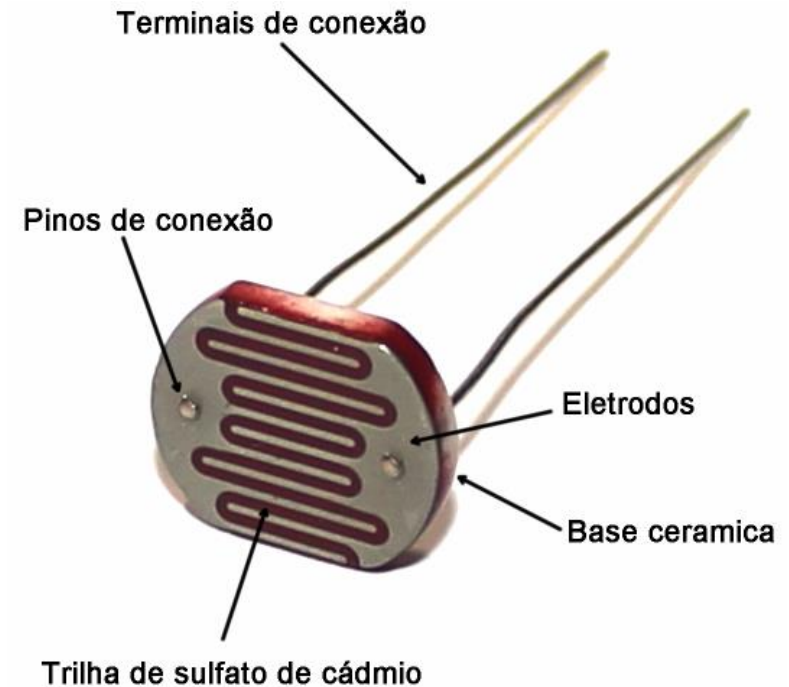
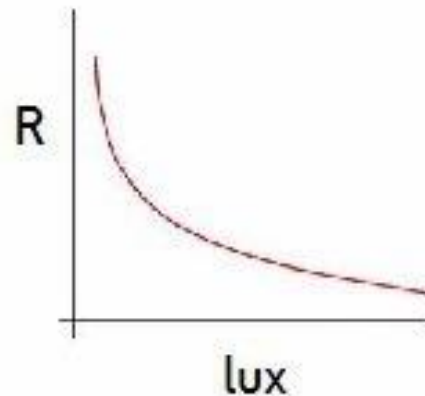
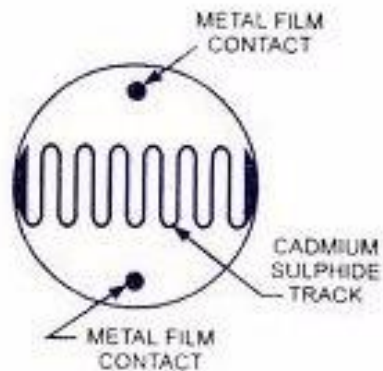
**Potenciômetro**  
*(Dispositivo Ôhmico: varia a resistência de forma linear. A resistência varia linearmente com o movimento do cursor)*

# Potenciômetro e Trimpot



**Potenciômetro**  
*(Dispositivo Ôhmico: varia a resistência de forma linear. A resistência varia linearmente com o movimento do cursor)*

# LDR (*Light Dependent Resistor*)

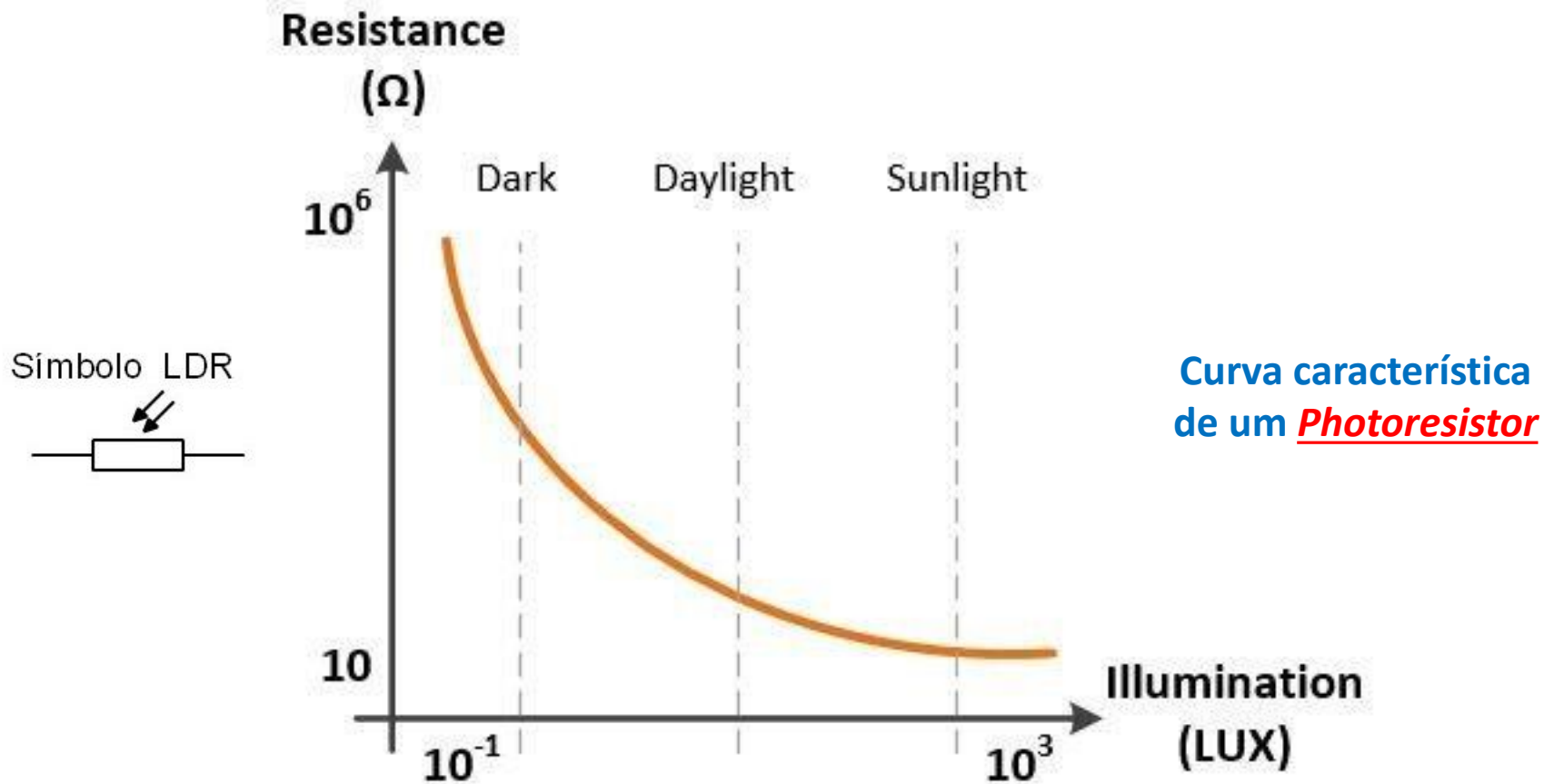


## **Photoresistor**

***(Dispositivo Não Ôhmico: não varia a resistência de forma linear. A resistência varia conforme a intensidade de luz aplicada à sua trilha de sulfato de cádmio)***

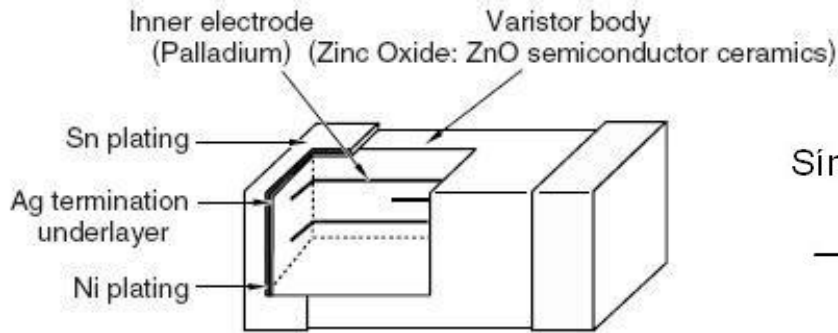


# LDR (*Light Dependent Resistor*)

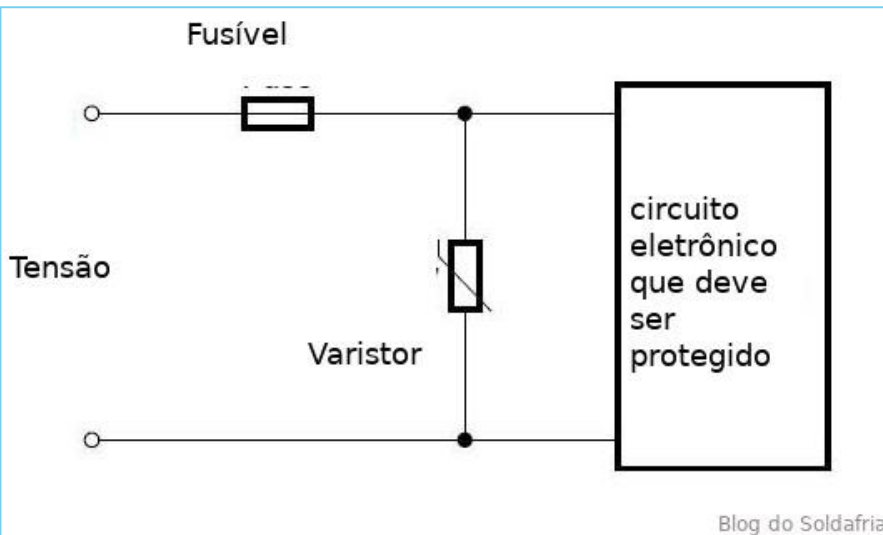
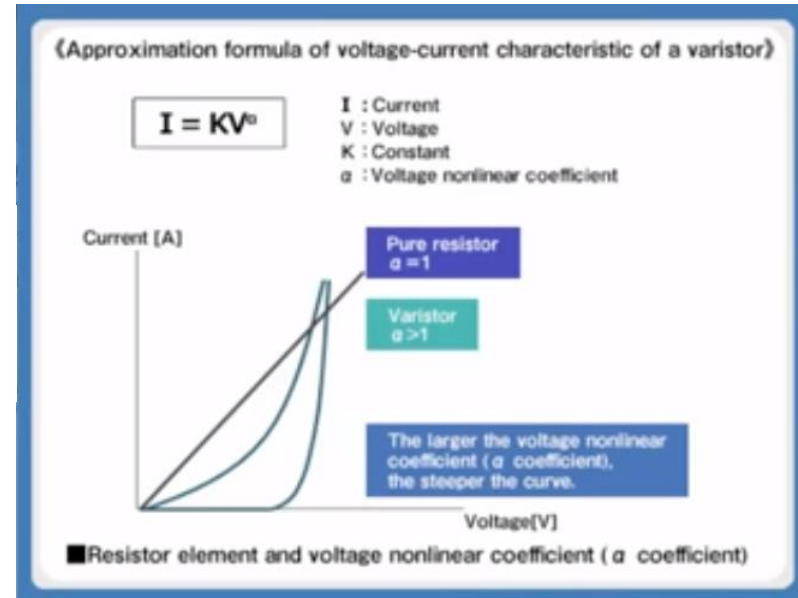
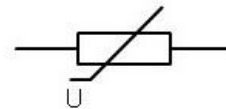


# VDR (*Voltage Dependent Resistor*)

## INTERNAL STRUCTURE



Simbolo VDR



**Varistor**  
*(Dispositivo Não Ôhmico: não varia a resistência de forma linear. A resistência varia conforme a tensão aplicada aos seus terminais)*

# VDR (*Voltage Dependent Resistor*)

120 volt (RMS), 50 Hz, Electrical Sine Wave

Power Surge

1/60th Second

1/60th Second

1/60th Second

Switch Fuse

Mains I/P

MOV

Transformer

Rectifier

Filter

Load

Sealed Epoxy Shell

Current Flow

Wire Connecting Lead

Metallic Electrodes

Intergranular Ceramic Layer

Varistor

Varistor Protected Power Supply

Fusível

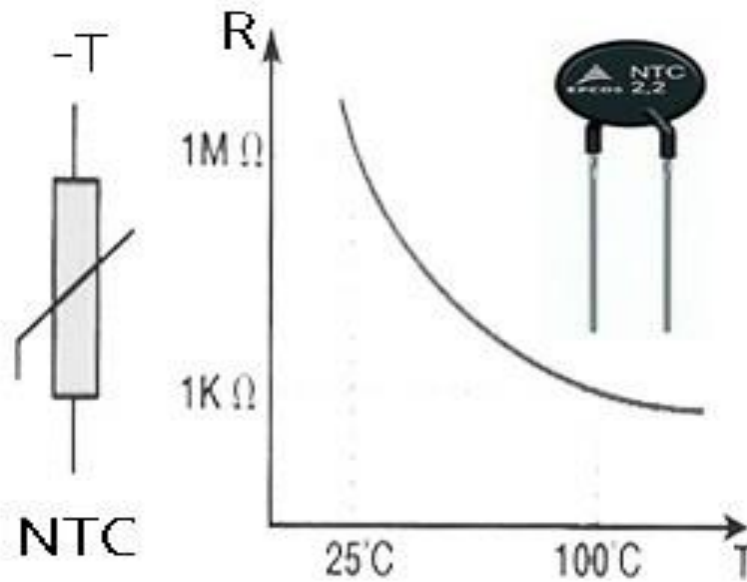
MOV = Varistor

Fonte

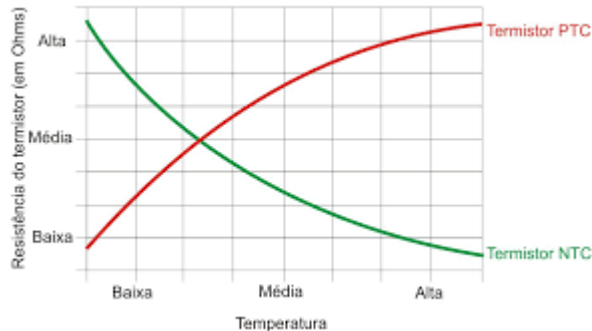
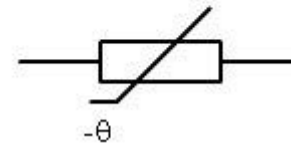
L

N

# NTC (*Negative Temperature Coefficient*)



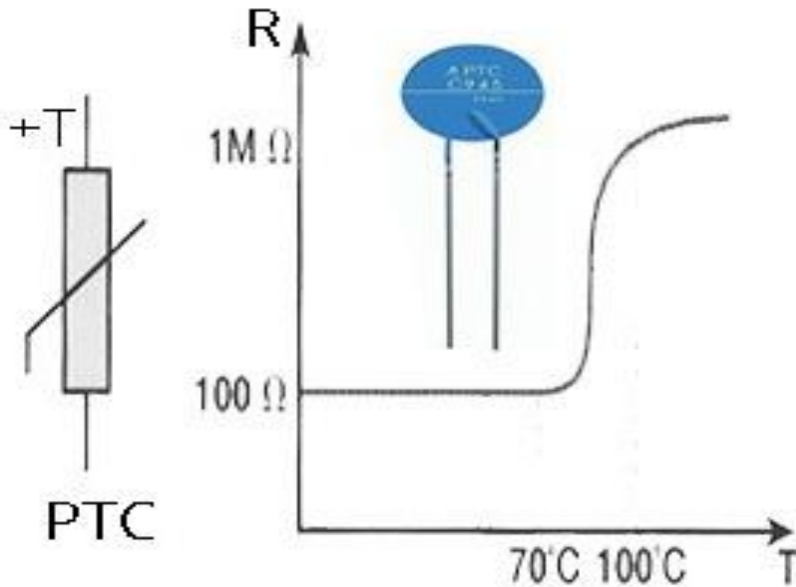
Símbolo NTC



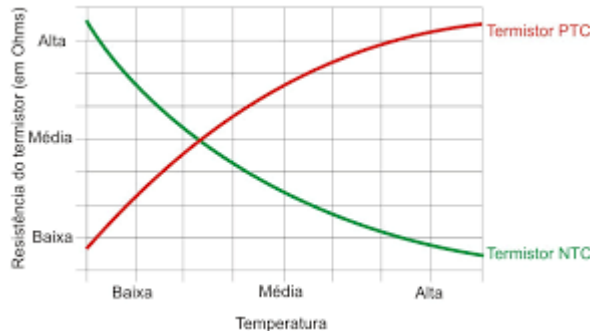
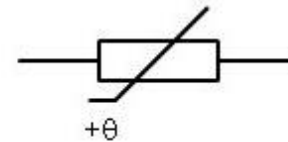
## Thermistor

*(Dispositivo Não Ôhmico: não varia a resistência de forma linear. A resistência varia conforme a variação da temperatura)*

# PTC (*Positive Temperature Coefficient*)



Símbolo PTC



## Thermistor

*(Dispositivo Não Ôhmico: não varia a resistência de forma linear. A resistência varia conforme a variação da temperatura)*



# Referências Bibliográficas

---

- [1] Vários autores, Apostilas e notas de aula, EPUSP. Several Authors, Class notes, EPUSP.
- [2] L.Q. ORSINI e D. CONSONNI, Curso de Circuitos Elétricos, Vol. I, 2a. Ed., 2002, Ed. Edgard Blücher Ltda.
- [3] L.Q. ORSINI e D. CONSONNI, Curso de Circuitos Elétricos, Vol. II, 2a. Ed., 2004, Ed. Edgard Blücher Ltda.
- [4] J.W. NILSSON, S.A. RIEDEL, Electrical Circuits, 9th, Prentice Hall, 2010.
- [5] R.C. DORF, J.A. SVOBODA, Introduction to Electric Circuits, John Wiley & Sons, 8th Edition, 2010.
- [6] P.A. MARIOTTO, Análise de Circuitos Elétricos, Prentice-Hall, 2002.
- [7] C.K. ALEXANDER, M.N.O. SADIKU, Fundamentos de Circuitos Elétricos, 5ª edição, McGraw-Hill / Bookman, 2013.
- [8] J.D. IRWIN, CHWAN-HWA WU, Basic Engineering Circuit Analysis, 8th Edition, Wiley, 2005.
- [9] L.O. CHUA, C.A. DESOER, E.S. KUH, Linear and Nonlinear Circuits, McGraw-Hill, New York, 1987.
- [10] L.Q. ORSINI, Exercícios de Circuitos Elétricos, Ed. Edgard Blücher, S.Paulo, 1976.
- [10] University of Colorado Boulder. Disponível em: <[https://phet.colorado.edu/pt\\_BR/](https://phet.colorado.edu/pt_BR/)>. Acesso em: setembro de 2019.
- [11] Falstad. Disponível em: <<http://www.falstad.com/mathphysics.html>>. Acesso em: setembro de 2019.



# Obrigado!

## Contatos

Prof. Dr. Walter Jaimes Salcedo  
[wsalcedo@lme.usp.br](mailto:wsalcedo@lme.usp.br)

Prof. Dr. Marcel Stefan Wagner  
[marcel.wagner@usp.br](mailto:marcel.wagner@usp.br)