

# Introdução às Medidas em Física

4300152

8ª Aula (26/05/2023)

Licenciatura em Matemática – Turma T42

*Ricardo Andrade Terini*

[rterini@if.usp.br](mailto:rterini@if.usp.br)

Bloco F – Conjunto Alessandro Volta – sl. 105

Agradecimentos aos profs. Nemitala Added, Elisabeth M. Yoshimura e Paula Allegro

por cederem as apresentações que serviram de base para esta.

---

# Experiência 5:

## Curvas características (aulas 8 e 9)

### Objetivos:

#### Estudar medidas elétricas

- *Utilizar instrumentos para medidas elétricas: ohmímetro, voltímetro, amperímetro, multímetros*
- *Montar circuitos elétricos simples para obter curvas características de elementos resistivos*
- *Verificar a influência dos instrumentos no resultado experimental*

#### Análise gráfica de dados

- *Apresentar dados de forma gráfica*
- *Fazer ajuste linear manual + parâmetros da reta*
- *Verificar adequação do modelo (Lei de Ohm)*

# Eletromagnetismo

**Eletricidade e magnetismo:** estudam fenômenos da natureza observados há muito tempo pelo homem.

- **900 aC** - **Magnus**, pastor grego, observou um campo com pedras negras que puxavam os pregos de metal de suas sandálias (lenda?). Essa região ficou conhecida como Magnesia.

→ (*magnetismo*)

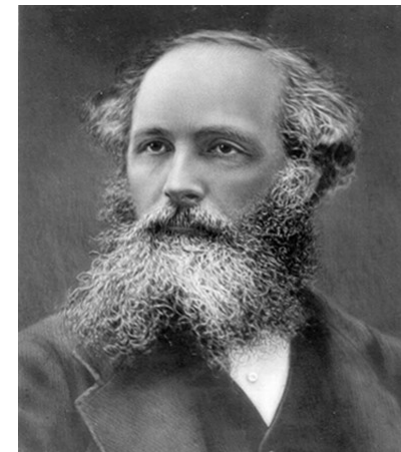
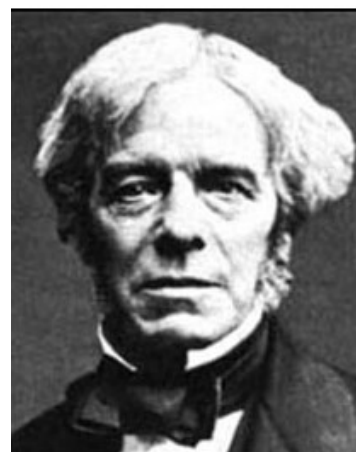
- **600 aC** - **Thales de Mileto** esfregou pedaços de **ambar** (*elektron*, em grego) com alguns materiais e verificou que atraíam punhados de penas.

→ (*eletricidade*)



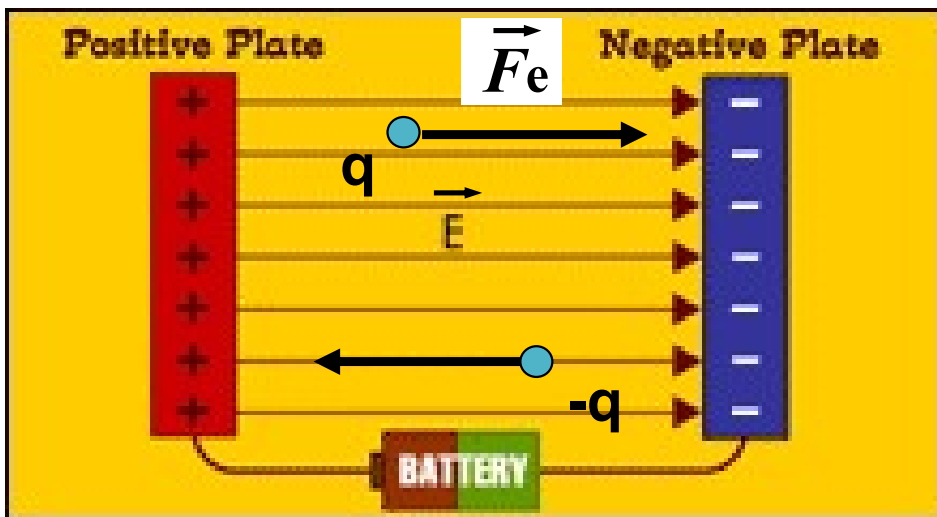
# Eletromagnetismo

- O estudo da eletricidade e do magnetismo sempre envolveu a **observação de fenômenos** e a **elaboração de leis empíricas**.
- Só no **século XIX** os fenômenos eletromagnéticos foram melhor compreendidos a partir de leis quantitativas básicas, deduzidas das pesquisas experimentais de **Oersted, Ampère, Faraday** e os trabalhos de síntese teórica de **Maxwell**.
- É um ótimo exemplo de como a física evolui a partir *da experimentação*.



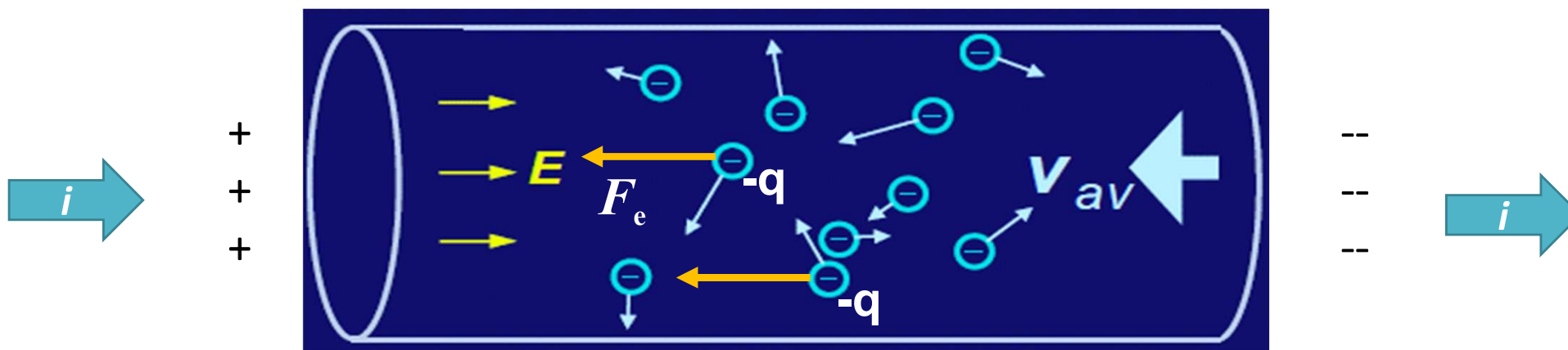
# Corrente e campo elétrico

[http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields\\_en.html](http://phet.colorado.edu/sims/charges-and-fields/charges-and-fields_en.html)



Placas metálicas paralelas com cargas opostas produzem um **campo elétrico uniforme**.

O campo  $\vec{E}$  cria forças elétricas que atuam em cargas situadas no mesmo, sendo:  $\vec{F}_e = q \cdot \vec{E}$



Condutor metálico com cargas “livres”, sujeito a um campo elétrico uniforme ( $v_{av}$  : velocidade média dos portadores)

# Conceitos básicos – Tensão elétrica ou DDP

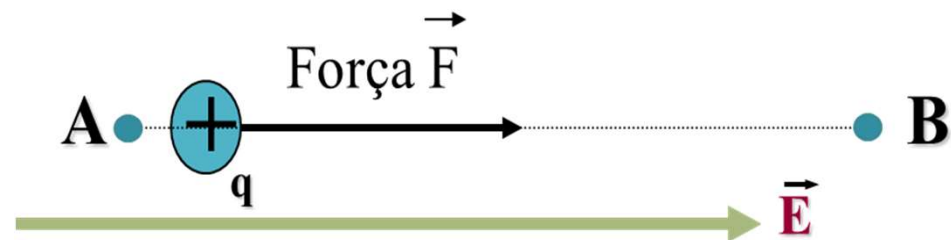
A **tensão elétrica** ( $V$ ) é a *diferença de energia potencial elétrica* da partícula entre dois pontos, *por unidade de carga elétrica*.

$$V_A - V_B = \frac{\tau_{AB}}{q}$$

Unidade: volt (V) = J / C

- Ela é definida como o **trabalho por unidade de carga** realizado durante o deslocamento de uma carga positiva de um ponto a outro sob a ação de um campo elétrico ( $E$ ).
- Se o campo elétrico ( $E$ ) é **uniforme** entre dois pontos a uma distância  $d$  um do outro, podemos escrever que :

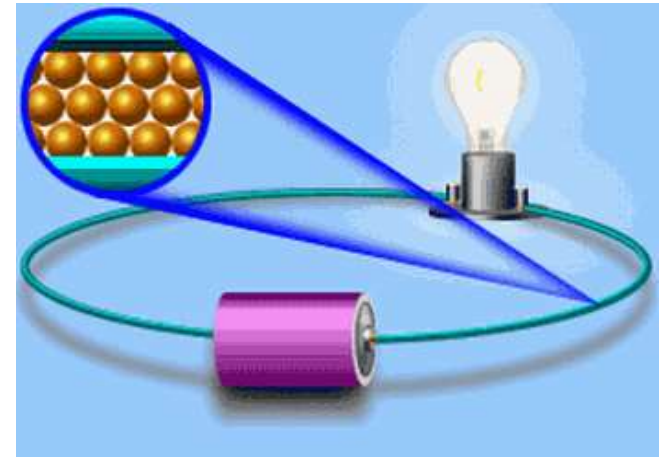
$$V_{AB} = \frac{dW}{dq} = E \cdot d$$



# Conceitos básicos - Corrente elétrica

- A **corrente elétrica** ( $i$ ) é definida como o movimento de cargas elétricas *em uma direção preferencial*, produzida por uma tensão elétrica.
- O caso mais comum de corrente elétrica é o **movimento de elétrons livres em um material condutor**.
- A **intensidade da corrente** é dada por:

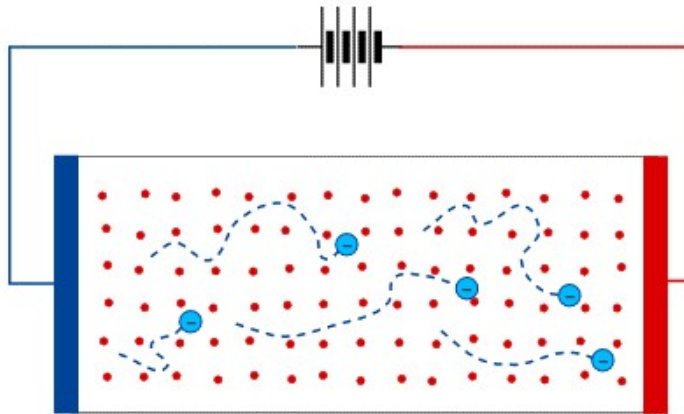
$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$



$$1 A = 1 \frac{C}{s}$$

- Sua unidade no SI é o **ampere**, uma das unidades de base do *Sistema Internacional*.

# Tipos de Corrente elétrica



Corrente elétrica **eletrônica**

Corrente elétrica **iônica**



Corrente elétrica **mista**  
(elétrons e íons)





# Conceitos básicos - Resistência elétrica

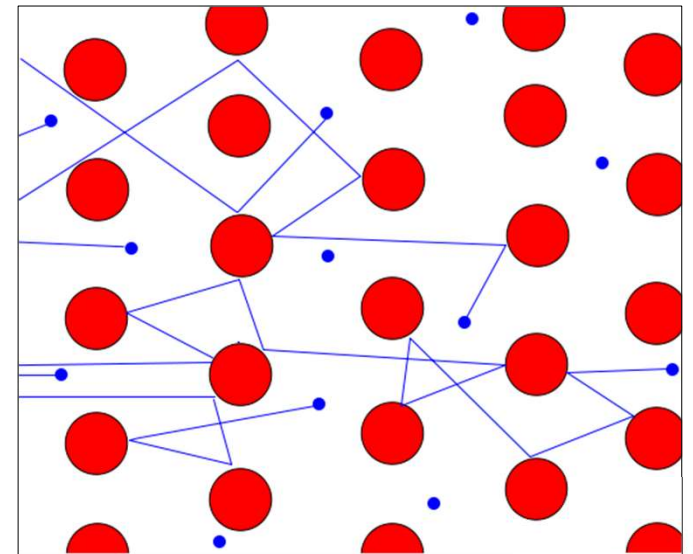
A **resistência elétrica** ( $R$ ) é uma característica de materiais condutores ou não, relacionada com a **difículdade à passagem de corrente elétrica** através do material.

Ela é definida pela *razão* entre a d.d.p.  $V$  aplicada a esse elemento e a corrente elétrica  $i$  que flui por ele.

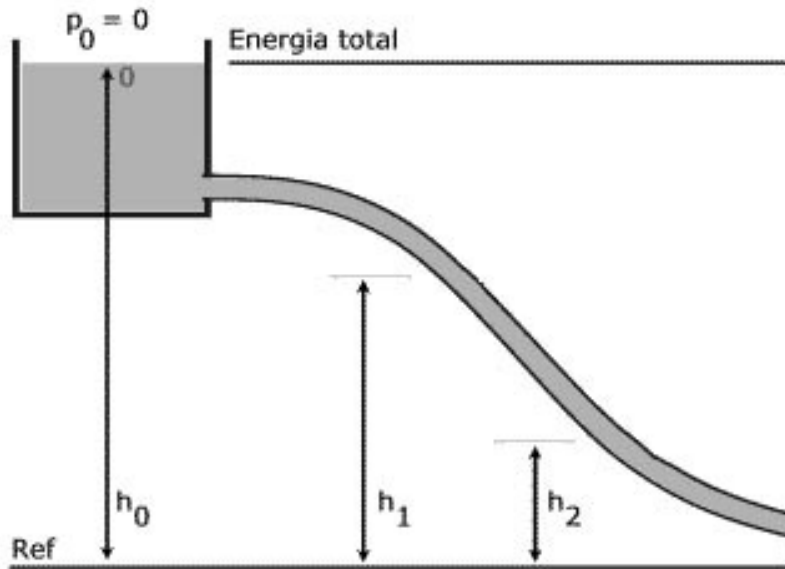
$$R = \frac{V}{i}$$

- A resistência depende do **material** e da **geometria** do condutor, e, em geral, ***aumenta com a temperatura***.

A unidade SI de resistência elétrica é o ohm ( $\Omega$ ).  $1 \Omega = 1 \text{ V} / 1 \text{ A}$

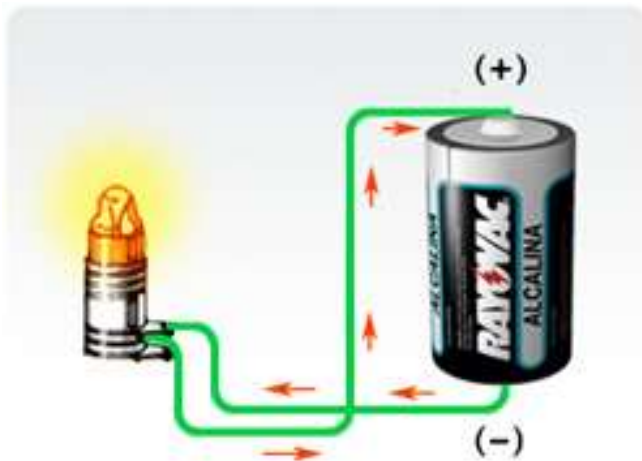


# Analogia com fluidos



O Fluxo de líquido é tanto **maior** quanto maior for a altura (*diferença de nível*).

O Fluxo será tanto **menor** quanto maior a resistência mecânica oferecida pela tubulação.



- A corrente elétrica é tanto maior quanto maior for a *ddp* aplicada.
- $i$  depende da resistência elétrica ( $R$ ) associada;  $i$  será tanto menor quanto maior for  $R$ .

$$V = Ri$$

$$i = \frac{1}{R}V$$

10

# Conceitos Básicos - Lei de Ohm

Quando  $R$  é constante, o elemento resistivo é chamado de **ôhmico**, pois obedece à **Lei de Ohm**:

$$V = R \cdot i, \text{ com } R \text{ constante}$$



É uma lei **empírica**, que se aplica a muitos materiais e a muitas situações, mas **não é universal**.

Resistores ôhmicos

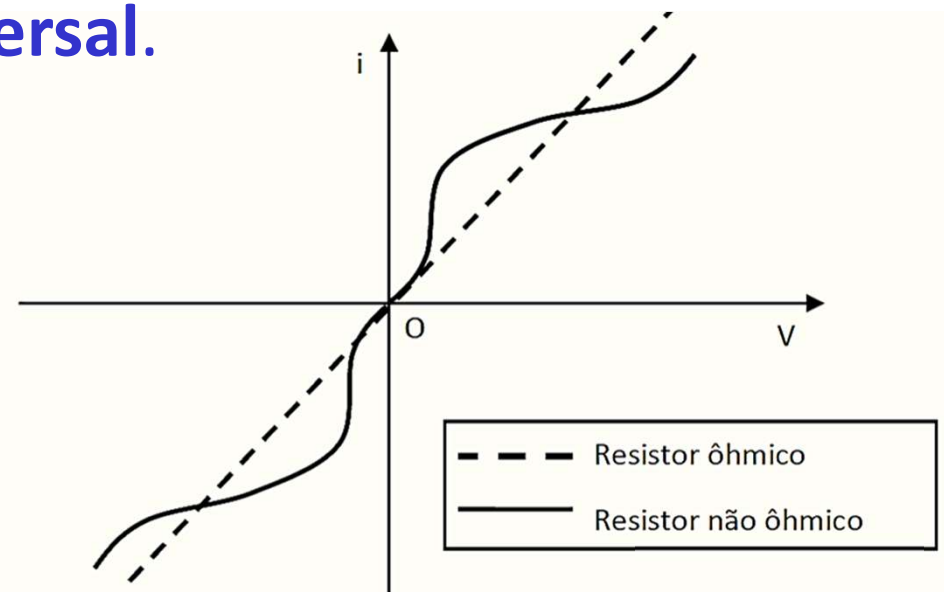
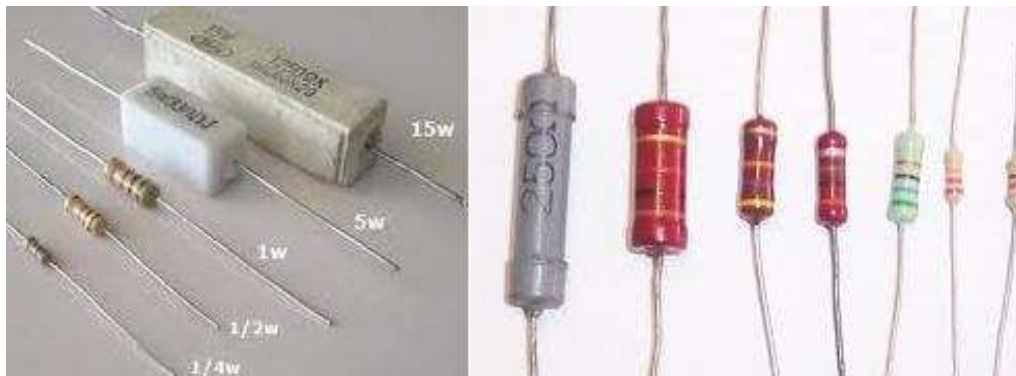
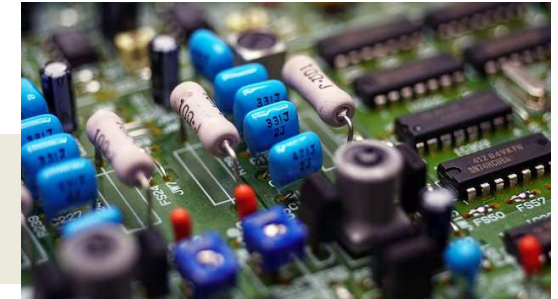


Figura 2.1: Curva característica de dois elementos resistivos hipotéticos.

# Circuitos elétricos com elementos resistivos



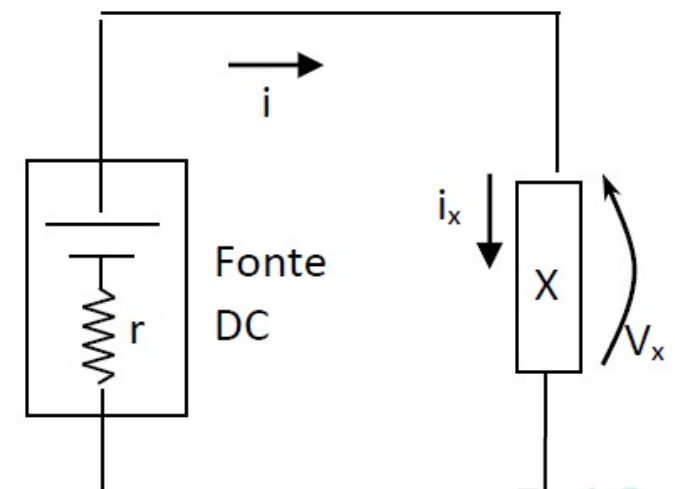
Circuitos elétricos são extremamente importantes para a tecnologia, e estão presentes basicamente em qualquer aparelho eletrônico.

São circuitos em que não há *capacitores* ou *indutores*, **somente elementos resistivos**.

Os resistores têm o papel de **reduzir a corrente elétrica** que flui no circuito.

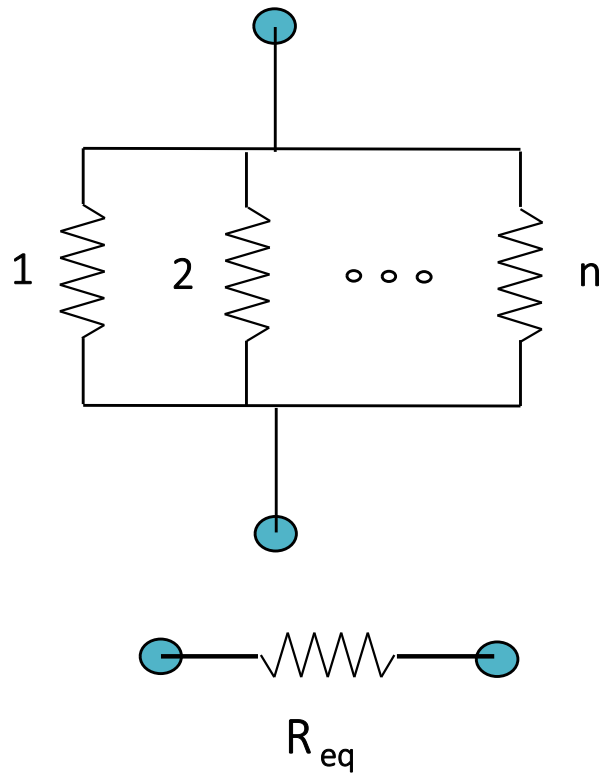
Em geral, *se não houver mudanças de temperatura apreciáveis*, a **Lei de Ohm** é obedecida nesses circuitos.

O **circuito mais simples** é (*com símbolos*):



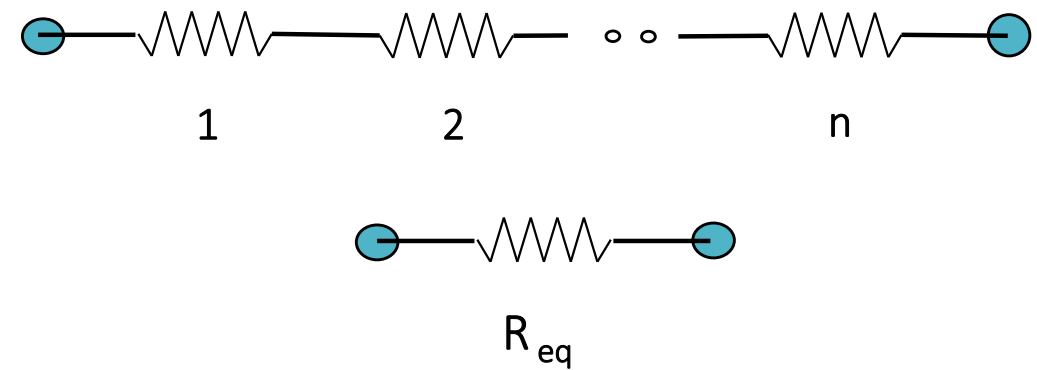
# Associações - Resistência Equivalente

## RESISTORES EM PARALELO



$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

## RESISTORES EM SÉRIE



$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Para  $n$  resistores iguais ( $R$ ):

Série:  $R_{eq} = n R$

Paralelo:  $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{n}{R} \rightarrow R_{eq} = \frac{R}{n}$

# Potência Elétrica

Potência elétrica pode ser definida como o trabalho realizado pela corrente elétrica em uma unidade de tempo. Todo resistor dissipa potência elétrica na forma de calor.

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dq} \frac{dq}{dt} = VI$$

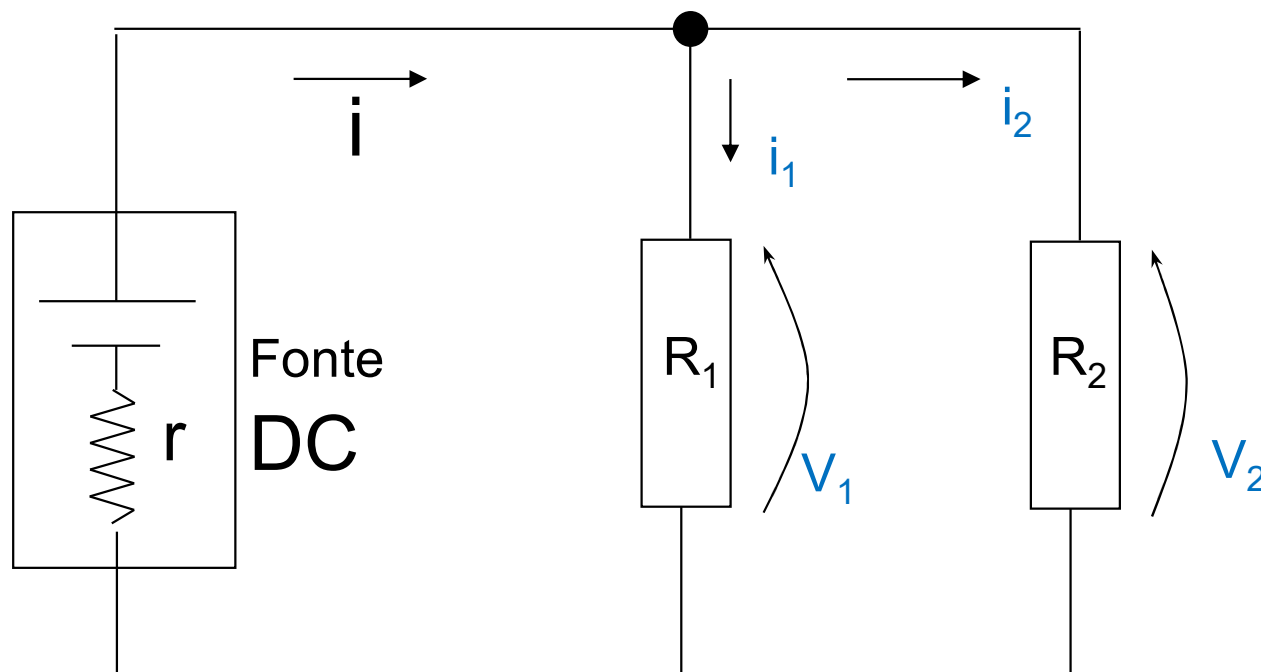
$$V = RI$$

$$P = RI^2$$

A unidade SI de potência elétrica é o watt (W).  $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot \text{A} = 1 \Omega \cdot \text{A}^2$

# Leis de Kirchhoff

- A **soma das tensões** em todos os elementos do circuito fechado é igual a **zero**;
- A **soma das correntes** em um nó do circuito é igual a **zero**.



$$V_1 + V_2 = 0$$

$$i + i_1 + i_2 = 0$$

- Malha fechada:  $V_1 = -V_2$
- Corrente total entrando em um nó = corrente total saindo nesse nó.

# Curva Característica

Para estudar elementos resistivos de um circuito levantamos sua **curva característica**, isto é, o gráfico da tensão ( $V$ ) em função da corrente ( $i$ ).

Esse gráfico nos permite caracterizar o comportamento do elemento resistivo quando num circuito.



Para isso, é necessário medir grandezas elétricas, como corrente, tensão e resistência. Como fazer?

→ Multímetro (digital ou analógico)

Instrumento para medida de **tensão, corrente e resistência**.

Na realidade, é um detector sensível a intensidade de corrente.

A origem do multímetro é, na essência, o chamado **galvanômetro**...

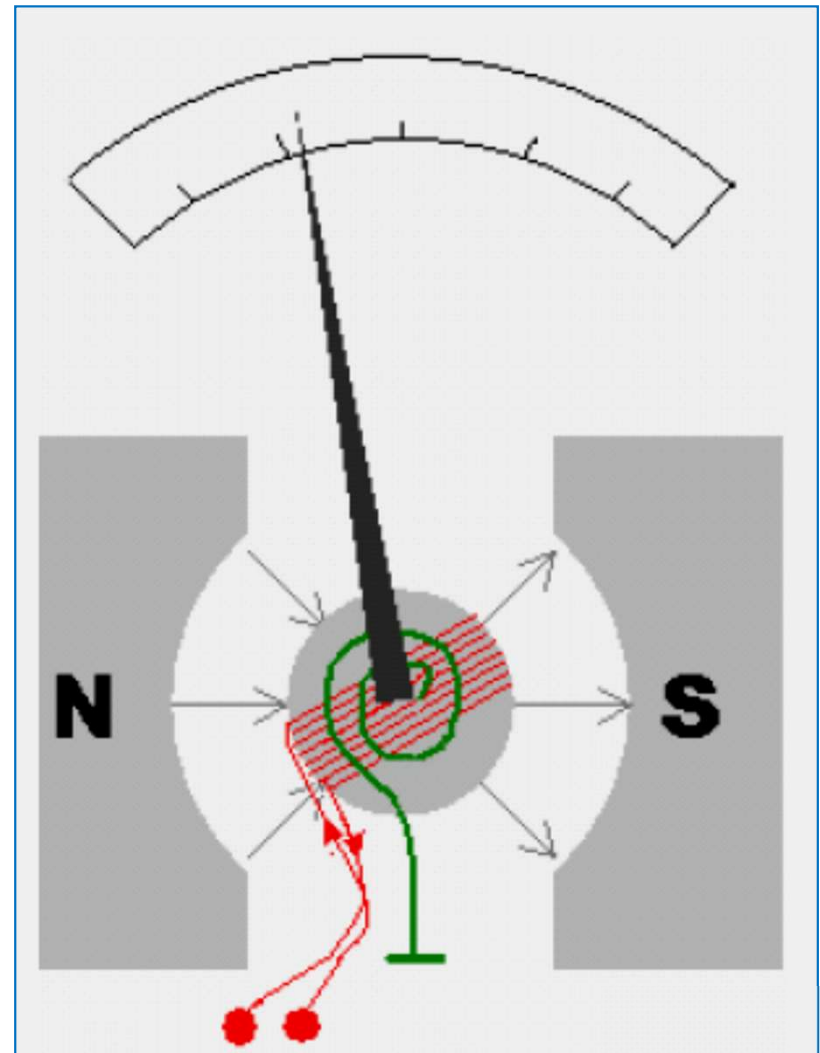


# Galvanômetro

O **galvanômetro** (nome em homenagem a *Luigi Galvani*), inventado por **William Sturgeon** em **1836**, é um detector sensível a intensidade de corrente.

Base física de funcionamento:

- Interação entre a corrente elétrica em uma bobina e um campo magnético
- Torque na bobina proporcional à corrente elétrica que o atravessa.



# Amperímetro, Voltímetro, Ohmímetro

## Multímetros

São instrumentos analógicos ou digitais que podem avaliar:

- a **corrente** no circuito (**amperímetro**) ;
- ou a **tensão** entre dois pontos do circuito (**voltímetro**), por meio da corrente em um resistor de resistência conhecida; ( $V = R \cdot i$ )
- ou a **resistência** de um elemento (**ohmímetro**), por meio da corrente que o atravessa, ao aplicar uma *ddp* constante e conhecida. ( $R = V / i$ )

Ao ser inserido no circuito, o multímetro pode afetá-lo, ao introduzir nele uma resistência adicional – a **resistência interna**.

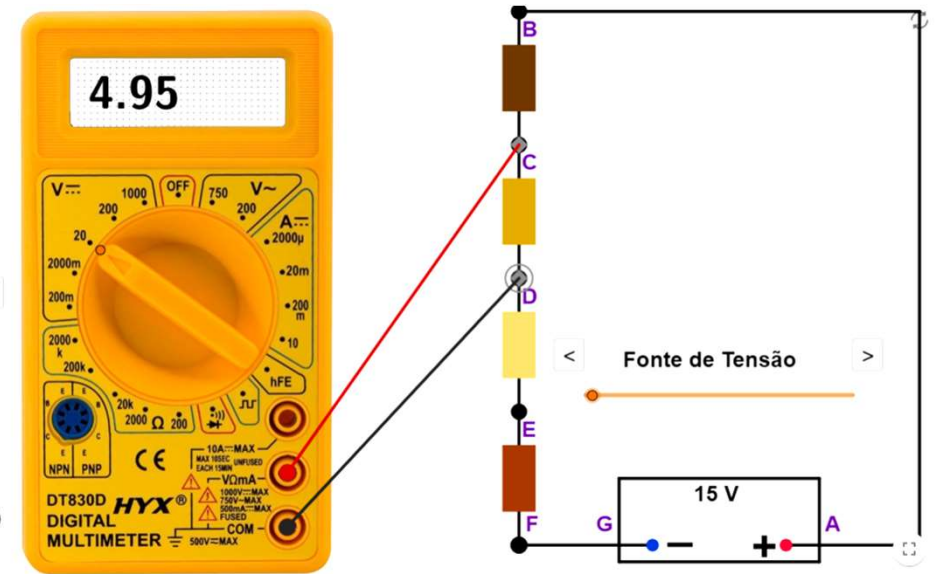
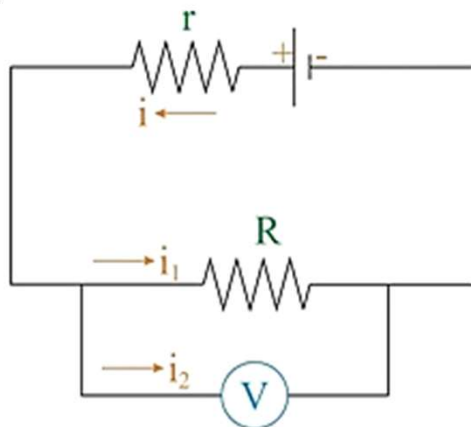
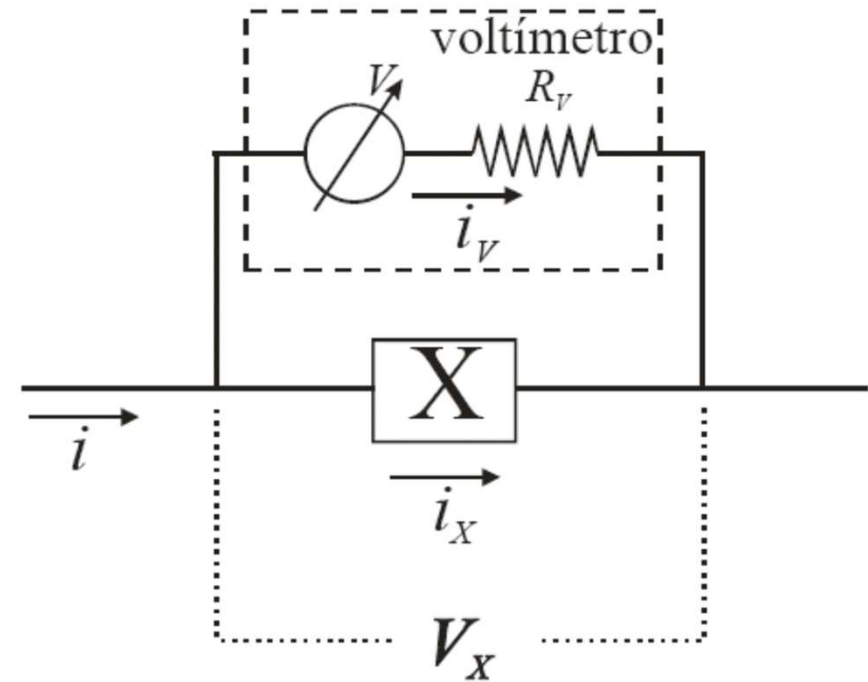


# Voltímetro

Quando o multímetro está operando para medir tensão:

Nesse caso, ele é montado em paralelo ao elemento do qual se quer medir a tensão  $V_x$ .

A resistência interna  $R_V$  deve ser muito alta para  $i_V$  ser muito baixo.

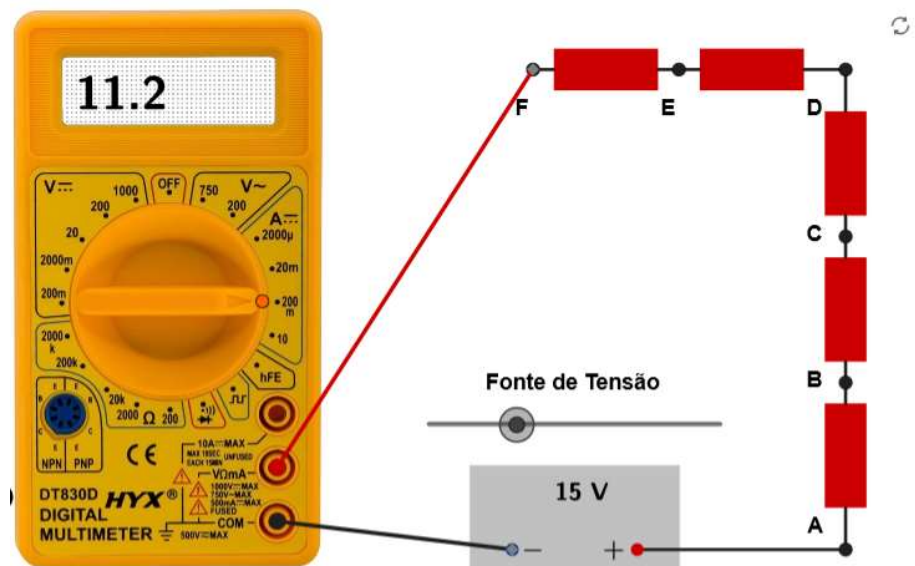
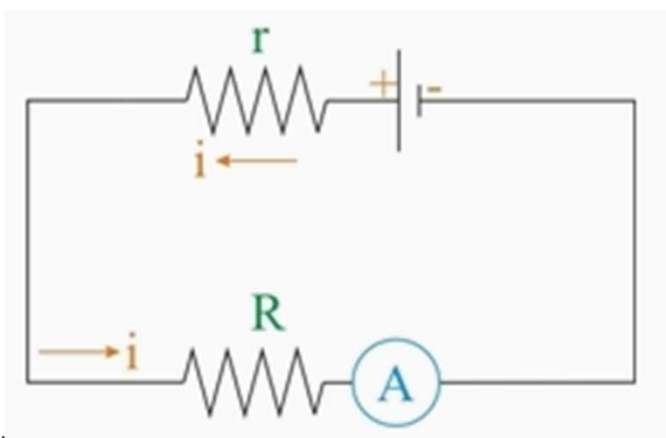
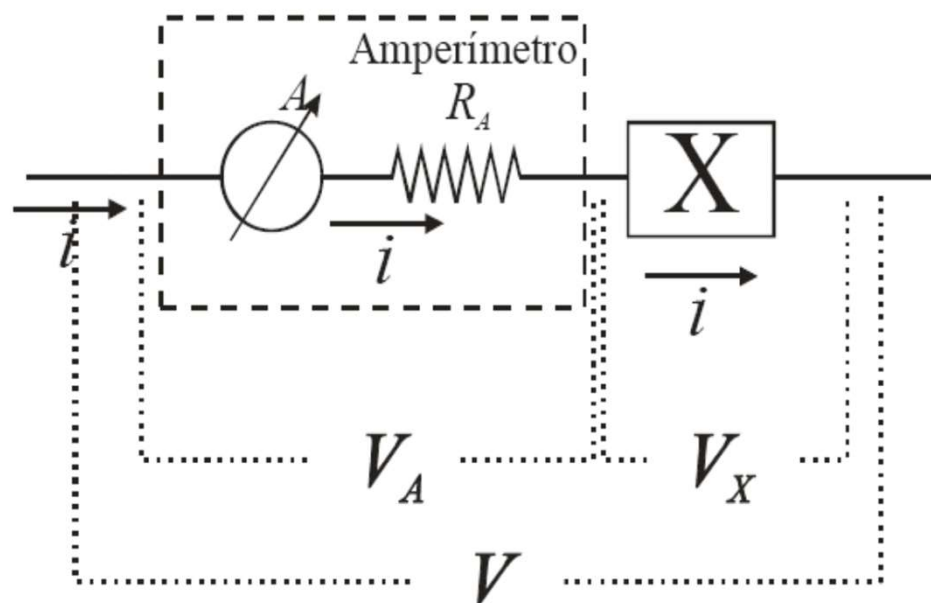


# Amperímetro

Quando o multímetro está operando para **medir corrente**:

Nesse caso, ele é montado em série com o elemento (X) do qual se quer medir a corrente.

A resistência  $R_A$  deve ser muito baixa para  $V_A$  ser também muito baixo.



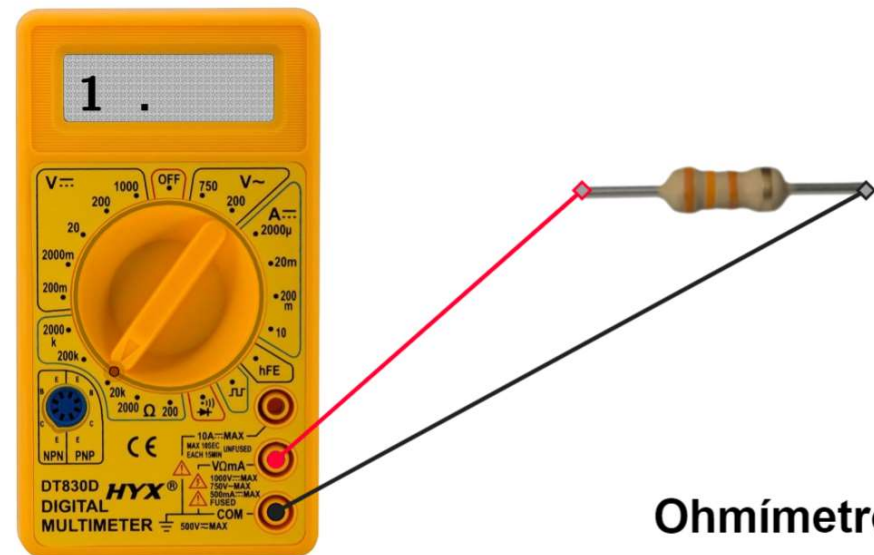
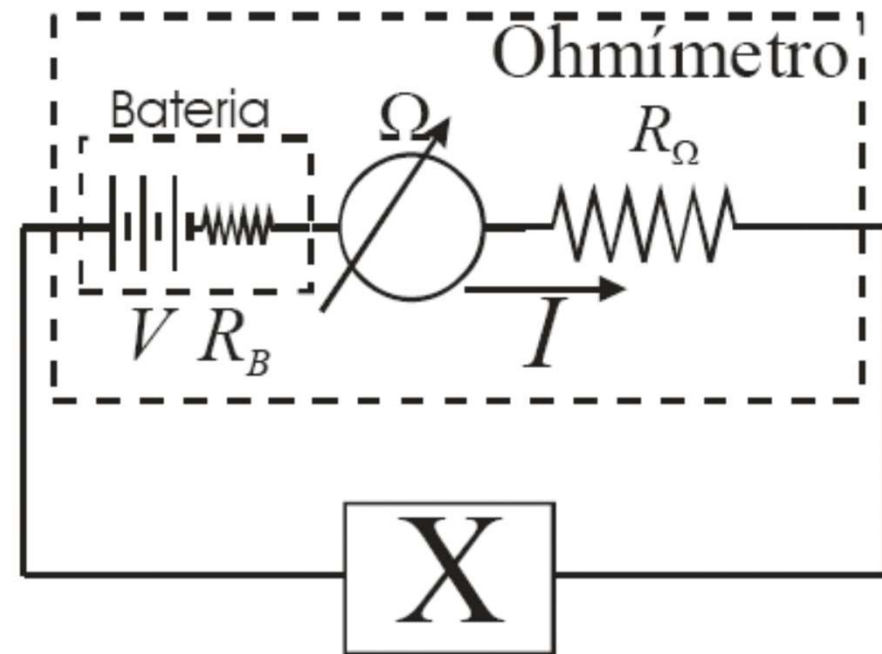
# Ohmímetro

Quando o multímetro está operando para **medir resistência**:

Nesse caso, ele é montado:

- em paralelo ao elemento X do qual se quer medir a resistência,
- e **sem fonte de tensão ligada ao mesmo**.

<https://www.laboratoriovirtual.fisica.ufc.br/eletricidade-magnetismo>



# Uma consequência importante

- Voltímetros, amperímetros e ohmímetros possuem resistência interna.
- Voltímetros, amperímetros e ohmímetros medem através da passagem de corrente pelo o instrumento (**toda** a corrente no amperímetro; **pequena parte** no voltímetro;  $i$  gerada pela bateria, no ohmímetro)
- Voltímetros, amperímetros e ohmímetros (e,  $\therefore$ , multímetros) MODIFICAM as tensões e correntes em um circuito. **Eles alteram as medidas...**

---

# Aula de hoje:

## Exp. 5-1: Medidas de resistência elétrica

- Objetivo da 1ª parte do experimento: **medir a resistência elétrica de um resistor ôhmico;**
- Vamos realizar essa tarefa:
  - **usando multímetros**
  - **de três maneiras diferentes,**
  - comparando e discutindo os resultados de cada medida e
  - observando o efeito do instrumento de medida sobre a mesma.

# Medida de grandezas elétricas - o multímetro

## Multímetro:

Instrumento para medição de tensão, corrente e resistência.

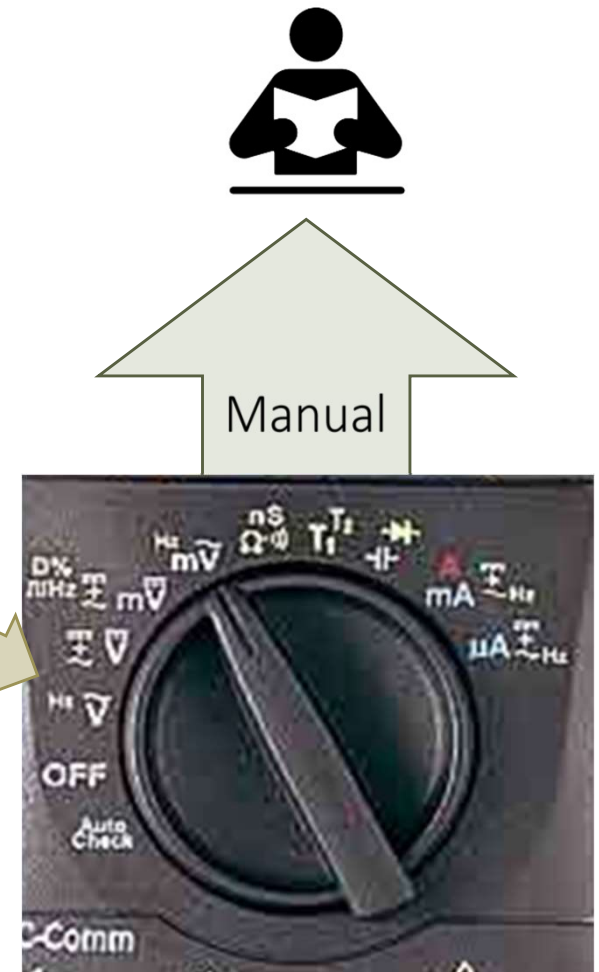
Componentes externos:

Visor com resultados da medida, unidades e sinal

Seletor de funções

Ex.: Função – voltímetro  
Escala - mV

Entradas para cabos



Manual



# Multímetro ET-2042D

Visor com resultados da medida, unidades e sinal



Seletor de funções



(Manual) Escala não automática

Entradas para cabos



# Multímetro ET-1953

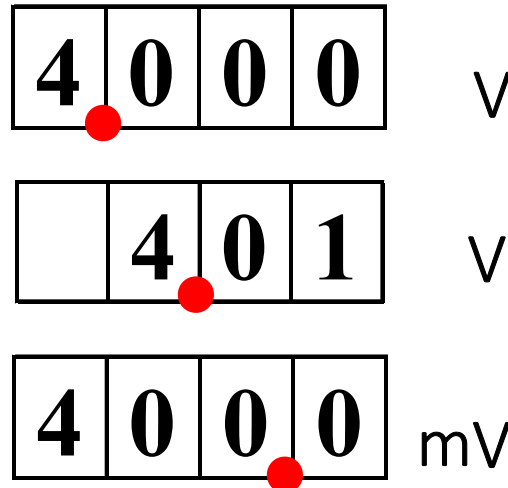
Escala Automática



Seleção função

Cabos

(Seleção automática da escala)

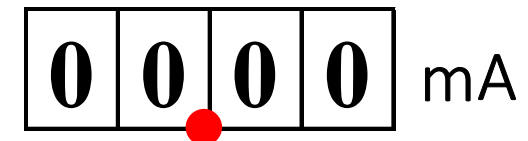


## Tensão DC

FAIXA	RESOLUÇÃO
400mV	100 $\mu$ V
4V	1mV
40V	10mV
400V	100mV
600V	1V

## Corrente DC

FAIXA	RESOLUÇÃO
400 $\mu$ A	0.1 $\mu$ A
4000 $\mu$ A	1 $\mu$ A
40mA	10 $\mu$ A
200mA	100 $\mu$ A
10A	10mA



# Qual é a incerteza do voltímetro, do amperímetro e do ohmímetro?

- Como avaliar incerteza, por exemplo, para uma medida de tensão =  $1,840 \text{ V}$  (na escala de  $2 \text{ V}$ ) ?
- Procurar no **manual do instrumento** a tabela relativa à função e escala utilizadas
  - Cada escala possui uma incerteza distinta
- Em geral, é fornecida:
  - - a **incerteza estatística** (em porcentagem) e
  - - a **sistemática** (em dígitos)



Ex: para tensão elétrica contínua (DC):

➡ Incerteza =  $0,2\% + 3D$

*O que isso significa?*

---

# 0,2% + 3D

## O que é isso?

### 0,2%

Incerteza estatística

Porcentagem do valor medido

Ex: valor medido: 1,840 V

Incerteza:  $(0,2 / 100) * 1,840 = 0,004 \text{ V}$

### 3D

Três algarismos na última casa decimal da medida

Ex: valor medido: 1,840 V

Incerteza:  $0,003 \text{ V}$

Incerteza total da medida : 0,2% + 3D

Soma linear (superestimando) =  $0,007 \text{ V}$

Resultado:  $1,840 \pm 0,007 \text{ V}$

# Obtenção das Incertezas em V e I

## Multímetro ET 1953 - escala automática

### Tensão DC

FAIXA	RESOLUÇÃO	PRECISÃO
400mV	100 $\mu$ V	$\pm(0.5\%+4D)$
4V	1mV	$\pm(0.8\%+4D)$
40V	10mV	
400V	100mV	
600V	1V	

### Corrente DC

FAIXA	RESOLUÇÃO	PRECISÃO
400 $\mu$ A	0.1 $\mu$ A	$\pm(1.2\%+4D)$
4000 $\mu$ A	1 $\mu$ A	
40mA	10 $\mu$ A	
200mA	100 $\mu$ A	
10A	10mA	$\pm(2.5\%+4D)$

Ex.: 2,000 V  $\rightarrow \pm(0,8\% + 4D)$

0,8% de 2,000 = 0,016

4D  $\rightarrow$  0,004

Portanto,  $\sigma_V = 0,016 + 0,004 = 0,020$

Ou seja,  $\sigma_V = 0,02$  V

$V = (2,00 \pm 0,02)V$

Ex.: 2,00 A  $\rightarrow \pm(2,5\% + 4D)$

2,5% de 2,00 = 0,05

4D  $\rightarrow$  0,04

Portanto,  $\sigma_I = 0,05 + 0,04 = 0,09$

Ou seja,  $\sigma_I = 0,09$  A

$I = (2,00 \pm 0,09)A$

# Exercícios de classe 5.1

**DISCIPLINAS**  
Apoio às Disciplinas

Disciplinas » Suporte » Português - Brasil (pt\_br)

Ricardo Andrade Terini

4300152 - Introdução às Medidas em Física (2023)

Início / Meus Ambientes / 2023 / IF / 430 / 4300152-2023 / Experimento # 5 -Lei de Ohm / Exercícios classe 5.1

questionário

ambiente

## Exercícios classe 5.1

**Abre:** quinta, 25 mai 2023, 00:01  
**Fecha:** sábado, 27 mai 2023, 00:00

Método de avaliação: Nota mais alta

[Pré-visualizar questionário agora](#)

← Guia 5 (único para as duas aulas) Seguir para... Exercícios casa 5.1 - Quinta a noite ▶

[Ajuda e documentação](#)

Você acessou como [Ricardo Andrade Terini](#) (Sair)

30

# Exp. - Medidas de resistência elétrica

ANTES de qualquer medida, calcular a **corrente máxima** que o resistor suporta!  
Usar um **valor de corrente MENOR do que a máxima**, para não queimar o resistor!

Utilizar **três metodologias diferentes**:

- Obj.: verificar para que situações cada um dos procedimentos é mais adequado e o porquê.

Procedimento 1: **Direto**

Multímetro = Ohmímetro

$$R_{resistor} = R_{medido}$$

Procedimentos 2 e 3: **com circuitos elétricos e medidas de  $V$  e de  $i$**

(multímetro 1 = Voltímetro)

(multímetro 2 = Amperímetro)

$$R_{resistor} = \frac{V_{resistor}}{i_{resistor}} \approx \frac{V_{voltímetro}}{i_{amperímetro}}$$

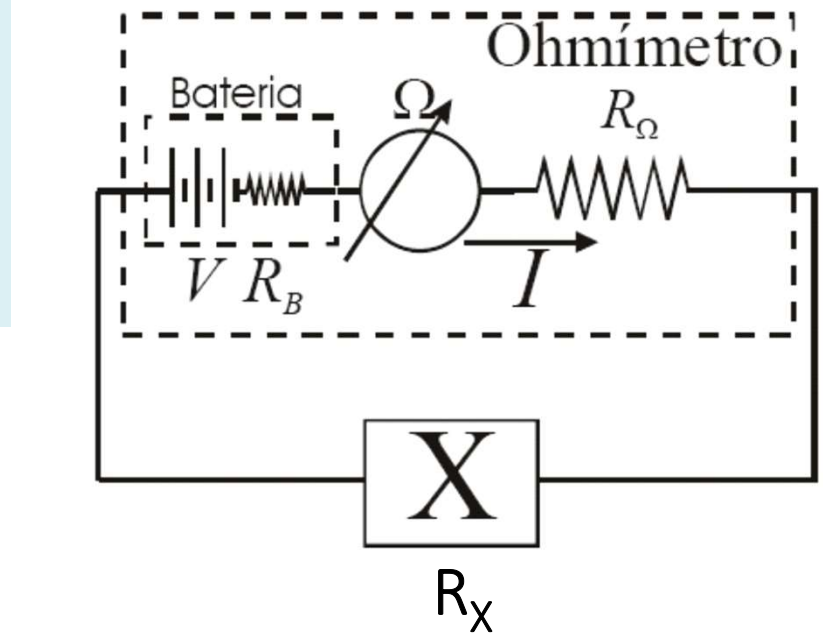
# Procedimento 1

Meça a resistência  $R_x$  dos resistores comerciais fornecidos, usando o multímetro na função de **ohmímetro**.

A bateria do ohmímetro possui uma resistência interna ( $R_B$ ):

Essa resistência não é levada em consideração, pois é considerada pela eletrônica do aparelho:

$$i = \frac{V}{R_X + R_B + R_\Omega}$$
$$R_X = \frac{V}{i} - R_B - R_\Omega$$



Se  $R_X \gg R_B + R_\Omega$ , essa resistência pode ser **desprezada** e a **resistência medida** é aproximadamente igual a  $R_X$ .

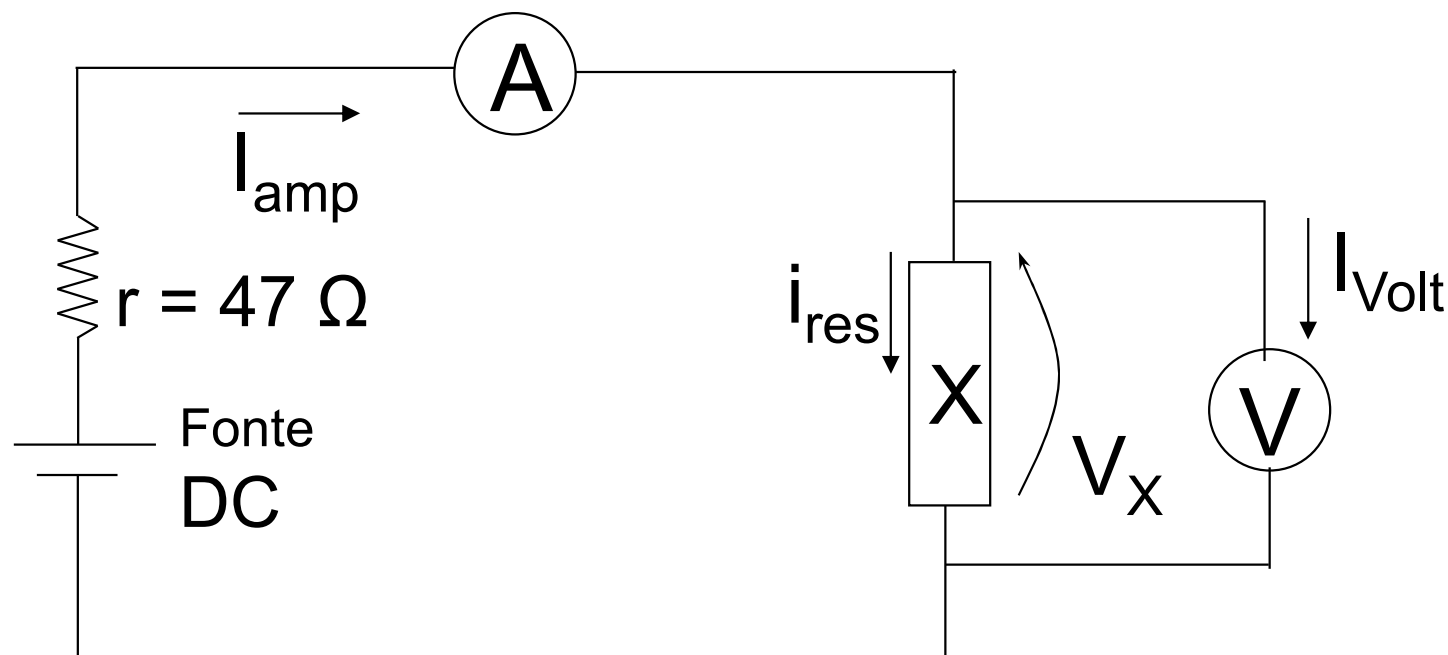


# Procedimento 2 – Circuito 1

Monte o circuito abaixo, meça  $I_{amp}$  com um amperímetro e  $V_x$  com um voltímetro, e obtenha  $R_{res}$  através da definição de resistência

- Qual a tensão máxima  $V_x$  possível para cada resistor medido (6,8 M $\Omega$ , 100  $\Omega$  e 1  $\Omega$ )?
- Note que estamos medindo  $I_{amp}$  e não  $I_{res}$ . Qual a consequência disso?

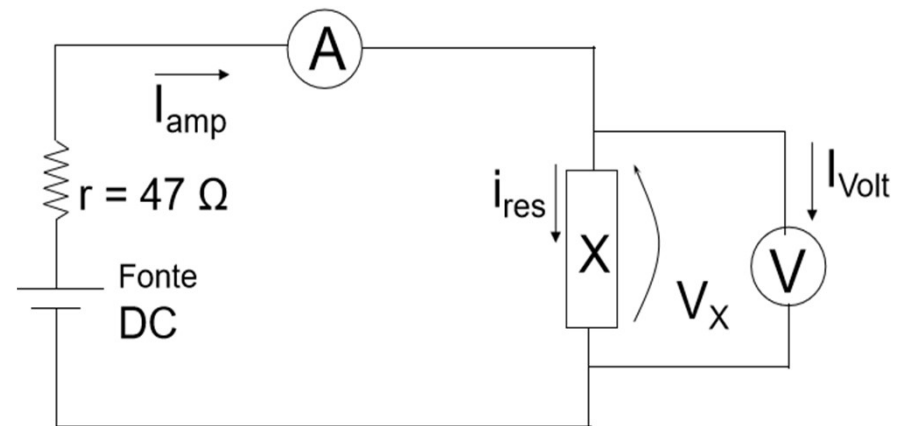
$$R_{res} = \frac{V_x}{I_{amp}}$$



# Procedimento 2

O Voltímetro possui resistência interna:

A resistência, por construção, é muito grande;  
Provoca algum “desvio” de corrente:



$$V_{medido} = V_{voltímetro} = V_X$$

$$i_{medido} = i_{amperímetro} = i_{voltímetro} + i_X$$

$$R_{medido} = \frac{V_{voltímetro}}{i_{amperímetro}} = \frac{V_X}{i_{voltímetro} + i_X} < R_X$$

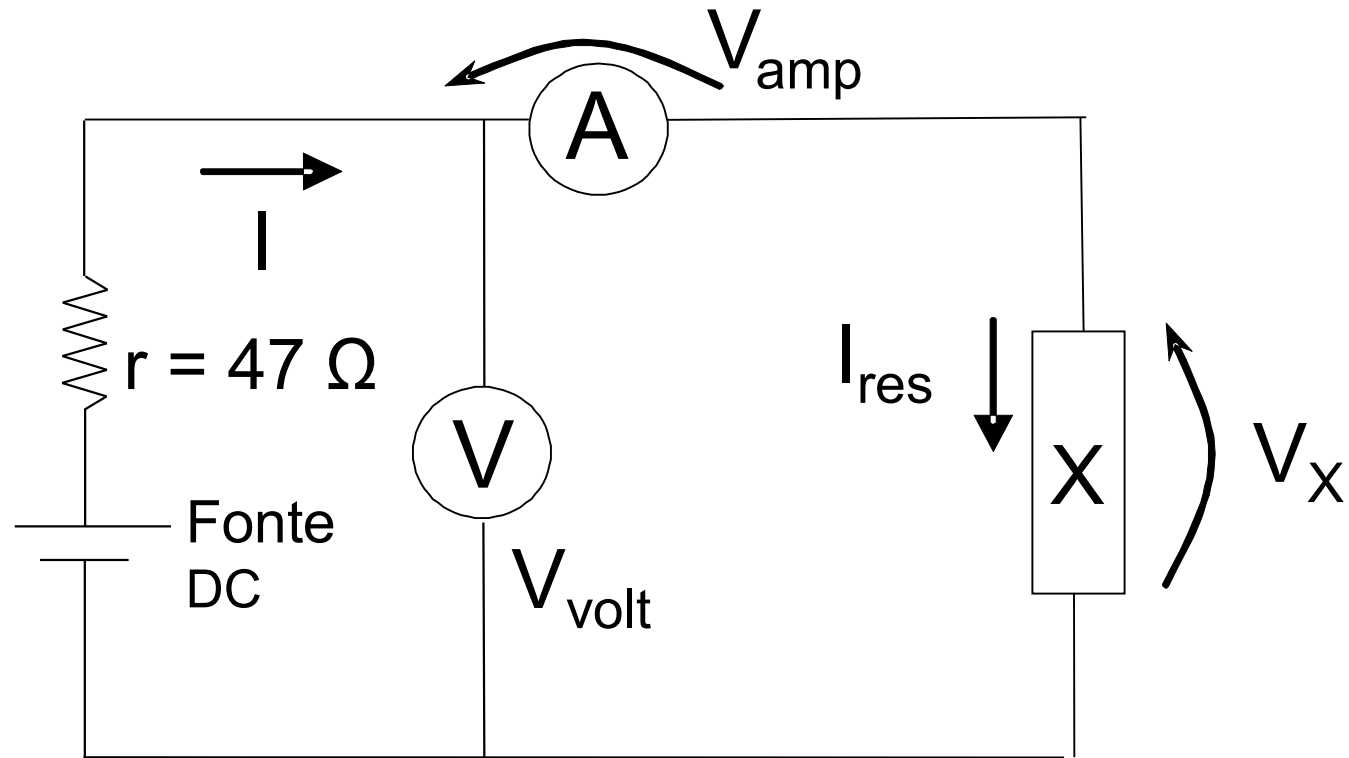
Se  $R_V \gg R_X$ , então  
 $i_X \gg i_V$  e  
a resistência medida  
é aproximadamente  
igual a  $R_X = R_{res}$

## Procedimento 3 – Circuito 2

Monte o circuito abaixo e meça  $I_{res}$  com um amperímetro e  $V_{volt}$  com um voltímetro e obtenha  $R_{res}$  através da definição de resistência:

$$R_{res} = \frac{V_{volt}}{I_{res}}$$

- Note que estamos medindo  $V (= V_{amp} + V_x)$  e não  $V_x$ .  
Qual a consequência disso?

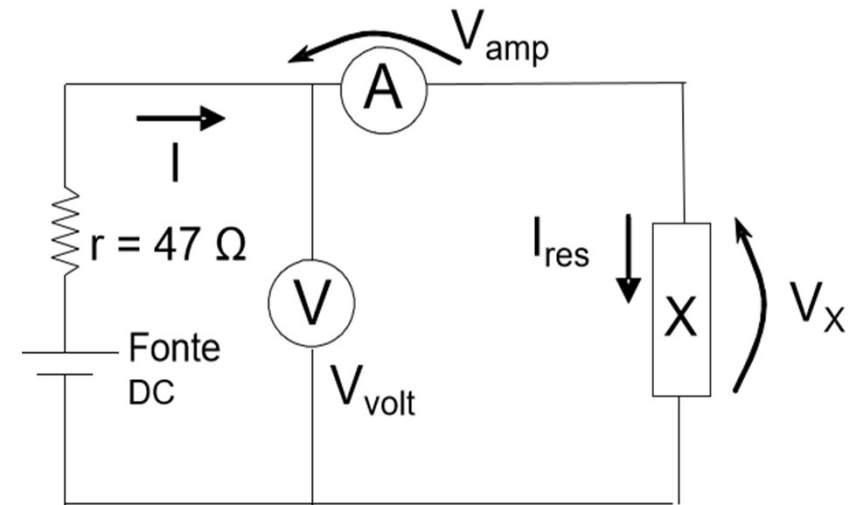


# Procedimento 3

O Amperímetro possui resistência interna:

Resistência, por construção, muito pequena;

Provoca alguma queda de tensão:



$$V_{medido} = V_{voltímetro} = V_{amperímetro} + V_X$$

$$i_{medido} = i_{amperímetro} = i_X$$

$$R_{medido} = \frac{V_{voltímetro}}{i_{amperímetro}} = \frac{V_{amperímetro} + V_X}{i_X} = R_{amperímetro} + R_X > R_X$$

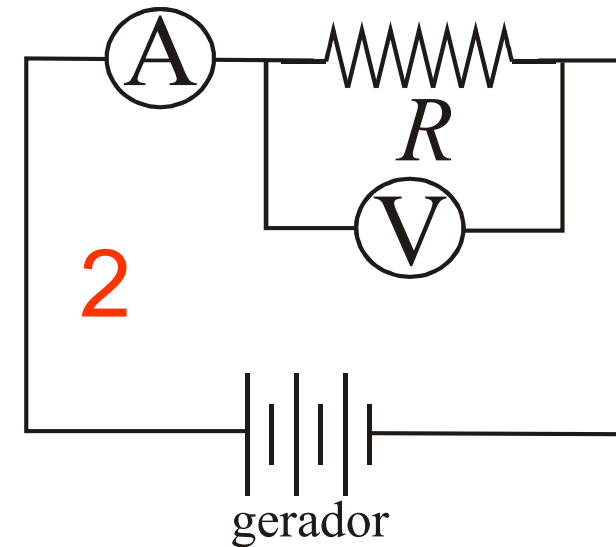
Se  $R_{Amperímetro} \ll R_X$ , a resistência medida é aproximadamente igual a  $R_X$ .

# Conclusões

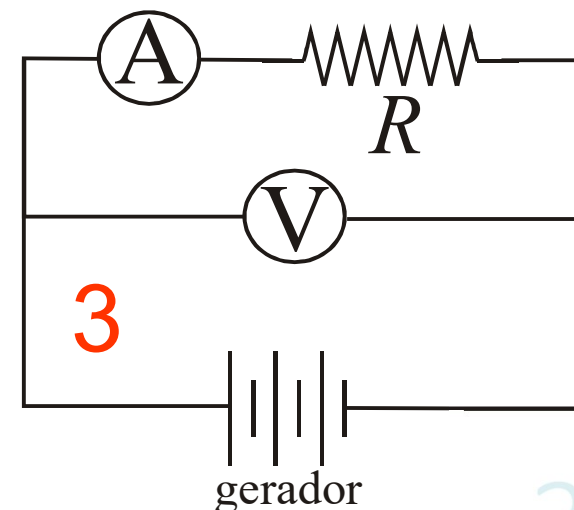
- Dependendo do valor da resistência elétrica a ser estudada, um circuito é mais adequado que o outro.
- Para altas resistências, os procedimentos **1** e **3** são mais adequados que o **2** e vice-versa.

Altas resistências significam resistências comparáveis à resistência do voltímetro.

$$R_{medido} = \frac{V}{i} = \frac{V_R}{i_V + i_R} < R$$



$$R_{medido} = \frac{V}{i} = \frac{V_{Amp} + V_X}{i} = R_{Amp} + R_X$$



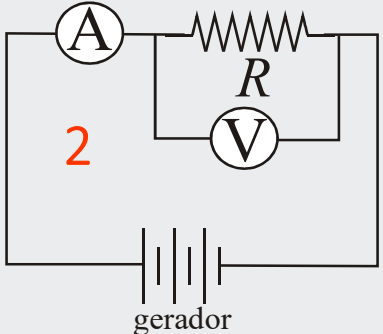
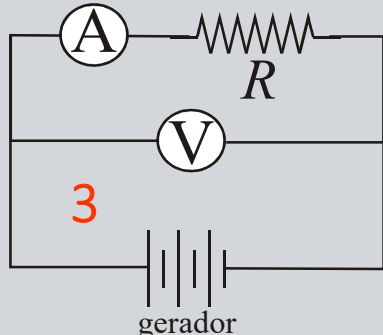
# Análise de Dados

- Obter  $R_{medido}$  dos três resistores disponíveis pelas três maneiras sugeridas (9 valores) (Tabs. 2, 3, 4 e 5)
- Consultar o manual dos multímetros para obter as incertezas nas medidas.
- Propagar as incertezas de acordo com cada cálculo.
- Comparar os valores obtidos para cada um dos resistores pelos três métodos (entre si e com esperado) (Tabs. 2 e 5)
- Qual o melhor procedimento de medida em cada caso? Por que?

# Valores nominais

$$R_{\text{voltage}} = 10 \text{ M}\Omega$$

$$R_{\text{amp}} = 2 \text{ }\Omega \quad R_{\text{ohm}} = 1 \text{ }\Omega$$

	1 $\Omega$	100 $\Omega$	6,8 M $\Omega$
$R_{\text{medido}} = R_{\text{ohm}} + R_R$	2	101	6.800.001
 $R_{\text{medido}} = \frac{R_{\text{voltage}} R_R}{(R_{\text{voltage}} + R_R)}$	1	100	4.047.519
 $R_{\text{medido}} = R_{\text{amp}} + R_R$	3	102	6.800.002

---

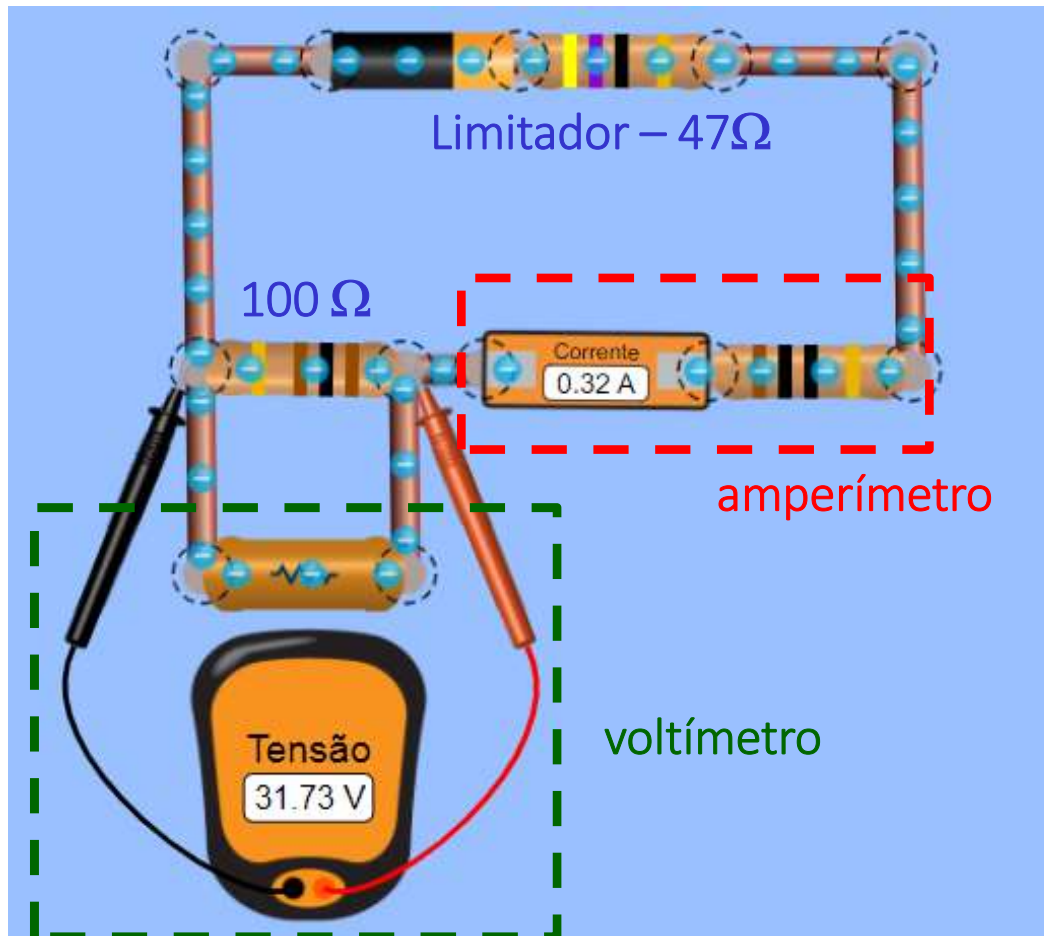
# Para a próxima aula (02/06):

- **Exercício individual** - No *Moodle* (aba Experimento # 5 - Lei de Ohm): (até dia 02/06).
- Apostila do curso (página principal do moodle):  
Capítulo V: Relatório Científico.
- Estrutura de um relatório - Alysson.pdf - Aba Material Didático/Arquivos 2023: como\_escrever\_relatorio.pdf



# Experimento – Simulação de circuito elétrico

[https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab/latest/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab_pt_BR.html)



## SIMULAÇÃO CIRCUITO 2

