

# Física Experimental III

Primeiro semestre de 2020

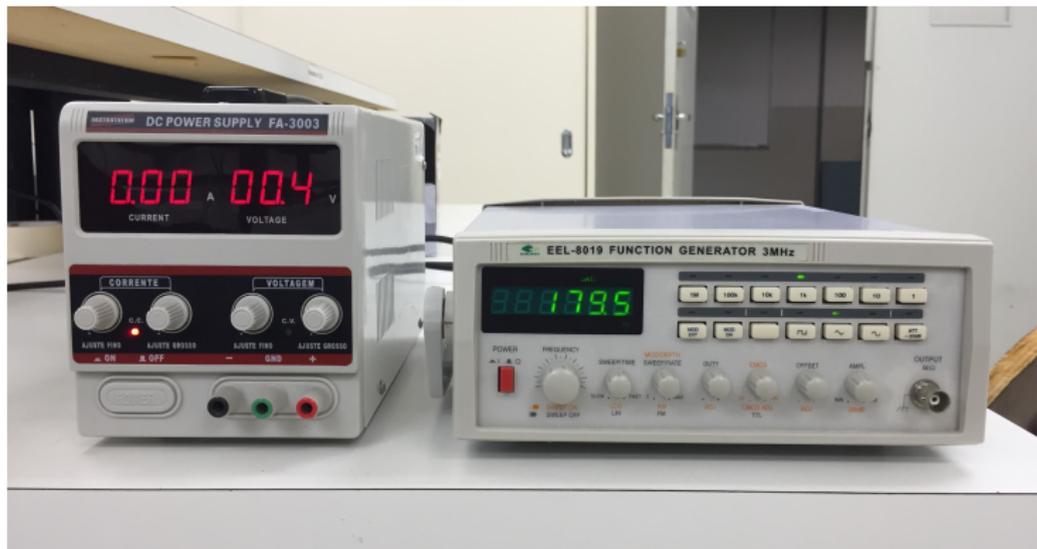
## Aula 1 - Experimento 1

Página da disciplina:

<https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=73158>

03 de março de 2020

# Experimento I - Circuitos elétricos de corrente contínua e alternada



## 1 Experimento

- Experimento 1
- Conceitos importantes
- Curvas características
- Medidas elétricas
- Atividades da semana 1
- Precisão e acurácia dos multímetros

- 1 Experimento
  - Experimento 1
  - Conceitos importantes
  - Curvas características
  - Medidas elétricas
  - Atividades da semana 1
  - Precisão e acurácia dos multímetros

## 1 Experimento

- Experimento 1
  - Conceitos importantes
  - Curvas características
  - Medidas elétricas
  - Atividades da semana 1
  - Precisão e acurácia dos multímetros

# Objetivos do experimento

- Estudar alguns elementos simples de circuitos elétricos a partir de suas curvas características
  - ▶ Resistores
  - ▶ Células solares
  - ▶ Baterias
- Primeiro contacto com as medidas em AC, uso do osciloscópio

- 4 semanas
  - ▶ Semana 1
    - ★ Medida da curva característica de um resistor montado em um circuito em série e em paralelo alimentado por corrente contínua (DC)

- 4 semanas
  - ▶ Semana 1
    - ★ Medida da curva característica de um resistor montado em um circuito em série e em paralelo alimentado por corrente contínua (DC)
  - ▶ Semana 2
    - ★ Medida da curva característica de uma pilha comum e de uma célula solar no regime de corrente contínua (DC)

- 4 semanas
  - ▶ **Semana 1**
    - ★ Medida da curva característica de um resistor montado em um circuito em série e em paralelo alimentado por corrente contínua (DC)
  - ▶ **Semana 2**
    - ★ Medida da curva característica de uma pilha comum e de uma célula solar no regime de corrente contínua (DC)
  - ▶ **Semana 3**
    - ★ Medida da curva característica de um resistor em um circuito em série alimentado por corrente alternada (AC)

- 4 semanas
  - ▶ **Semana 1**
    - ★ Medida da curva característica de um resistor montado em um circuito em série e em paralelo alimentado por corrente contínua (DC)
  - ▶ **Semana 2**
    - ★ Medida da curva característica de uma pilha comum e de uma célula solar no regime de corrente contínua (DC)
  - ▶ **Semana 3**
    - ★ Medida da curva característica de um resistor em um circuito em série alimentado por corrente alternada (AC)
  - ▶ **Semana 4**
    - ★ Medida das propriedades (amplitude, frequência, fase, etc) da tensão da rede (AC)

# IMPORTANTE!

- Síntese da semana (até 1 ponto)
  - ▶ Arquivo em PDF com os gráficos das curvas obtidas, ajustes realizados e eventuais comentários
  - ▶ A data máxima para upload é 19h00 da segunda-feira (diurno) e 8h00 da terça-feira (noturno)
    - ★ Upload no site de reservas como “síntese”
- Muitas atividades são feitas através da comparação dos resultados de toda a turma
- Banco de dados no site da disciplina
  - ▶ Grupos DEVEM fazer upload de resultados no site
  - ▶ A data máxima para upload é 10h00 da terça-feira 10/03

- 1 Experimento
  - Experimento 1
  - **Conceitos importantes**
  - Curvas características
  - Medidas elétricas
  - Atividades da semana 1
  - Precisão e acurácia dos multímetros

# Alguns conceitos importantes

- Potencial elétrico
- Corrente elétrica
- Energia e potência
- Resistência elétrica
  - ▶ Lei de Ohm
- Leis de Kirchhoff
- Medindo tensões, correntes e resistências

- Força coulombiana entre duas cargas

$$\vec{F}(q_1, q_2) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

- Força aplicada a uma carga devido à interação com várias cargas diferentes

$$\vec{F}(q) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

- Em analogia ao campo gravitacional podemos dizer que a carga  $q$  sofre uma força devido ao campo elétrico resultante da presença das outras cargas:

$$\vec{F}(q) = q\vec{E}$$

- O campo elétrico, neste caso, vale:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

- Forças conservativas podem ser escritas através de um potencial, de tal modo que o campo de uma força conservativa é dado por:

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V$$

$$\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x}\hat{x} + \frac{\partial}{\partial y}\hat{y} + \frac{\partial}{\partial z}\hat{z}$$

- Unidades
  - ▶ Potencial elétrico  $\Rightarrow V$  (volt)
  - ▶ Campo elétrico  $\Rightarrow V/m$  (volt por metro)

- Cargas em movimento geram corrente
- Define-se a corrente elétrica como sendo a quantidade de carga que atravessa uma secção transversal de um meio por unidade de tempo

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

- Unidade
  - ▶ Corrente elétrica  $\Rightarrow$  A (Ampere = C/s)

- Define-se potência como sendo a taxa de realização de trabalho, ou seja:

$$P = \frac{dW}{dt} = V i$$

- Dois casos distintos
  - ▶ Potência negativa  $\Rightarrow$  Fornecendo energia
  - ▶ Potência positiva  $\Rightarrow$  Absorvendo energia
- Unidade
  - ▶ Potencia  $\Rightarrow W$  (Watt =  $J/s$ )

# Resistência de um material

- Corrente elétrica
  - ▶ Elétrons livres se movendo em um condutor
  - ▶ Interação com outros elétrons e átomos do material
    - ★ Resistência à movimentação das cargas

- Resistência elétrica

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



- Unidade
  - ▶ Resistência elétrica  $\Rightarrow \Omega$  (Ohm =  $V/A$ )

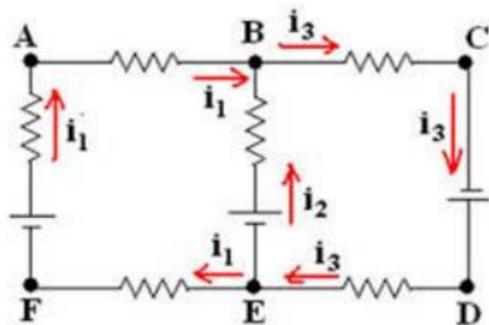
- A lei de Ohm estabelece que a resistência elétrica

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

deve ser **constante** para um determinado material. Esta resistência não deve depender da tensão ou corrente no circuito utilizado. Neste caso diz-se que o **resistor é ôhmico**.

# Leis de Kirchhoff

- Soma das tensões em um loop qualquer deve ser nula
- Soma das correntes em um nó qualquer deve ser nula
- Cuidado com orientações e sinais



$$V_{AB} + V_{BE} + V_{EF} + V_{FA} = 0$$

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

# Potência absorvida por um resistor

- Em um resistor

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

- Deste modo, podemos calcular a potência absorvida como sendo:

$$P = V i$$

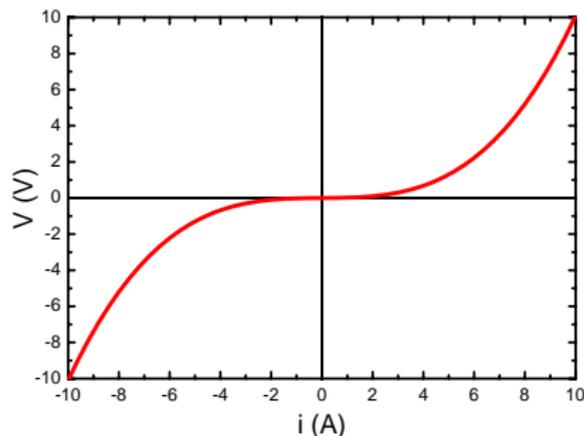
$$P = R i^2 \quad \text{ou} \quad P = \frac{V^2}{R}$$

## 1 Experimento

- Experimento 1
- Conceitos importantes
- **Curvas características**
- Medidas elétricas
- Atividades da semana 1
- Precisão e acurácia dos multímetros

# Curva característica

- O que é?
  - ▶ É um gráfico, característico de cada elemento, que estabelece qual a tensão sobre o elemento em função da corrente aplicada
    - ★ Em geral, gráfico de  $V \times i$  para Físicos
    - ★ Técnicos, engenheiros preferem  $i \times V$



# Curva característica

- Pontos importantes

- ▶  $V = 0$  para  $i = 0$ 
  - ★ Não há tensão se não há corrente aplicada

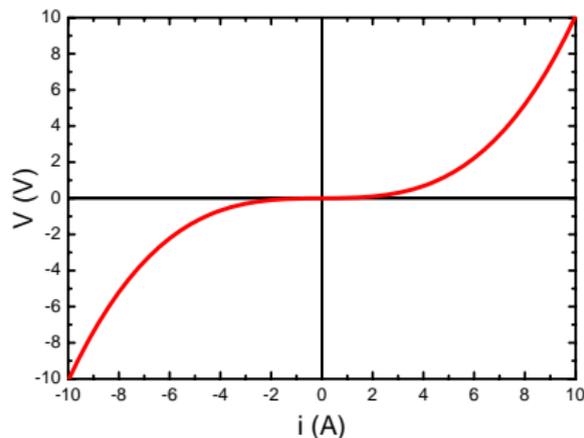
- Resistência do elemento

- ▶  $R = \frac{V}{i}$

- Resistência dinâmica

- ▶  $R = \frac{dV}{di}$

- ▶ Relevância prática



# Exemplo: resistor ôhmico

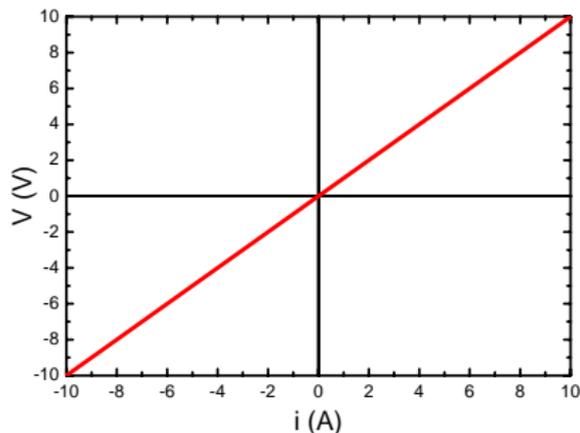
- No caso do resistor ôhmico

- ▶  $R = \frac{V}{i} = \text{const.},$  ou seja

$$V = R i$$

- Curva característica

- ▶ Reta
  - ▶ Resistência dinâmica = resistência



## 1 Experimento

- Experimento 1
- Conceitos importantes
- Curvas características
- **Medidas elétricas**
- Atividades da semana 1
- Precisão e acurácia dos multímetros

# Como fazer medidas elétricas?

- Várias técnicas
  - ▶ Balanças de correntes
    - ★ Medem a força entre dois fios utilizando uma balança mecânica
  - ▶ Balanças eletrostáticas
    - ★ Medem a carga entre dois objetos utilizando uma balança mecânica
  - ▶ Amperímetros/voltímetros/osciloscópios/etc.
    - ★ Instrumentos utilizados para medir correntes, tensões elétricas, etc.
    - ★ Muito utilizados em situações práticas do dia-a-dia

# Instrumentos básicos de um laboratório de eletrônica

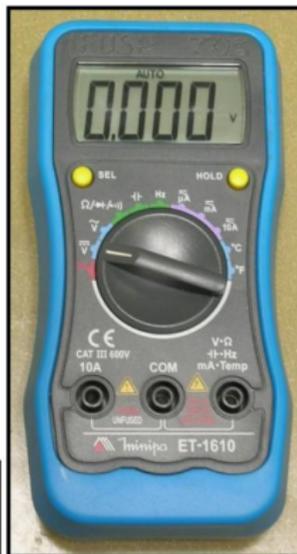
Multímetro {  
Voltímetro  
Amperímetro  
Ohmímetro  
Capacitômetro  
Indutômetro  
Frequencímetro

Osciloscópio { Voltímetro  $v(t)$   
Cronômetro

Fontes de tensão e/ou corrente {  
Pilha / bateria  
Fontes CC (DC)  
Fontes CA (AC)

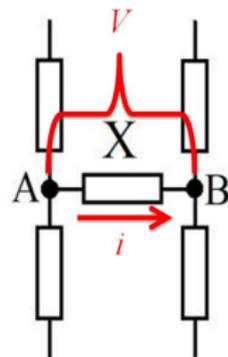
Interfaces para aquisição de dados (multi I/O) {  
Fontes CA/CC programáveis  
Voltímetro  
Cronômetro  
Frequencímetro

# Multímetros



# Utilizando um multímetro

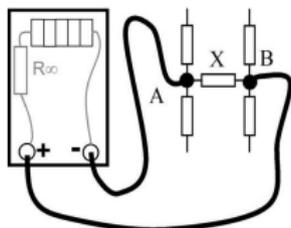
Elemento de circuito  $X$ , pelo qual passa uma corrente  $i$  e sobre o qual existe uma tensão  $V$



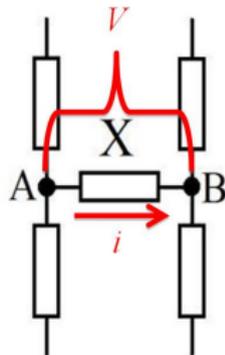
# Utilizando um multímetro

## Medida da tensão $V$

Voltímetro

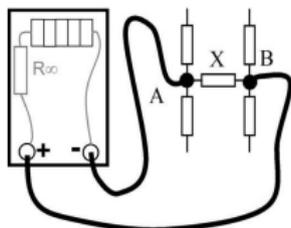


Elemento de circuito X, pelo qual passa uma corrente  $i$  e sobre o qual existe uma tensão  $V$

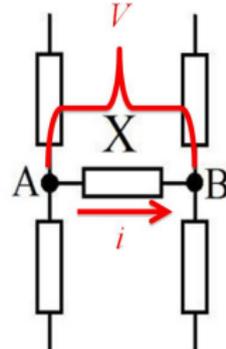


# Utilizando um multímetro

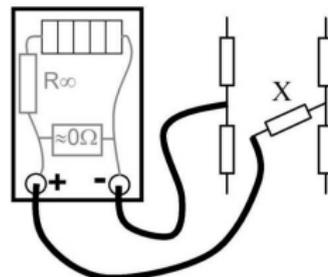
Medida da tensão  $V$   
Voltímetro



Elemento de circuito  $X$ , pelo qual passa uma corrente  $i$  e sobre o qual existe uma tensão  $V$



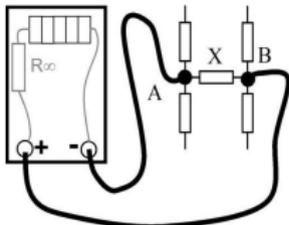
Medida da corrente  $i$   
Amperímetro



# Utilizando um multímetro

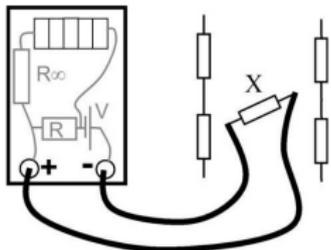
## Medida da tensão $V$

Voltímetro

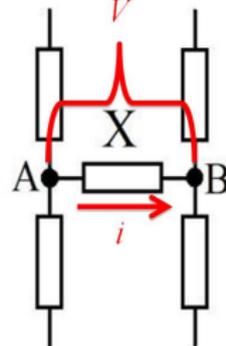


## Medida da resistência

Ohmímetro

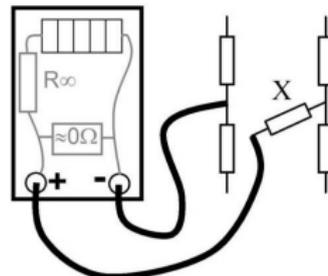


Elemento de circuito  $X$ , pelo qual passa uma corrente  $i$  e sobre o qual existe uma tensão  $V$



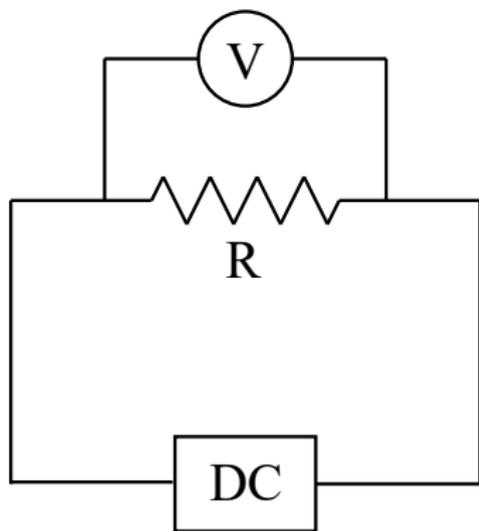
## Medida da corrente $i$

Amperímetro

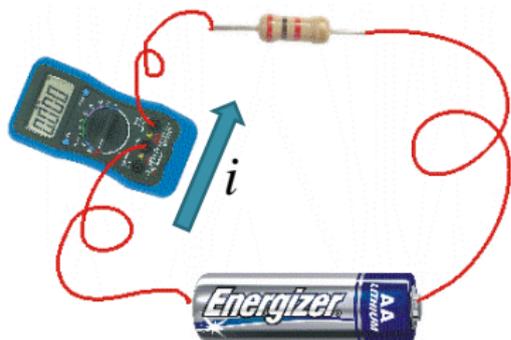
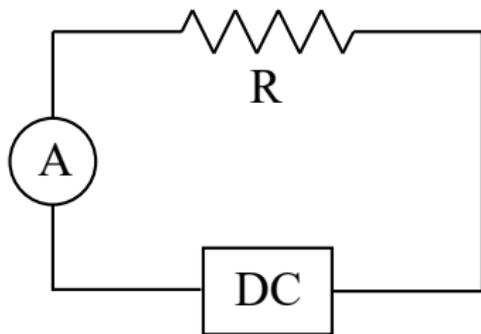


# Medindo tensão

- O Voltímetro deve ser colocado em paralelo ao elemento que se quer medir a tensão

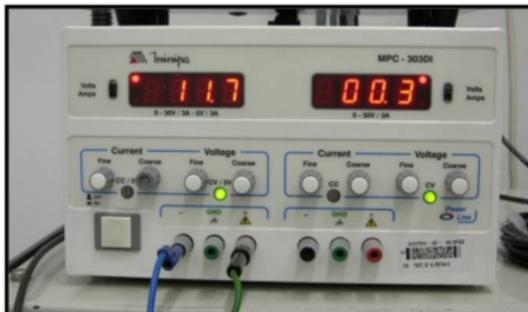


- O Amperímetro deve ser colocado em série ao elemento que se quer medir a corrente



# Geradores

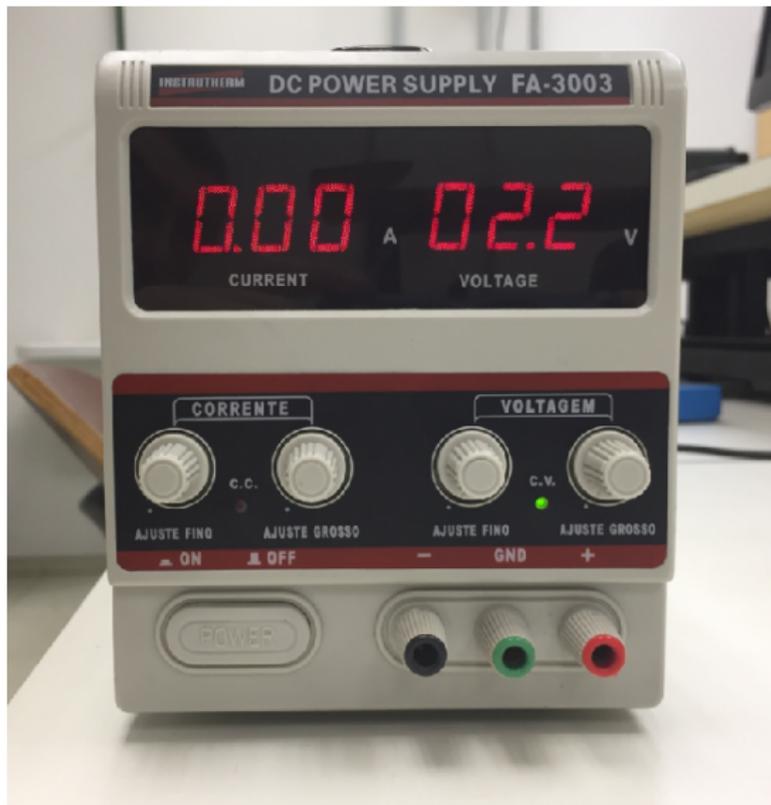
- DC - Direct Current - Tensão/Corrente contínua
- Modo tensão (regula V, I depende do circuito)
- Modo corrente (regula I, V depende do circuito)



## 1 Experimento

- Experimento 1
- Conceitos importantes
- Curvas características
- Medidas elétricas
- **Atividades da semana 1**
- Precisão e acurácia dos multímetros

- Familiarizar-se com equipamentos do laboratório
  - ▶ Como realizar medidas elétricas
    - ★ Fontes, multímetros, etc.
- Medir as curvas características de alguns componentes simples
  - ▶ Resistor comercial



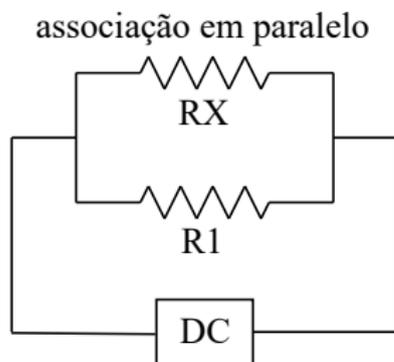
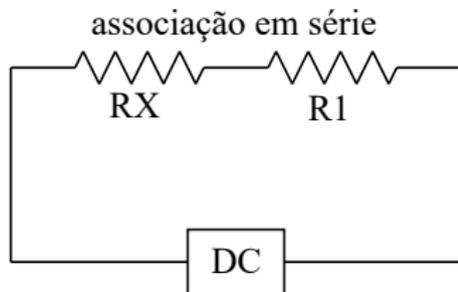
# Voltímetro e amperímetro

## Voltímetro



## Amperímetro

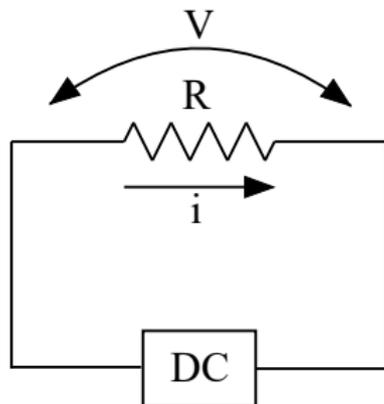




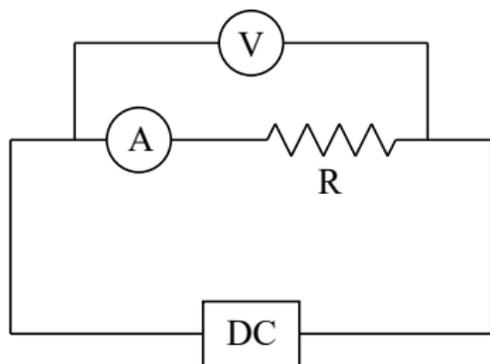
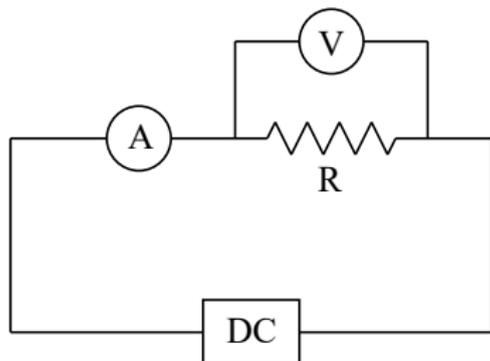
- Medir a curva característica de um resistor comercial RX para as duas associações
  - ▶ Medir para tensões positivas e negativas

- Estimar a ordem de grandeza das correntes elétricas envolvidas nos circuitos.
  - ▶ Estas correntes são passíveis de serem medidas diretamente com o amperímetro disponível?
  - ▶ Qual é a dissipação de potência no resistor devida a estas correntes?
- Estime quantos pontos diferentes de tensão e corrente seriam necessários para definir bem o comportamento da curva característica do resistor nos limites de operação dos instrumentos
- Faça um esquema dos circuitos que serão utilizados para as medidas, explicitando onde serão colocados o voltímetro e o amperímetro em cada caso.
- Mais detalhes no roteiro do experimento no site
- **OS GRUPOS somente poderão usar o laboratório após apresentar esta atividade resolvida**

- Utilizando um circuito elétrico simples
  - ▶ Mede-se a tensão elétrica sobre o resistor
  - ▶ Mede-se a corrente que flui sobre o mesmo
  - ▶ Faz-se o gráfico apropriado



- Utiliza-se um voltímetro para medir a tensão no resistor
- E um amperímetro para medir a corrente no resistor
- Duas opções de circuito elétrico
  - ▶ Qual é melhor?
  - ▶ Lembrem-se do experimento feito em Fís. Exp. II



# Atividades da semana 1

- Monte os circuitos que você esquematizou durante a preparação para o experimento. Note que você irá utilizar um multímetro no modo amperímetro e outro multímetro no modo volímetro.
- **Tenha certeza que a fonte está regulada para tensões pequenas, próximas de zero. Nunca ligue o circuito com a fonte regulada para tensões elevadas porque a corrente pode ser alta e queimar o circuito.**
- De posse das estimativas realizadas meça os vários pontos experimentais (tensão e corrente no resistor) variando a tensão aplicada na fonte. Não esqueça das incertezas das medidas.
- Faça a curva característica apropriada para cada uma das associações.
- Ajuste o modelo teórico aos dados experimentais. O modelo para um resistor ôhmico descreve bem estes dados? A curva característica é uma reta? Como você pode, analisando os dados, verificar isto? como você pode comparar os valores obtidos para as duas associações?
- Meça o valor da resistência com o multímetro Tektronix DMM 4050. Compare o valor medido com os obtidos das curvas características.
- Mais detalhes no roteiro do experimento no site

- 1 Experimento
  - Experimento 1
  - Conceitos importantes
  - Curvas características
  - Medidas elétricas
  - Atividades da semana 1
  - Precisão e acurácia dos multímetros

## Medir a tensão fornecida por uma pilha

- Objetivos
  - ▶ Medir a tensão fornecida por uma pilha AA
  - ▶ Determinar a incerteza dessa medida
  - ▶ Determinar a influência de se utilizar diferentes voltímetros

# Multímetro - Minipa ET-2042D



# Multímetro de maior precisão - Tektronix DMM 4050



- Medida de tensão DC com o multímetro Minipa ET-2042D

## A. Tensão DC

Faixa	Precisão	resolução
200mV	$\pm(0,5\%+3D)$	100 $\mu$ V
2V		1mV
20V		10mV
200V		100mV
1000V	$\pm(1,0\%+5D)$	1V

### Observações:

- Impedância de Entrada 10M $\Omega$ .
- Proteção de Sobrecarga: 250V DC / Pico AC para faixa 200mV.  
1000V DC / Pico AC para outras faixas.

- Medida na escala de 2 V

1,256  $\pm$  incerteza (V)

- Medida de tensão DC com o multímetro Minipa ET-2042D

## A. Tensão DC

Faixa	Precisão	resolução
200mV	$\pm(0,5\%+3D)$	100 $\mu$ V
2V		1mV
20V		10mV
200V		100mV
1000V	$\pm(1,0\%+5D)$	1V

### Observações:

- Impedância de Entrada 10M $\Omega$ .
- Proteção de Sobrecarga: 250V DC / Pico AC para faixa 200mV.  
1000V DC / Pico AC para outras faixas.

- Medida na escala de 2 V

$$1,256 \pm 0,009 \text{ (V)}$$

- Utilizamos

- ▶ 40 multímetros Minipa ET-2042D
- ▶ 1 multímetro Tektronix DMM 4050
- ▶ 3 montagens das pilhas com tensões diferentes: 0,8 V, 1,5 V e 1,8 V

- Medidas

- ▶ 3200 medidas com diferentes multímetros Minipa
- ▶ Comparamos com as medidas feitas com o multímetro Tektronix (referência)
- ▶ Medidas feitas em dias diferentes

- A média das tensões medidas foi: 1,445 V

# Medidas da tensão da pilha

- A média das tensões medidas foi: 1,445 V
- Mas, e a incerteza?

# Medidas da tensão da pilha

- A média das tensões medidas foi: 1,445 V
- Mas, e a incerteza?
- A média das tensões medidas foi:  $1,445 \pm 0,4586$  V

# Medidas da tensão da pilha

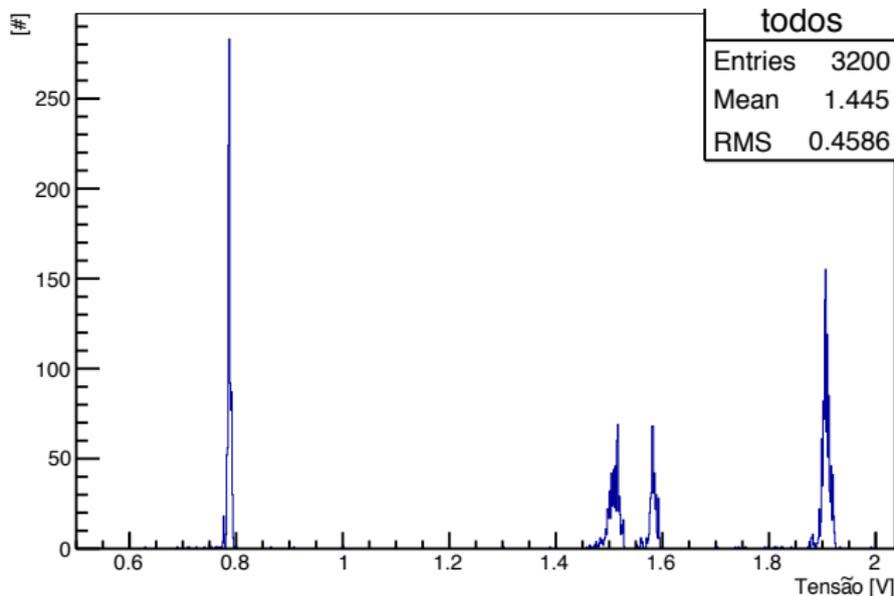
- A média das tensões medidas foi: 1,445 V
- Mas, e a incerteza?
- A média das tensões medidas foi:  $1,445 \pm 0,4586$  V
- A média das tensões medidas foi:  $1,45 \pm 0,46$  V

# Medidas da tensão da pilha

- A média das tensões medidas foi: 1,445 V
- Mas, e a incerteza?
- A média das tensões medidas foi:  $1,445 \pm 0,4586$  V
- A média das tensões medidas foi:  $1,45 \pm 0,46$  V
- Mas tínhamos pilhas com tensões diferentes: 0,8 V, 1,5 V e 1,8 V

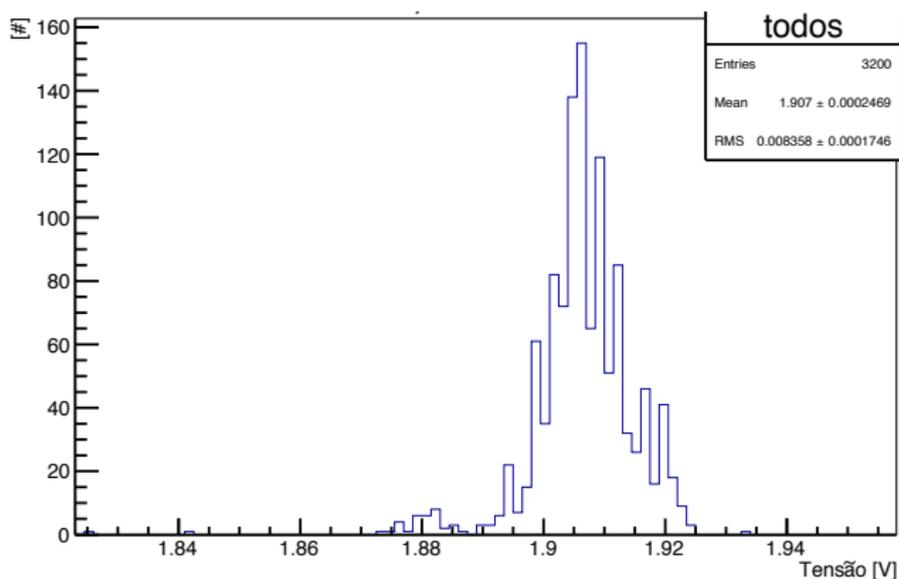
# Histograma das medidas

- Todas as medidas com todos os multímetros



- 3 pilhas diferentes: não é correto calcular a média de todas as medidas

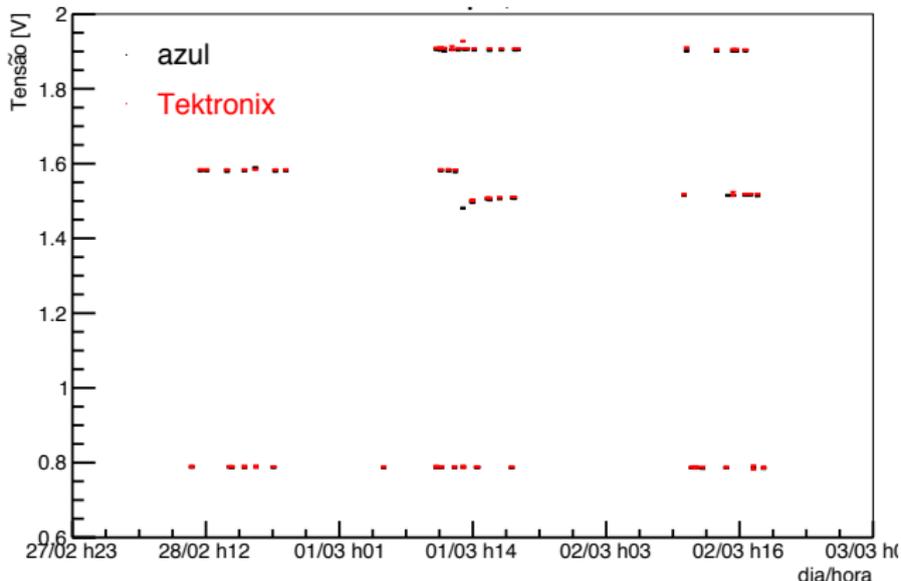
# Um único pico



- Como analisar essas medidas?

# Evolução temporal das medidas

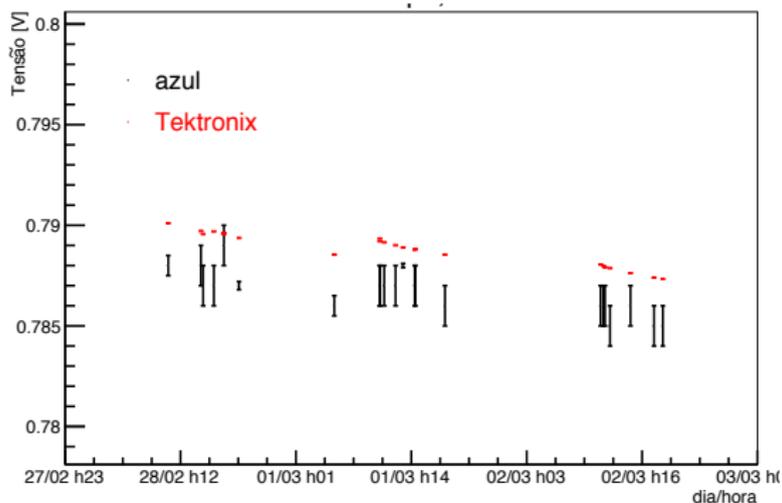
- Tensões medidas, em função do tempo, para um único multímetro Minipa



- Alguma alteração no valor da tensão?

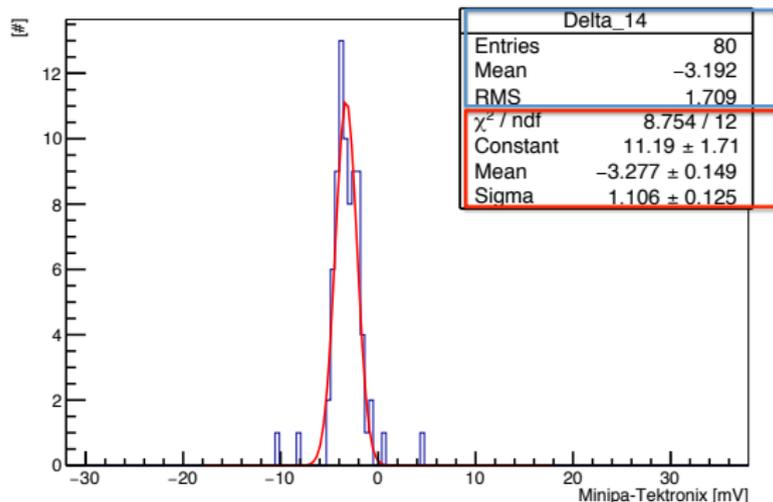
# Evolução temporal das medidas

- Medidas em torno de 0,8 V



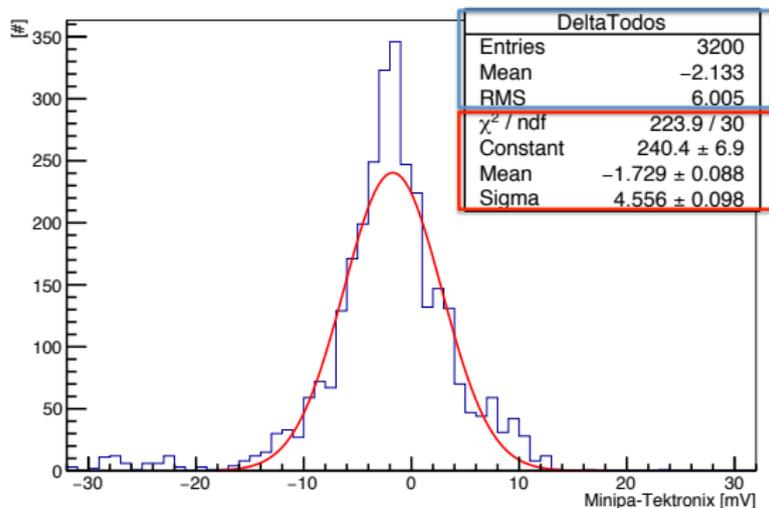
- A tensão diminui com o tempo (a pilha se descarrega)
- Melhor estimativa do “valor verdadeiro” - medidas com o multímetro Tektronix
- Vamos analisar a diferença

# Um dos Minipa - Tektronix



- Discordância entre os valores medidos pelos dois multímetros: -3,3 mV (acurácia)
- Sigma da gaussiana: 1,1 mV (precisão)

# Minipa (todos) - Tektronix



- Todas as medidas dentro de um intervalo de  $\pm 10$  mV
- Sigma da gaussiana: 4,6 mV - estimativa da largura da distribuição de acurácia dos multímetros

- A maioria dos multímetros são consistentes consigo mesmo, com incerteza  $< 1$  mV (aproximadamente um dígito)
- As medidas dos vários multímetros se distribuem ao redor do medida do Tektronix com dispersão de  $\sim 5$  mV
- Qual é a incerteza a ser usada?