

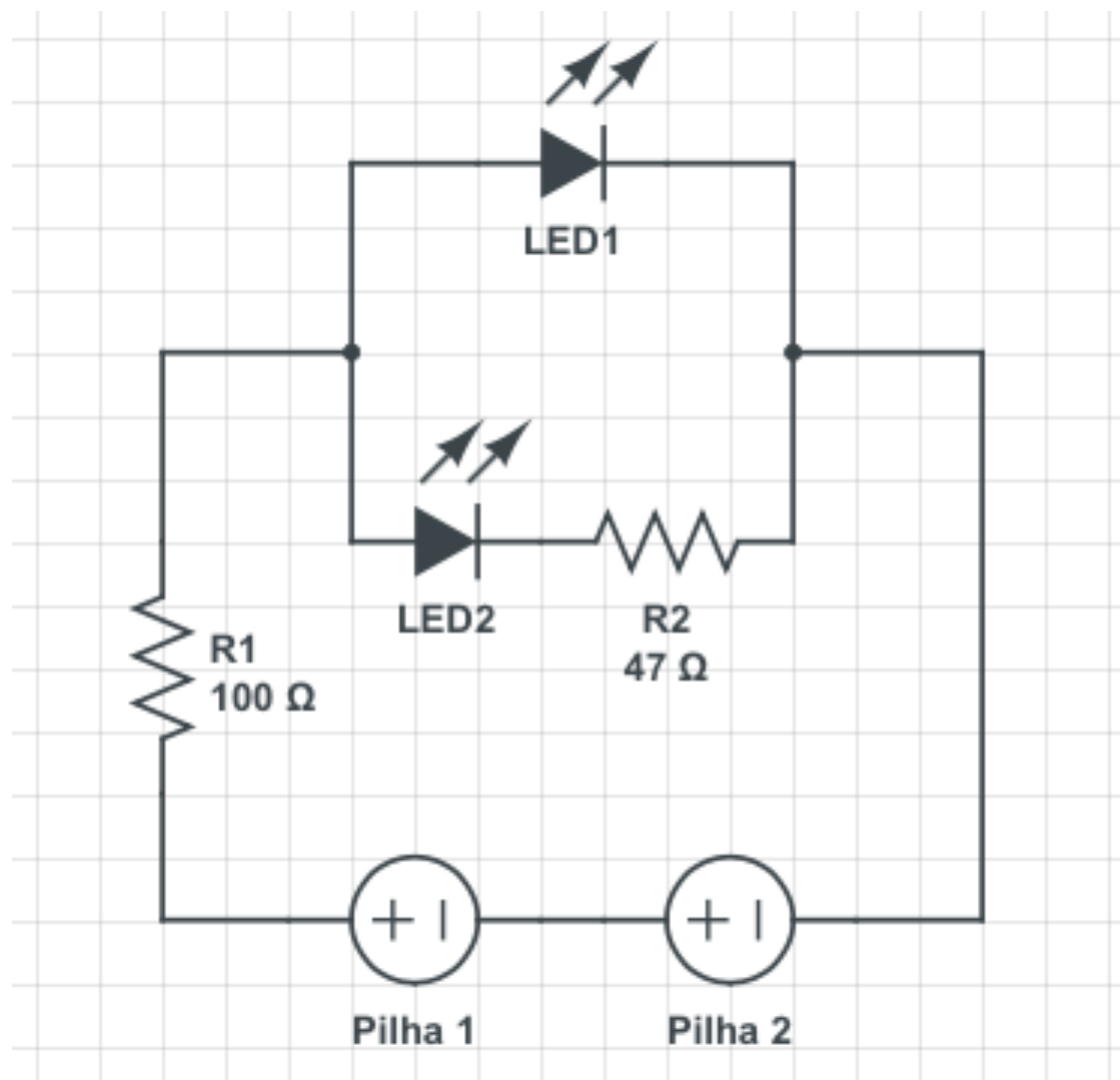


Física Experimental III

Experimento I

Circuitos de corrente contínua

O que eu preciso saber para resolver este circuito?





Alguns conceitos importantes

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

Campo elétrico

- 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

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

Campo elétrico

- 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:

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

O potencial elétrico

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

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

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

- Unidades:
 - Potencial elétrico $\rightarrow$ Volt (V)
 - Campo elétrico $\rightarrow$ V/m (Volt por metro)

Corrente elétrica

- 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

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

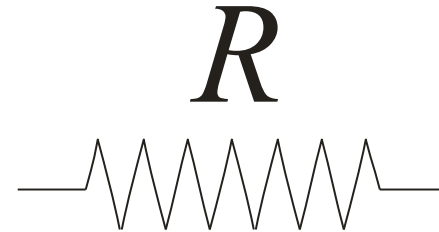
- Unidade: Ampere. $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$

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

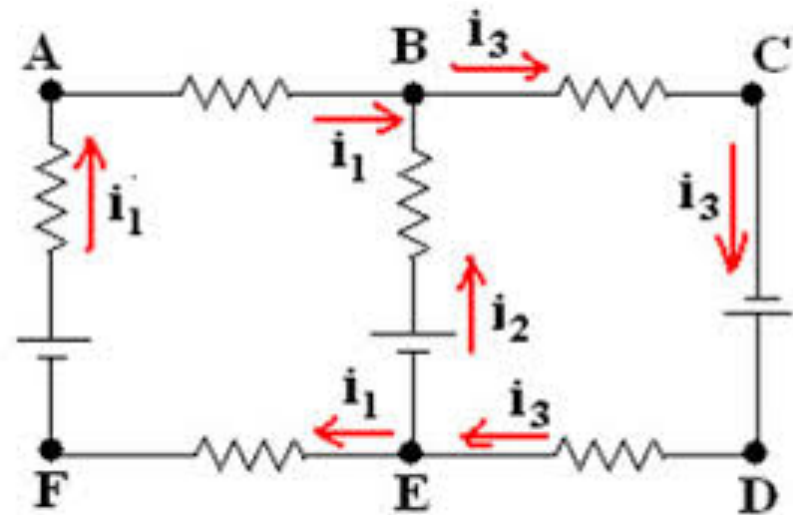
$$R = \frac{V}{i}$$



- Unidade Ω (Ohm) | $\Omega = \text{V/A}$

Leis de Kirchhoff para circuits

- 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



Lei de Ohm

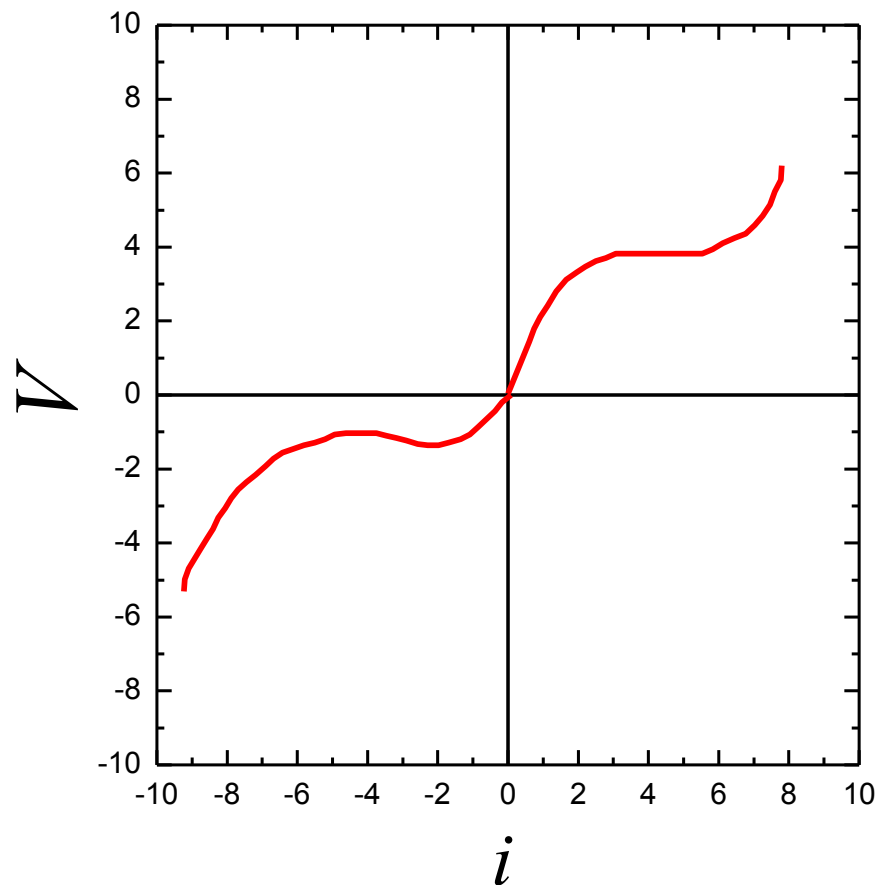
- Estabelece que a resistência elétrica

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

deve ser constante para um determinado material. Esta resistência não deve depender da tensão ou corrente no circuito utilizado, bem como de outras variáveis, como temperatura. Neste caso diz-se que o resistor é ôhmico.

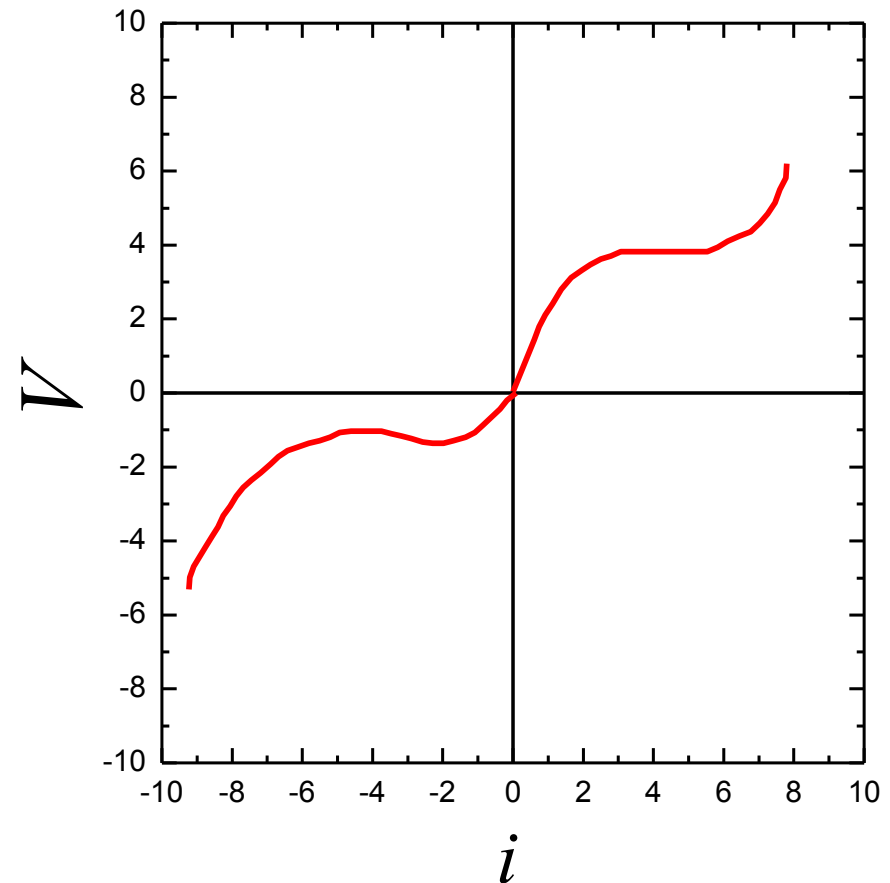
Curvas características

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



Curvas características

- Pontos importantes
 - $i = 0$ para $V = 0$
 - Não há corrente se não há tensão aplicada
- Resistência do elemento
 - $R = V/i$
- Resistência dinâmica
 - $R = dV/di$
 - Relevância prática

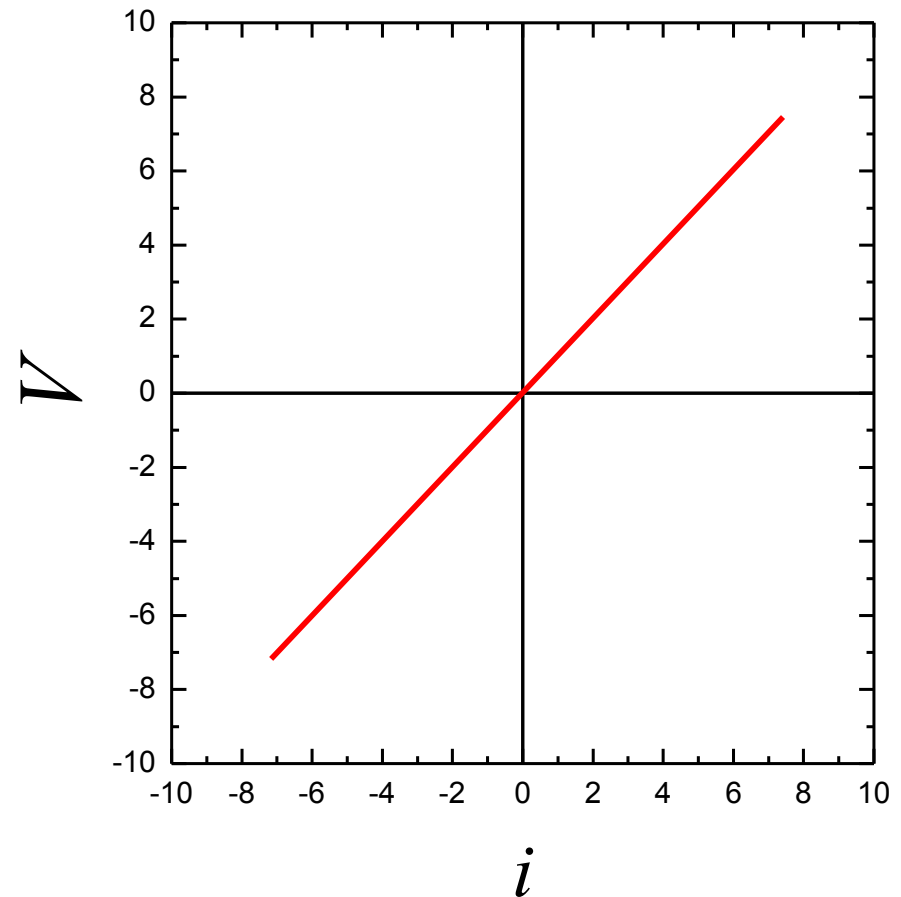


Exemplo: resistor ohmico

- No caso do resistor ohmico,
 - $R = V/i = \text{const.}$, ou seja:

$$V = R \cdot i$$

- Curva característica
 - Reta
 - Resistência dinâmica = resistência

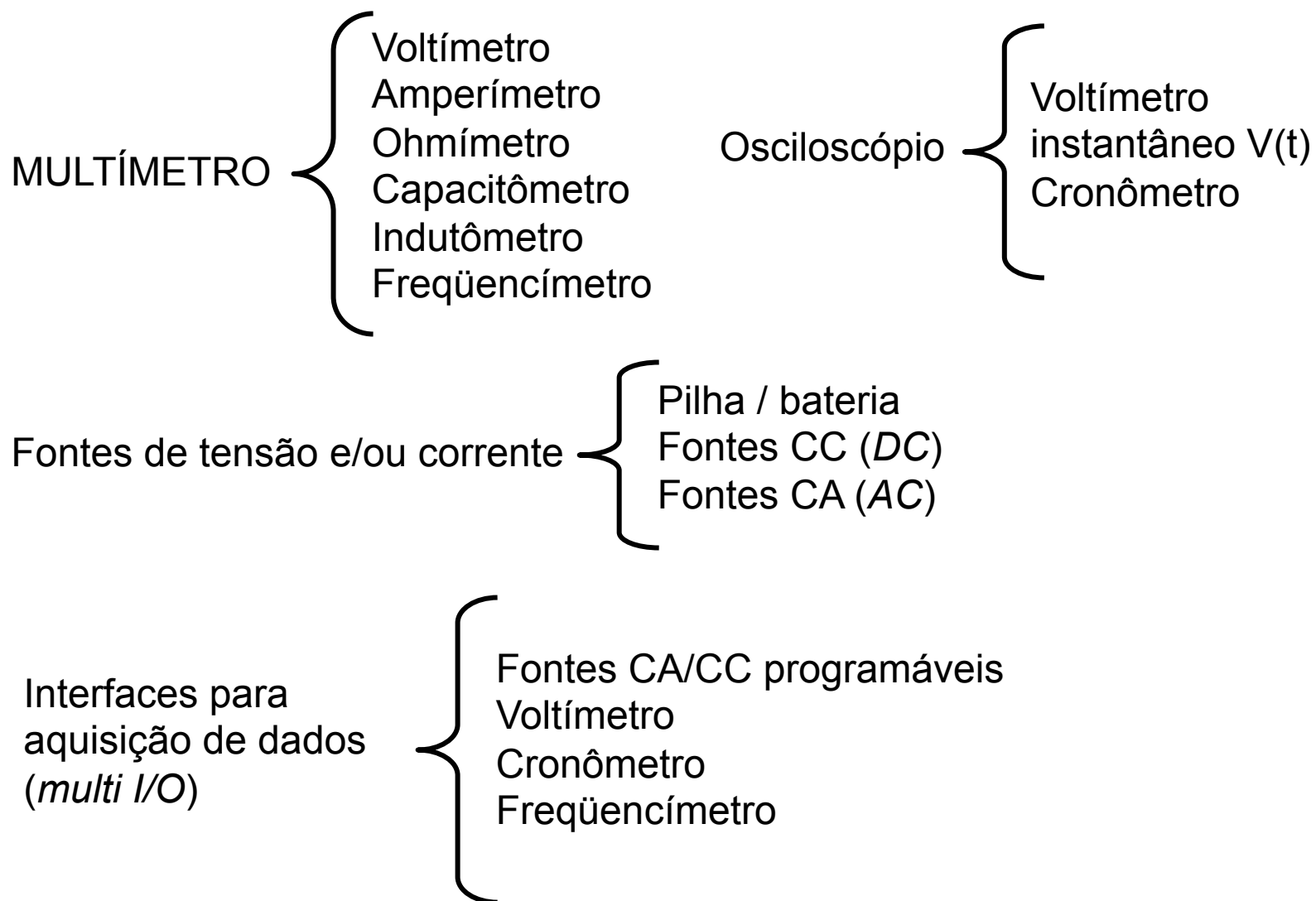




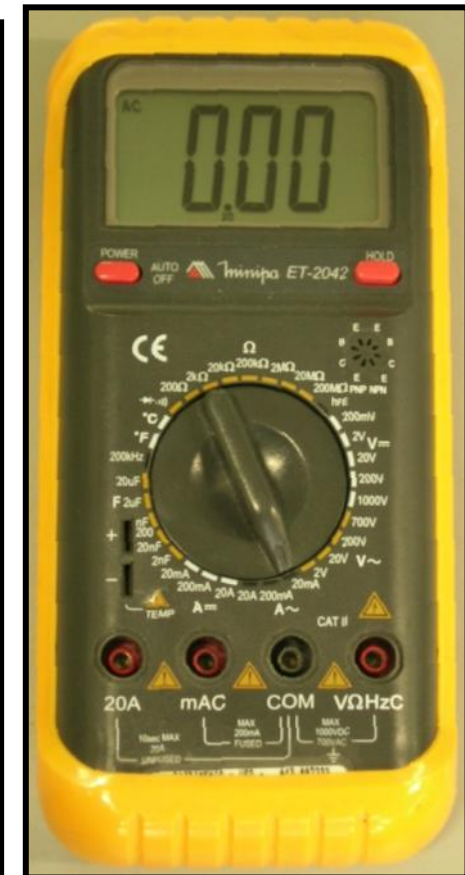
Os objetivos desta semana

- Se familiarizar com equipamentos do laboratório
 - Como realizar medidas elétricas
 - Fontes, multímetros, computador, etc.
- Medir as características de alguns componentes simples
 - Resistor comercial simples
 - LED

Instrumentos básicos de um laboratório de eletrônica



Multímetro



Utilizando um multímetro

- Porta COM (comum)
 - Utilizada sempre
- As outras portas dependem do que vai medir (V, Ω , mA, etc)
- Olhe o seletor para saber o que está medindo
 - Cuidado com tensão (e corrente) contínua e alternada!
- HOLD, trava a leitura



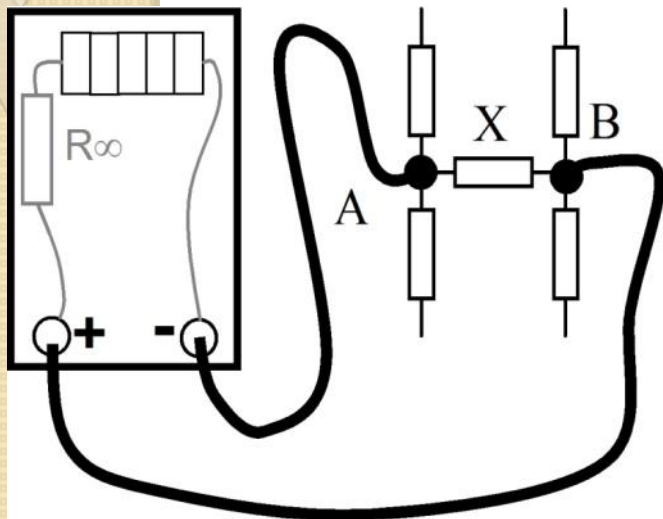
Fazendo a leitura

- Fiquem atentos com a escala utilizada
- Olhem os Algarismos disponíveis na tela, os Algarismos podem mudar com o valor medido.
- Fiquem atentos para a precisão (incerteza) do instrumento
 - Olhem o manual
 - Depende do modelo e da escala utilizada!

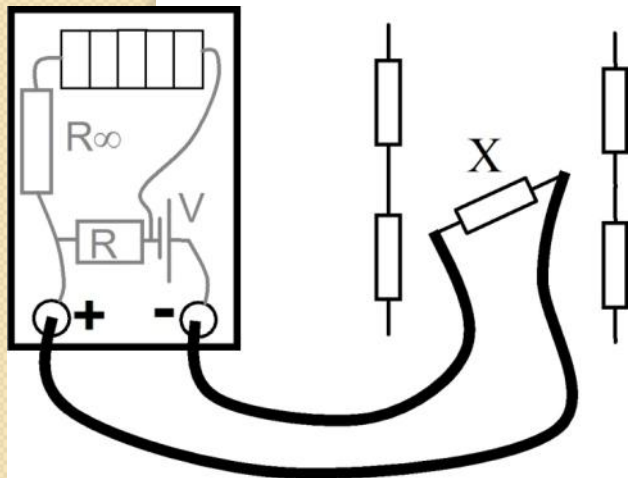


Utilizando um multímetro

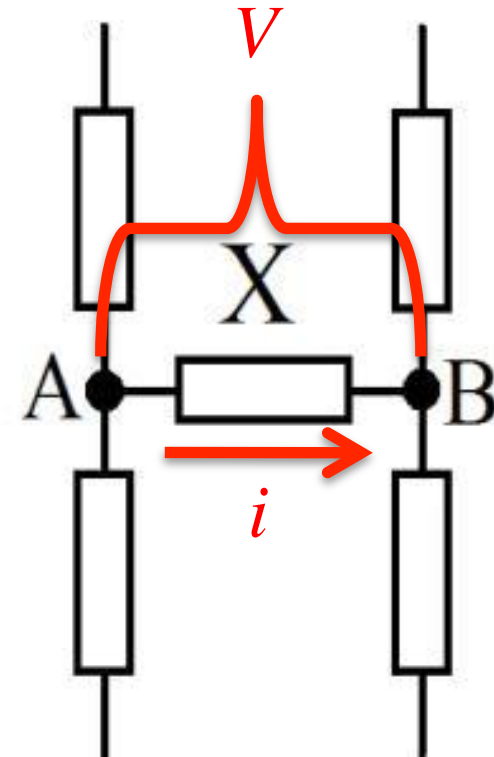
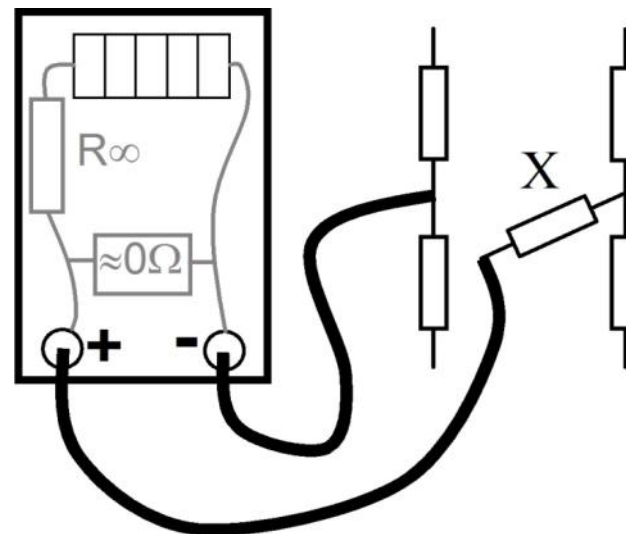
Voltímetro



Ohmímetro

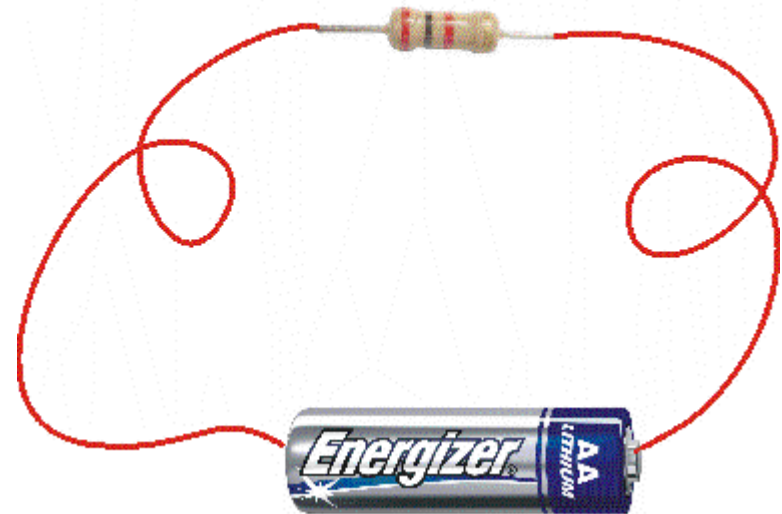
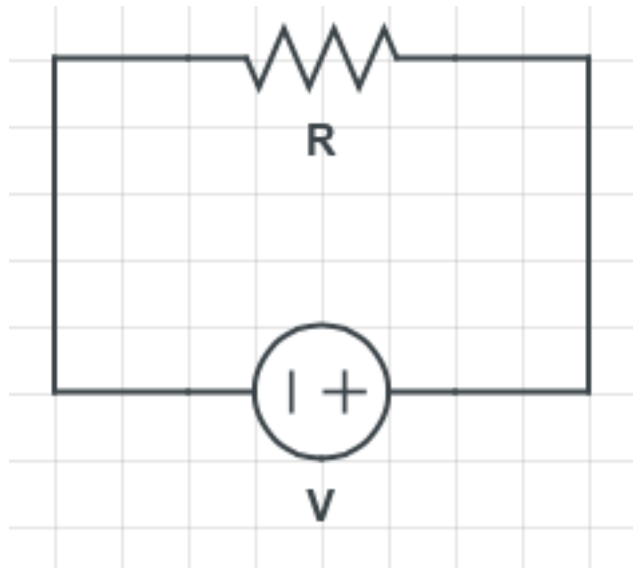


Amperímetro



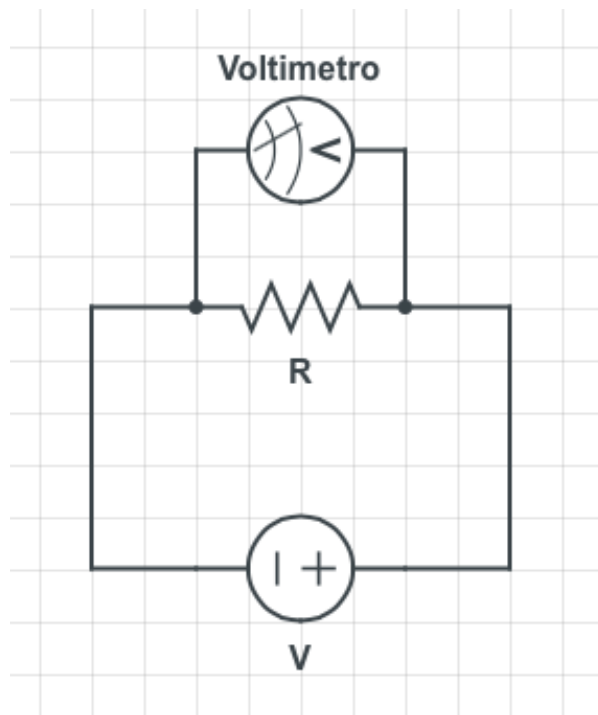
Medindo correntes e tensões em circuitos simples

- Seja um circuito elétrico simples composto de uma pilha e um resistor.
 - Como medimos a tensão no resistor e a sua corrente com um multímetro?

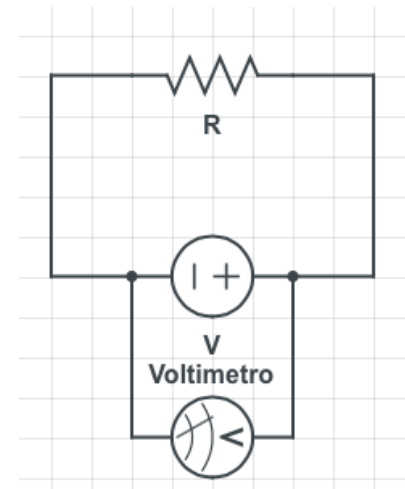
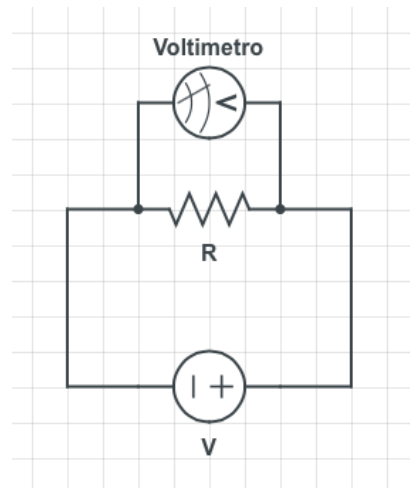


Medindo tensão

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

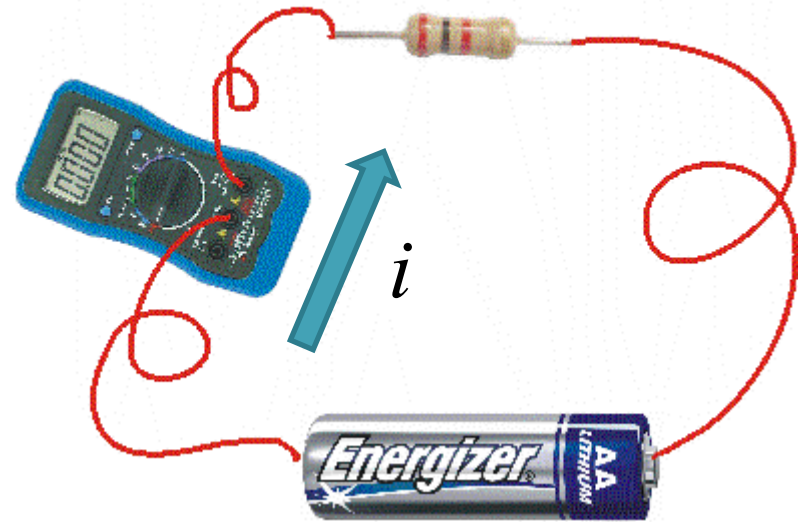
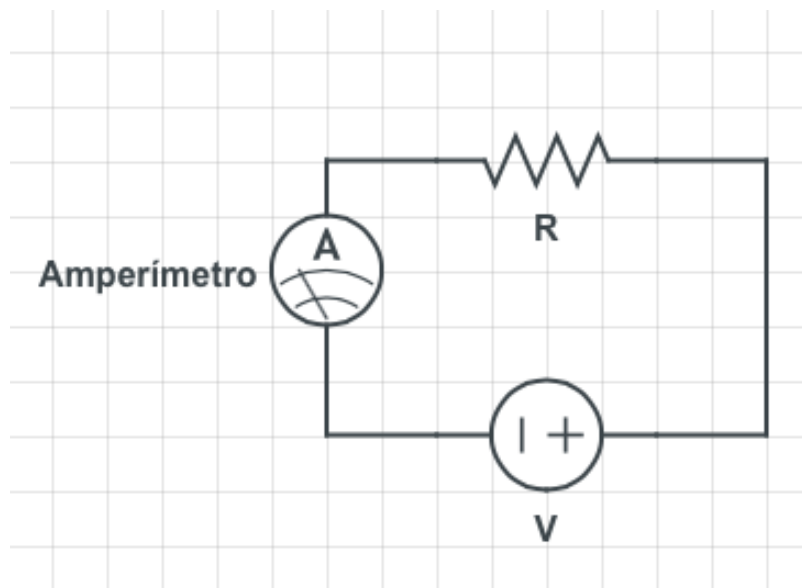


Note que fios são praticamente “ideais”



Medindo corrente

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

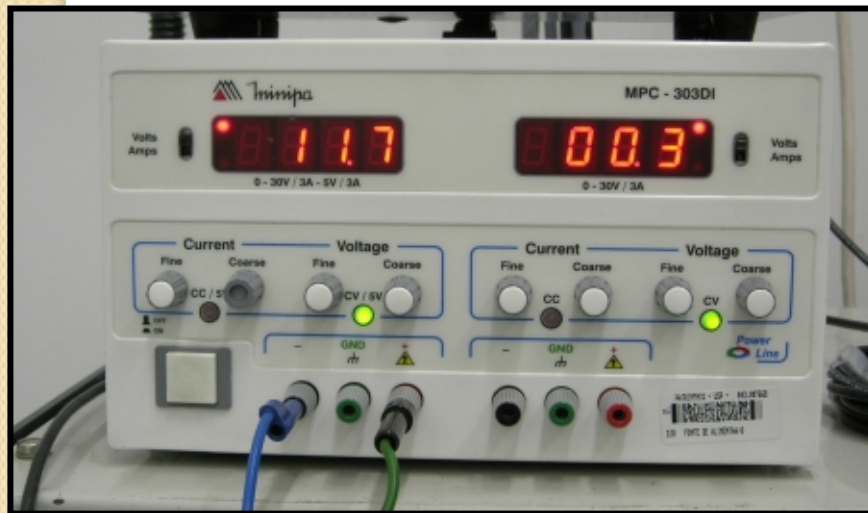


Há muitos geradores além da pilha comum.

DC - Direct Current - Tensão/Corrente contínua

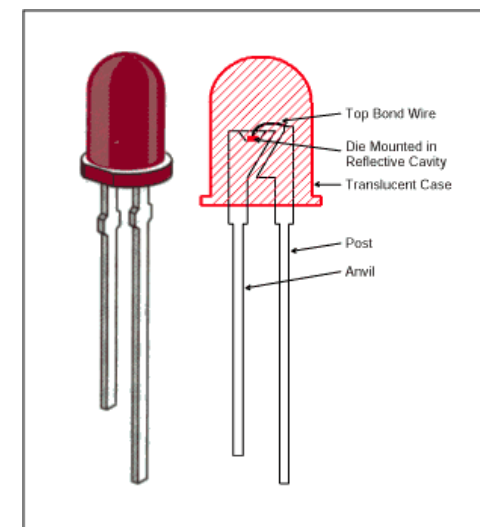
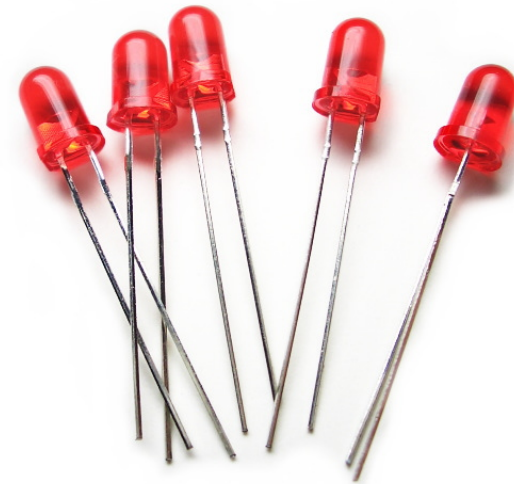
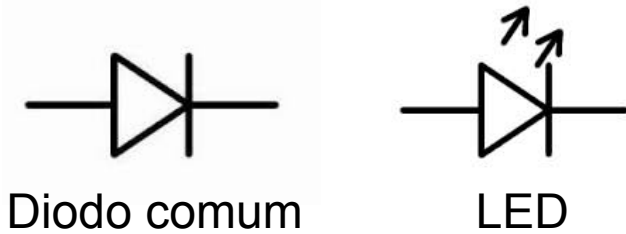
Modo tensão (regula V, I depende do circuito)

Modo corrente (regula I, V depende do circuito)

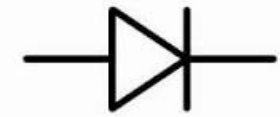


LED

- O LED é um diodo que emite luz
 - Diodos, em geral, emitem luz mas somente alguns na região do comprimento de onda do visível
 - Geometria favorável à percepção da luz produzida



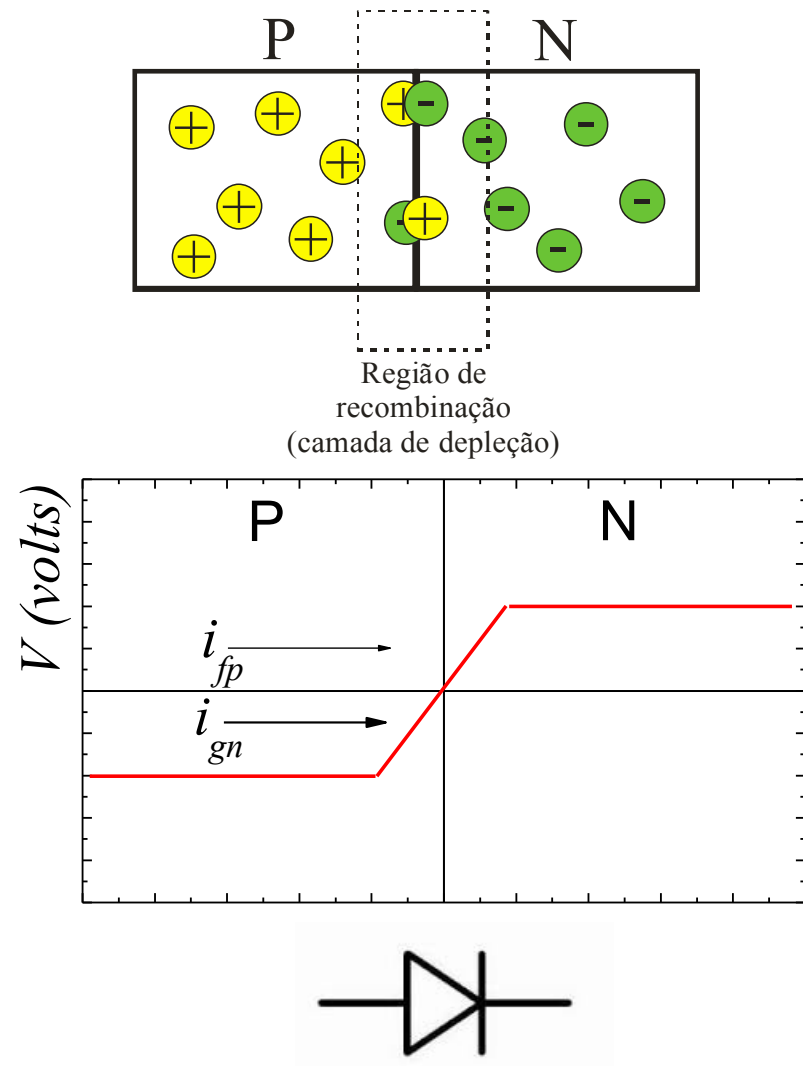
O que é um diodo?



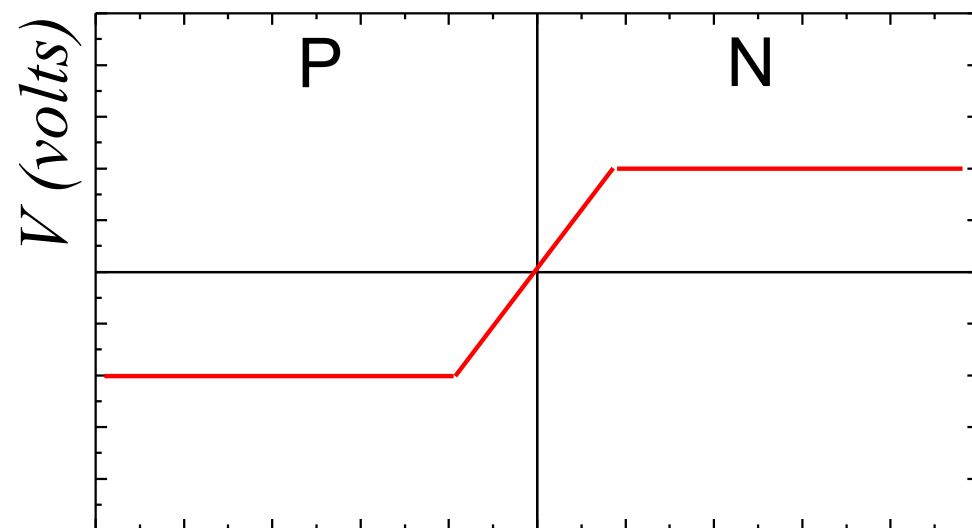
- Elemento resistivo que, idealmente,
 - conduz corrente perfeitamente em um sentido ($R \rightarrow 0$)
 - não conduz corrente no sentido oposto ($R \rightarrow \infty$)
 - O diodo real é próximo disto.
- Diodos, em geral são feitos de materiais semi-condutores tetravalentes (silício, germânio, etc.) dopados com elementos tri- ou penta-valentes em uma junção PN
 - Uau!!!! O que isto quer dizer?

O diodo é uma junção PN

- Junção PN
 - Na região de junção ocorre recombinação de cargas, tornando a junção “livre” de cargas livres
- A diferença de cargas cria uma diferença de potencial na junção
 - Correntes devido aos dopantes (i_{fp}) e devido às lacunas abertas por agitação térmica (i_{gn})
 - Tem que vencer a barreira de potencial

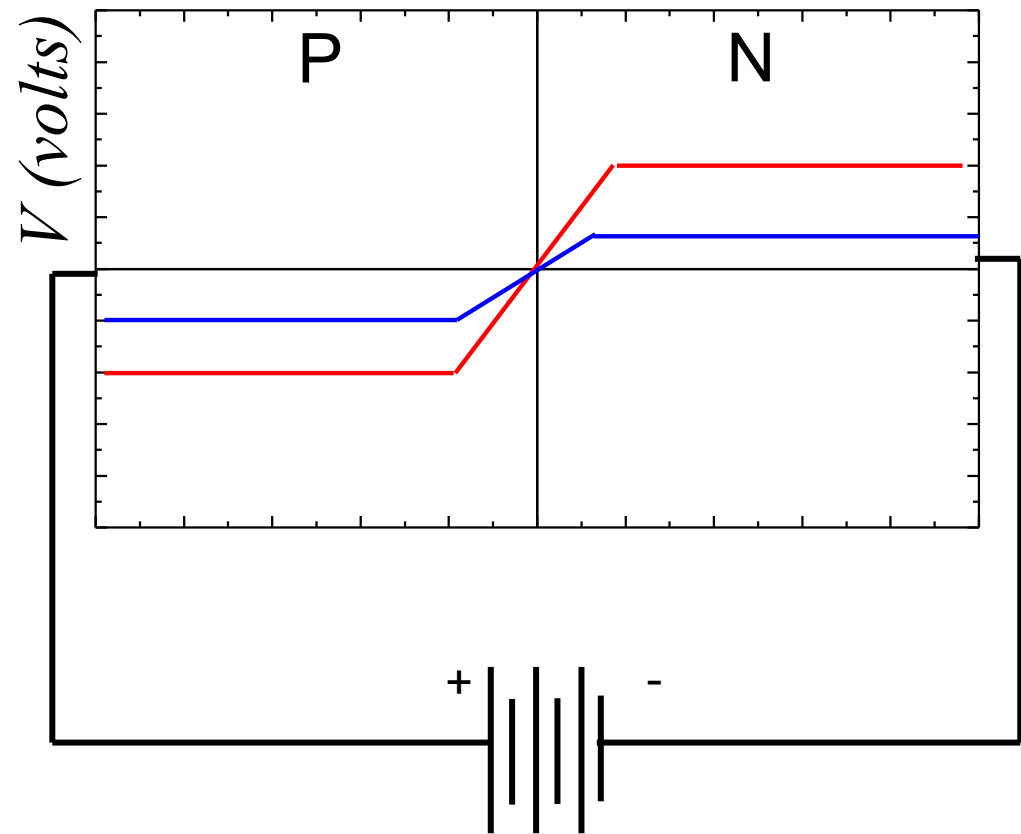


Aplicando tensões em diodo



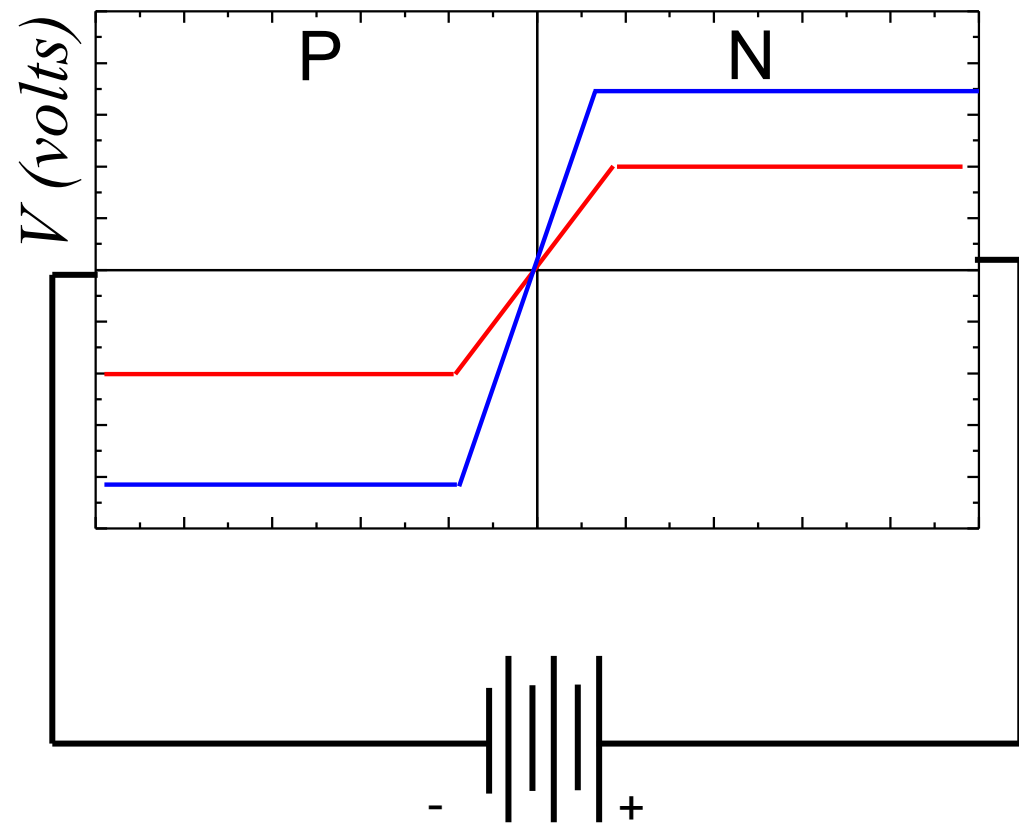
Aplicando tensões em diodo

- Tensão direta
 - Diminui a barreira de potencial
 - Favorece a condução de corrente



Aplicando tensões em diodo

- Tensão direta
 - Diminui a barreira de potencial
 - Favorece a condução de corrente
- Tensão reversa
 - Aumenta a barreira de potencial
 - Dificulta a condução

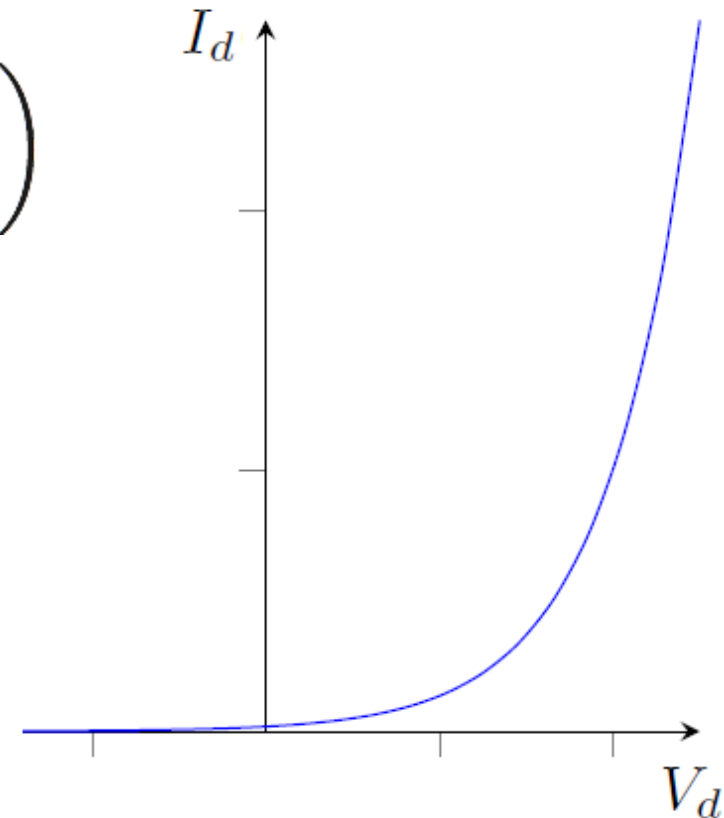
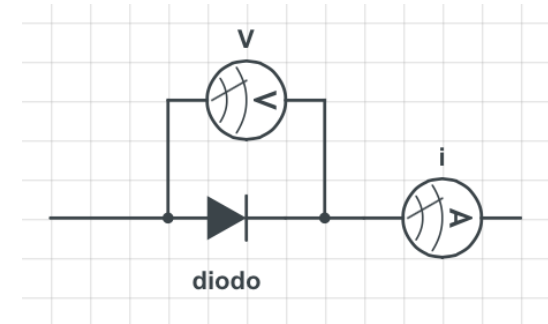


Curva característica de um diodo ideal

- Depende da temperatura do diodo
 - Eq. de Schockley

$$i = i_0 \left(\exp \left(\frac{eV}{nKT} \right) - 1 \right)$$

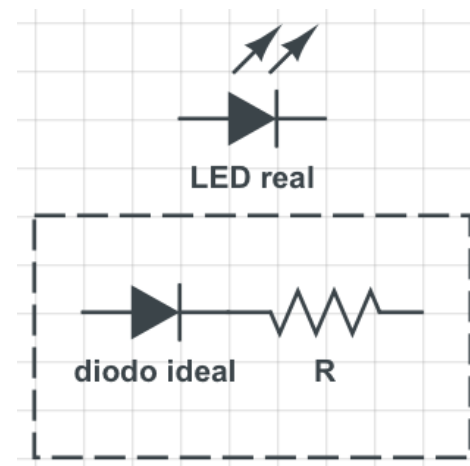
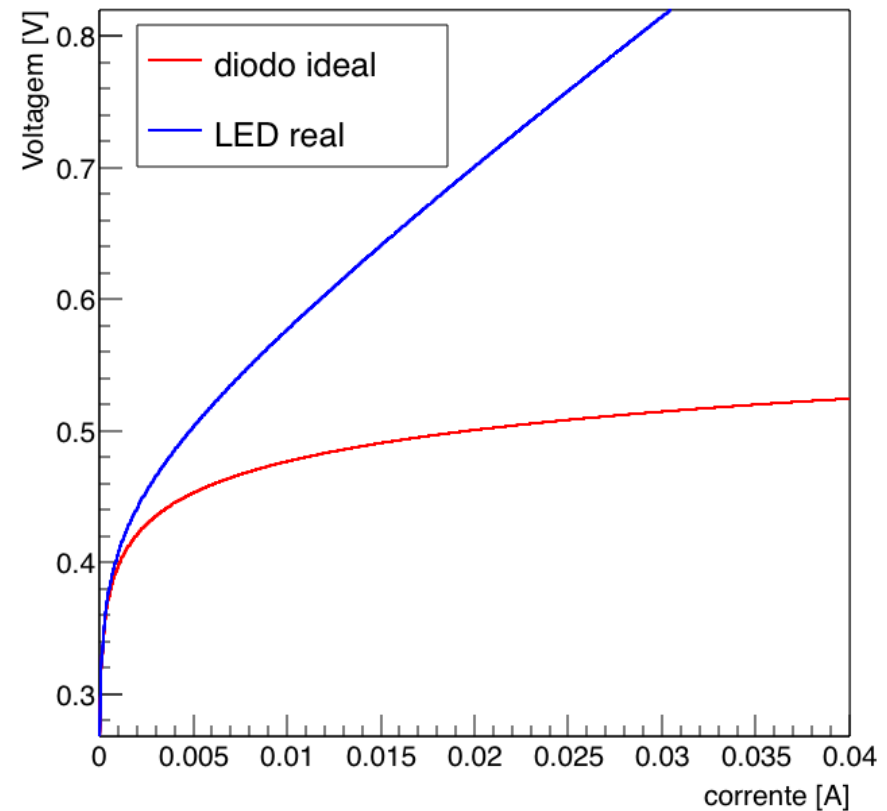
- i_0 é característico do diodo
- n é característico do diodo
- e = carga do elétron
- K = constante de Boltzman
- T = temperatura



O LED real

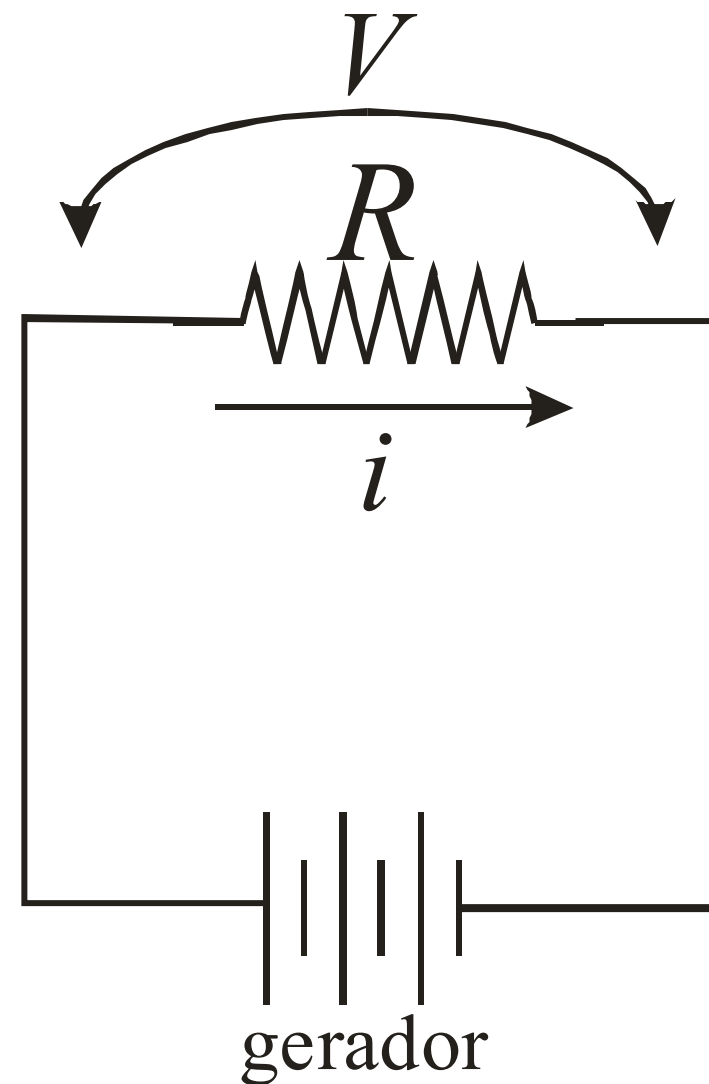
- O LED real se assemelha mais a um diodo em série com um resistor
 - Esta resistência interna vem do processo de fabricação do diodo e das características dos seus materiais.

curva caracterstica do LED



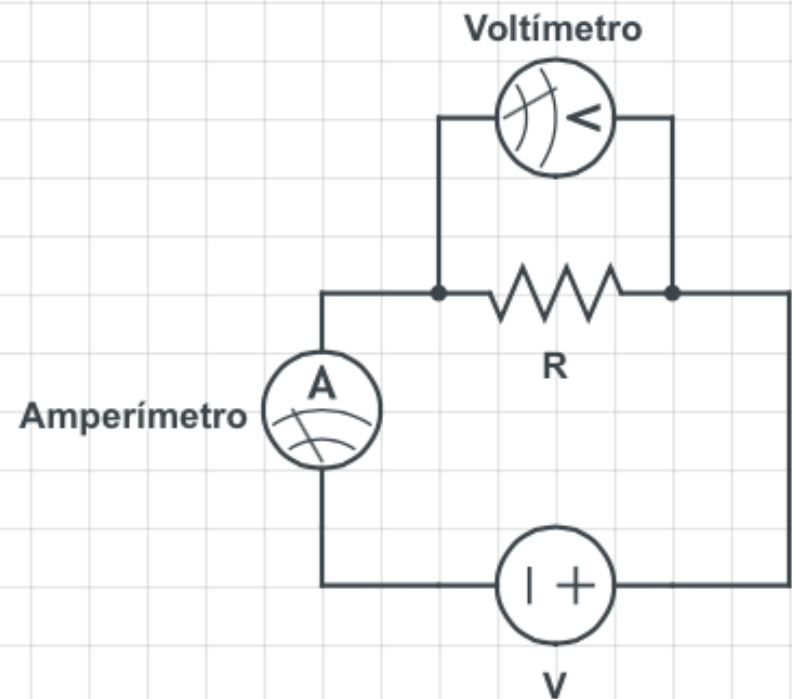
Medindo curvas características

- 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



Na prática

- Utiliza-se um voltímetro para medir a tensão no resistor
- E um amperímetro para medir a corrente no resistor
- Este circuito supõe que a corrente que passa pelo voltímetro é ~ 0

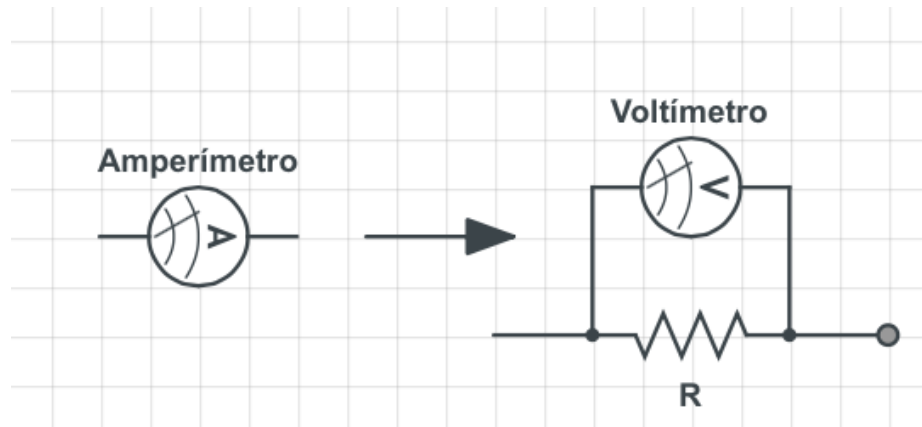


Outro detalhe experimental

- Amperímetros são instrumentos sensíveis
 - Evite usar amperímetros
 - O que fazer?
 - Substitua um amperímetro por um voltímetro e um resistor em paralelo. Meça a voltagem no resistor e use a relação

$$R = V/i$$

para calcular a corrente. O valor de R depende da situação.





Atividades

- Tarefa preparatória
 - Olhem o site
 - O uso do laboratório depende da apresentação desta tarefa
- Medidas
 - Medir a curva característica de um resistor comercial e verificar se ele obedece à Lei de Ohm
 - Medir a curva característica de um LED comum e ajustar o modelo do LED aos dados para extrair suas características.

Prepare-se para o experimento

Antes de proceder à tomada de dados é necessário fazer um planejamento adequado. Parte deste planejamento pode ser feito fora do laboratório e isto pode economizar um tempo enorme durante a tomada de dados.

A proposta é medir a curva característica de um resistor comercial simples cujo valor nominal de resistência é $R = 10k\Omega$ e de um diodo LED. Para isto você terá à disposição dois multímetros, resistores variados, fios e uma fonte de tensão contínua regulável entre 0 e 30 V.

Para o resistor comercial

Espera-se que um resistor comercial tenha resistência constante dentro da sua faixa de operação. Ou seja, espera-se que o resistor seja ôhmico. Neste caso, podemos prever facilmente qual será a sua curva característica. Usando desta informação e sabendo que a fonte de tensão opera entre 0 e 30 V, avalie:

- Qual a ordem de grandeza das correntes elétricas envolvidas se ligarmos este resistor diretamente na fonte? Estas correntes são passíveis de serem medidas diretamente com o amperímetro disponível?
- 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?

Para do LED

O caso do LED é um pouco mais complicado. A curva característica de um diodo ideal segue, aproximadamente, a [equação de Shockley](#) :

$$i = i_0 \left(\exp\left(\frac{eV}{nKT}\right) - 1 \right)$$

Onde i_0 e n são parâmetros que dependem de como o diodo foi construído. Para fins de estimativa, vamos assumir que $i_0 \sim 1 \times 10^{-15} A$ e $n \sim 3,5$.

Nesta equação você pode notar que a tensão tende a saturar em um valor relativamente baixo, próximo de 0.5V. Isto significa que, para tensões aplicadas pouco acima, ou em torno, deste valor as correntes tendem a infinito. Bons diodos atuam desta maneira. Possuem resistência tendendo a zero depois de polarizados. Um LED, contudo, se assemelha muito mais a um diodo ideal em série com um pequeno resistor. Esta resistência interna surge da estrutura interna do diodo, como os contatos elétricos são feitos, etc. Tipicamente esta resistência vale da ordem de poucos Ω . Vamos assumir, para fins práticos, que esta resistência interna vale 10Ω .

- Faça o gráfico da curva característica do LED para o modelo realista. DICA: é mais simples fazer a curva de tensão no LED em função da corrente. Lembre-se que a tensão no LED é a soma da tensão do diodo ideal com a tensão do seu resistor interno.
- Sabendo que não devemos ter uma tensão elétrica no LED maior que cerca de 3,5 V, qual é a corrente máxima que devemos ter passando através do LED.
- Com base na estimativa anterior, defina a região de corrente e tensão elétrica no LED que devemos medir e defina quantos pontos experimentais devemos medir nesta região para ter uma boa definição da curva característica do LED.

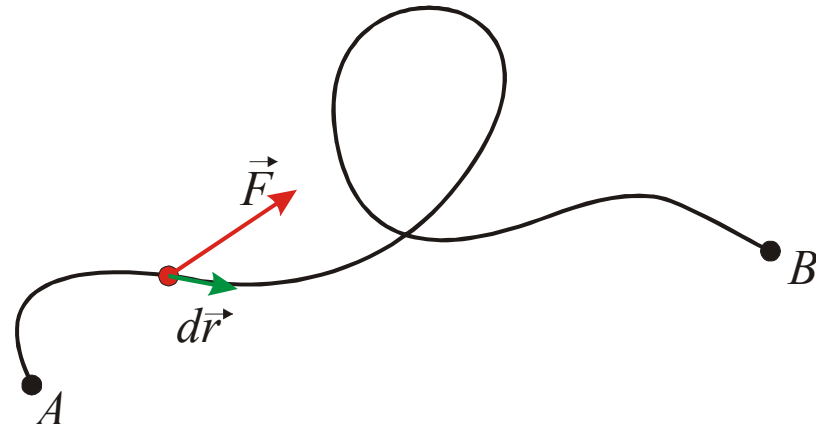


Extras

Trabalho de uma força

- Partícula sobre a ação de uma força.
- O trabalho realizado por esta força para deslocar a partícula do ponto A ao ponto B pelo caminho s é:

$$W = \int_s \vec{F} \cdot d\vec{r} = \Delta K$$



ΔK = variação da energia cinética

(teorema do trabalho-energia, ver Moysés I)

Potência elétrica

- No caso de corpos sujeitos a forças elétricas

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

- Quem é dW/dq ?
 - Precisamos calcular o trabalho exercido pelo campo elétrico para mover uma carga.

Quem é dW/dq ?

- Vamos calcular o trabalho realizado por um campo elétrico sobre uma carga.

$$W = \int_s \vec{F} \cdot d\vec{r} = \Delta K$$

- A força elétrica vale:

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

- Assim, o trabalho realizado por esta força é:

$$W = q \int_s \vec{E} \cdot d\vec{r} = \Delta K$$

Quem é dW/dq ?

- Mas também sabemos que:

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

- Assim temos que:

$$W = -\int_s \nabla V \cdot d\vec{r}$$

- A integral de linha de um campo conservativo é o seu próprio potencial (ver Cálculo III, Guidorizzi)

$$W = -q(V_B - V_A) = qV$$

Potência elétrica

Em circuitos elétricos o sinal é decidido se o componente fornece ou absorve energia

- Potência em um componente elétrico:

$$P = i \frac{dW}{dq} = i \frac{d(qV)}{dq} = Vi \frac{dq}{dq} = Vi$$

- A potência elétrica (absorvida ou produzida) é sempre o produto da tensão aplicada e a corrente gerada

$$P = Vi$$