

Prof. Antonio Domingues dos Santos

adsantos@if.usp.br

Ramal: 6886

Mário Schemberg, sala 205

Prof. Leandro Barbosa

lbarbosa@if.usp.br

Ramal: 7157

Ala1, sala 225

Profa. Eloisa Szanto

eloisa@dfn.if.usp.br

Ramal: 7111

Pelletron

Prof. Henrique

Barbosa

hbarbosa@if.usp.br

Ramal: 6647

Basílio, sala 100

Prof. Nelson Carlin

nelson.carlin@dfn.if.usp.br

Ramal: 6820

Pelletron

Prof. Paulo Artaxo

artaxo@if.usp.br

Ramal: 7016

Basilio, sala 101

Circuitos

<http://lababerto.if.usp.br>

Física Exp. 3 Aula 1, Experiência 1

Energias Renováveis

1. Curva característica de pilha recarregável
2. Curva característica de painel solar e LED
 - Rever ajuste linear por χ^2
3. Montar a rede elétrica de uma casa
 - Caráter prático, ligar mundo real à teoria em sala
4. Carga da bateria com o painel solar e potência
 - Ajuste linear de função não linear: linearização

Parte 1 - Revisão

REVISÃO

Vamos precisar rever uma série de conceitos que vocês já aprenderam no 2º grau e que devem estar vendo com detalhes em Física 3.

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

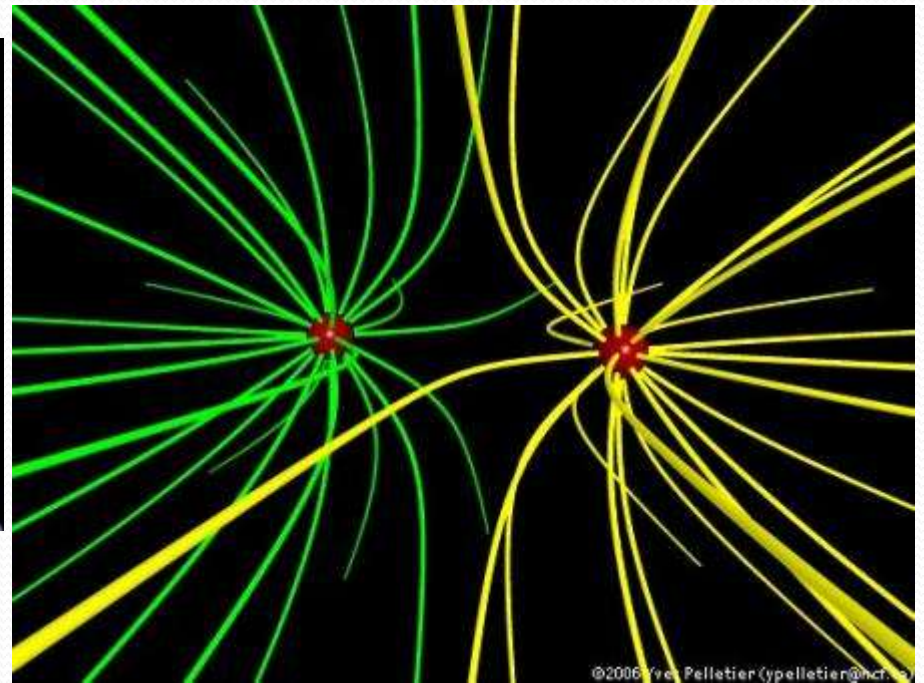
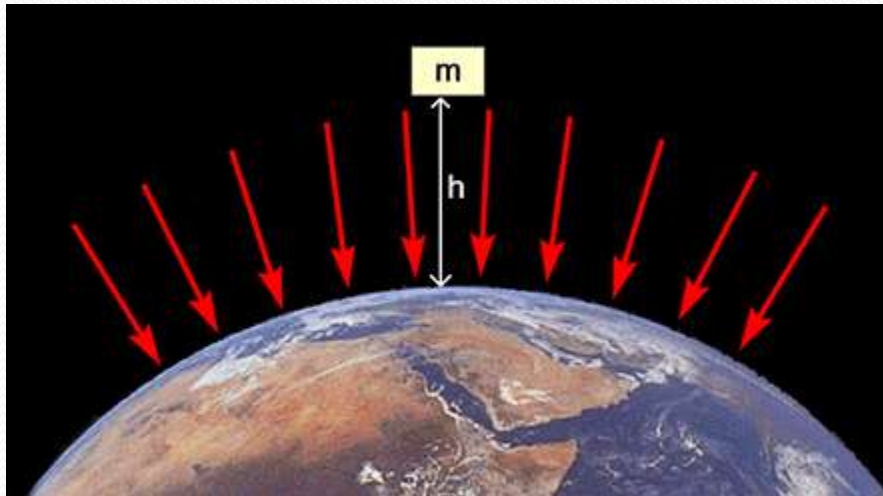
Carga Elétrica

- Carga elétrica
 - dois tipos de carga, positiva e negativa . Objetos carregados interagem exercendo forças uns sobre os outros: dada pela Lei de Coulomb.
- A unidade (SI) é o coulomb (C), pela lei de Coulomb, duas cargas elétricas pontuais de 1 coulomb separadas de um metro exercem uma sobre a outra uma força de 9×10^9 N, isto é, aproximadamente o peso de 9 000 000 toneladas. Então o Coulomb é uma unidade muito grande!!
 - Carga fundamental: e
 - e=carga do elétron = $1,60217653(14) \times 10^{-19}$ C.

A unidade de carga foi definida a partir do ampère:
1 coulomb é a quantidade de carga elétrica carregada pela corrente de 1 ampère durante 1 segundo.

Campo elétrico

- Campo elétrico é o campo de força provocado por cargas elétricas.
 - Como o campo gravitacional que é provocado por massas, o elétrico é um campo de forças provocado por cargas.
 - Portanto o campo é a força elétrica dividida pela carga.



Campo e Força

- A força elétrica entre duas cargas:

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

- A interação entre cargas elétricas pode ser descrita por intermédio de um campo (análogo ao campo gravitacional), que chamamos campo elétrico:

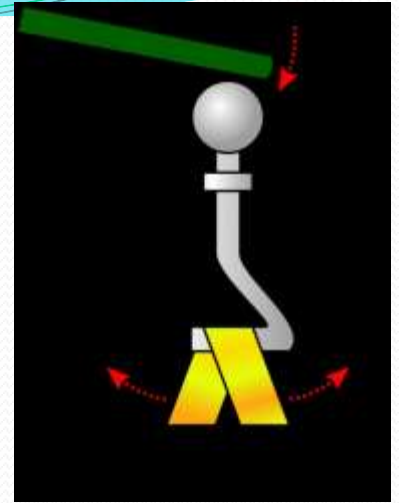
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \text{V/m (Volt por metro)}$$

- Se for um conjunto de cargas:

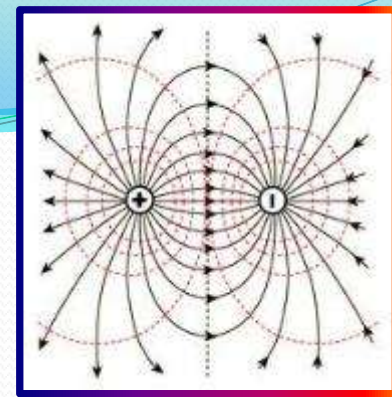
$$\vec{F}(q) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} q \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i \quad \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

Medida de carga

- Os primeiros instrumentos para medir cargas elétricas, os eletrômetros consistiam de 2 folhas muito finas de ouro, suspensas por num eletrodo, que quando carregado por contato ou indução, fazia com que as folhas se separassem e a separação estava relacionada com a quantidade de carga.
- Mais tarde outros instrumentos mais sensíveis apareceram e o mais sensível até hoje é o inventado por Lord Kelvin baseado no princípio de uma balança de torção.



Potencial Elétrico

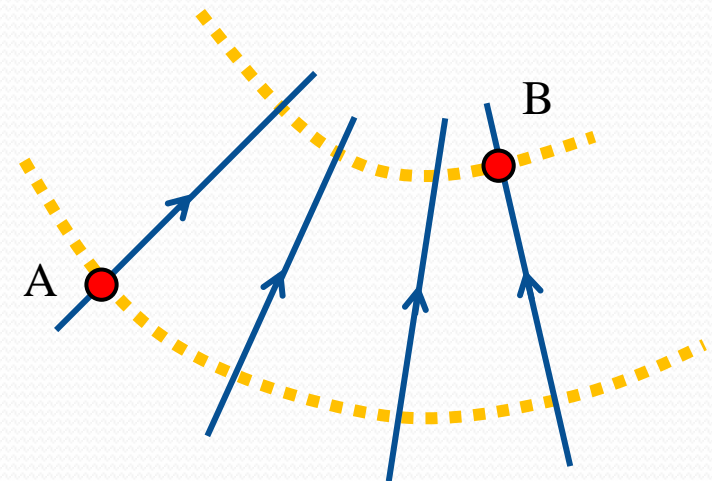


- Potencial elétrico
 - Potencial elétrico é uma propriedade do espaço onde existe um campo elétrico.
 - O potencial depende da carga que cria o campo e da posição relativa a essa carga, não depende da carga de prova.
 - Portanto, em uma região do espaço onde existe um campo elétrico todos os pontos possuem um potencial.
 - O potencial é a capacidade que um corpo carregado tem de realizar trabalho, ou seja, atrair ou repelir outras cargas elétricas.

Diferença de potencial elétrico

- **Tensão ou diferença de potencial**

- para mover uma carga de prova, q positiva, de um ponto com potencial V_a para outro com potencial maior V_b , é necessário realizar um trabalho W sobre ela. Damos um nome para a quantidade de trabalho por unidade de carga, esse nome é **diferença de potencial**.
- Ou seja, a **ddp**, que é $V_b - V_a$, é igual ao trabalho realizado sobre uma unidade de carga.
- Dizemos que o potencial em um ponto **A** (representamos por V_a) é equivalente ao trabalho elétrico (por unidade de carga) realizado para trazer uma carga de prova q do **infinito** até o ponto **A**.
 - Que é igual ao trabalho (por unidade de carga) para levar a carga de prova q desde o ponto **A** até o **infinito**.
- A unidade de medida da diferença de potencial no SI é o volt. Apenas diferenças de potencial elétrico possuem significado físico.



Potencial

- A força elétrica é **conservativa**, isto é, o trabalho realizado por ela, sobre uma carga, depende das posições inicial e final da carga mas não do caminho entre elas. Assim sendo, podemos associar a ela uma **energia potencial**:

$$U = \int_{P_0}^{P_1} \vec{F} \cdot d\vec{l} + U_{P_0}$$

- E definimos o **potencial eletrostático** (análogo ao potencial gravitacional) como a energia potencial de uma carga dividida pela carga:

$$V_{P} = \frac{U}{q} = - \int_{P_0}^P \frac{\vec{F}}{q} \cdot d\vec{l} + \frac{U_{P_0}}{q} = - \int_{P_0}^P \vec{E} \cdot d\vec{l} + V_{P_0}$$

Campo elétrico e potencial

- Usando o que aprendemos de cálculo vetorial, podemos escrever o campo elétrico como o gradiente do potencial:

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

- O gradiente pode ser escrito nas coordenadas mais convenientes à simetria do problema que se quer resolver. Em coordenadas cartesianas:

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

- Unidade do potencial = volt
- Unidade do campo elétrico = volt/m

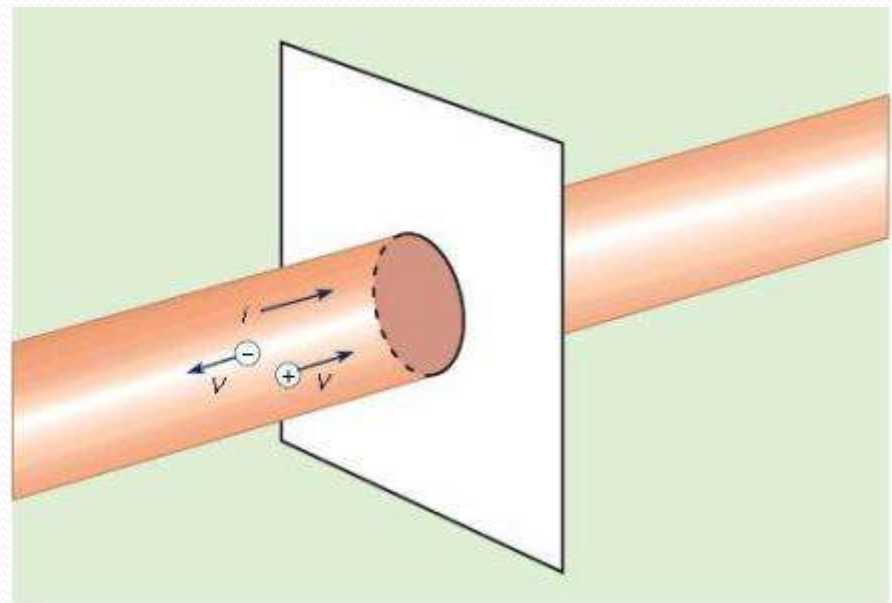
Corrente

- Se uma carga sofre ação de uma força, então ela deve se movimentar!
- Define-se a corrente elétrica como sendo a quantidade de carga que atravessa uma secção transversal de um condutor por unidade de tempo:

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

- Unidade:

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



Ampère



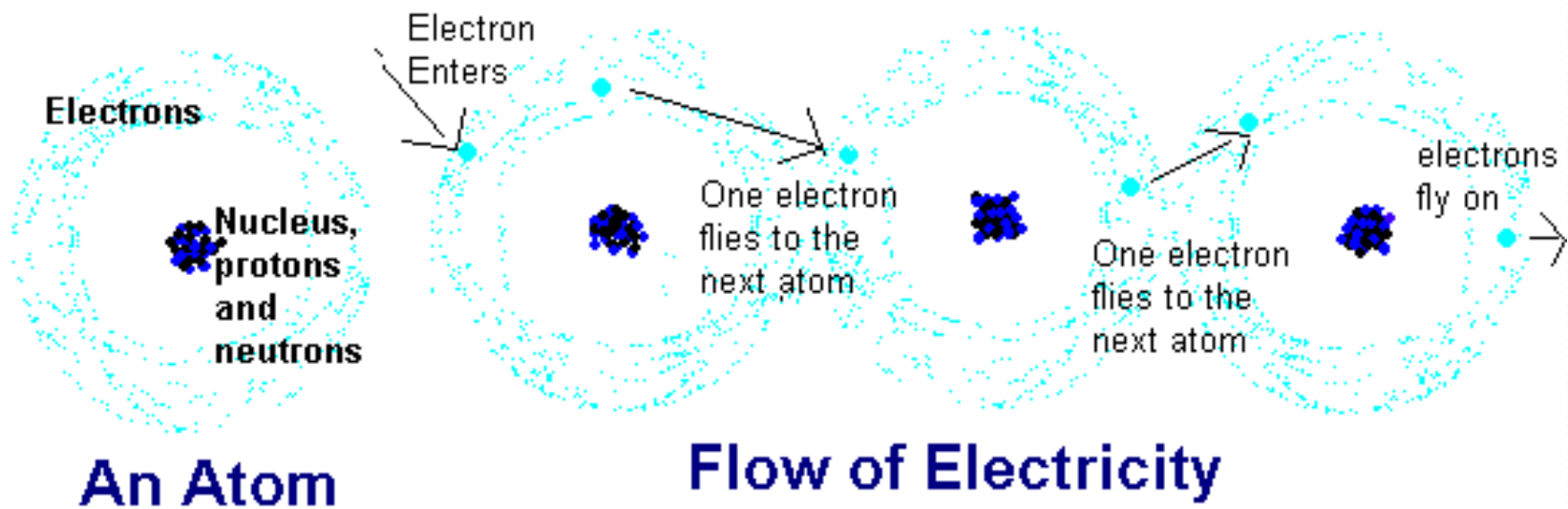
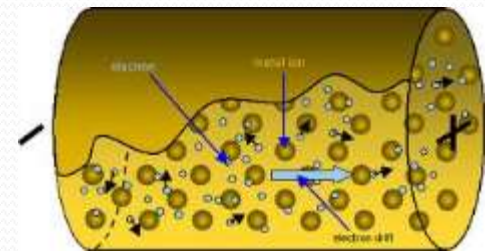
- A unidade padrão no SI para medida de intensidade de corrente é o ampère = coulomb/s.

Em homenagem a **André-Marie Ampère** Físico e matemático francês um dos principais descobridores do eletromagnetismo
(20 Jan 1775 – 10 Jun 1836)



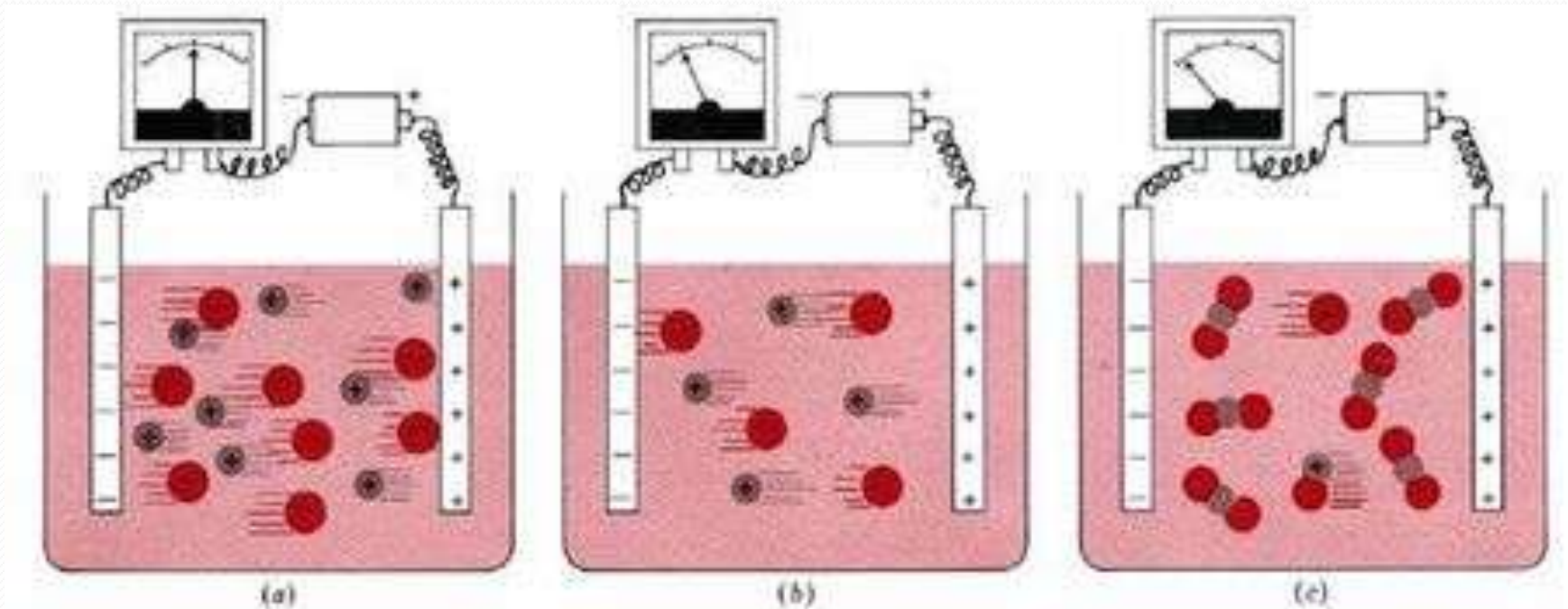
Corrente elétrica em condutores

- Num condutor as cargas livres são tipicamente elétrons, em movimento devido à agitação térmica



Corrente elétrica em condutores

- Nas soluções eletrolíticas são íons: cátions (+) e ânions (-) livres, em movimento desordenado.



As 2 primeiras são soluções de NaCl com concentrações diferentes, a terceira é uma solução de HgCl₂ que conduz mal por formar moléculas

Corrente elétrica em condutores

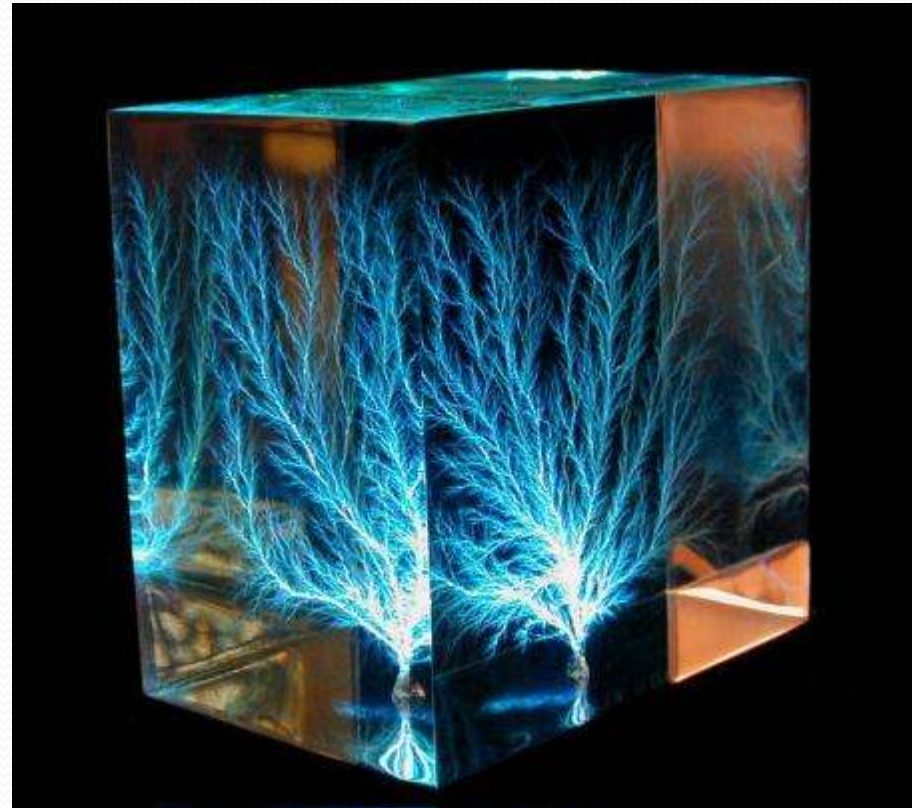
- Nos gases ionizados (plasmas) são íons e elétrons .



Corrente elétrica em condutores

- Materiais não condutores ideais não possuem cargas livres, portanto não conduzem, mas os condutores que existem são reais e, embora normalmente se comportem como isolantes, sob determinadas condições passam a conduzir:

Descarga provocada em isolante (acrílico). Descargas desse tipo se chama figuras de Lichtenberg



Energia e Potência

- Sob a ação de uma força (aceleração), uma carga vai também **mudar sua velocidade** e, conseqüentemente, **mudar sua energia cinética!**
- Sejam dois corpos iguais que aumentam a sua velocidade de uma mesma quantidade, porém em intervalos de tempo diferentes.
 - Em um corpo a transferência de energia se deu mais rapidamente que no outro.
 - Ou seja, a potência aplicada foi diferente nos dois!

Energia e Potência

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

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

- Dois casos distintos
 - Potência negativa → Fornecendo energia.
 - Potência positiva → Absorvendo energia.
- Unidade: Watt: $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$

Choques elétricos

- Não é a tensão que é perigosa: é a potência
- O corpo humano é muito sensível à passagem da corrente elétrica:
 - atividade muscular incluindo os batimentos cardíacos e a respiração são controlados por correntes elétricas internas
- A passagem de uma corrente externa resulta em graves descontroles como, paralisia respiratória, fibrilação ventricular ou parada cardíaca.
- A tabela a seguir mostra resultados obtidos em experiências com animais e acidentes, sendo portanto aproximados.

Choques elétricos

- Há um período vulnerável do ciclo cardíaco em que uma corrente de duração de apenas 100ms pode provocar fibrilação ventricular.

Engano supor que choque rápido não é perigoso

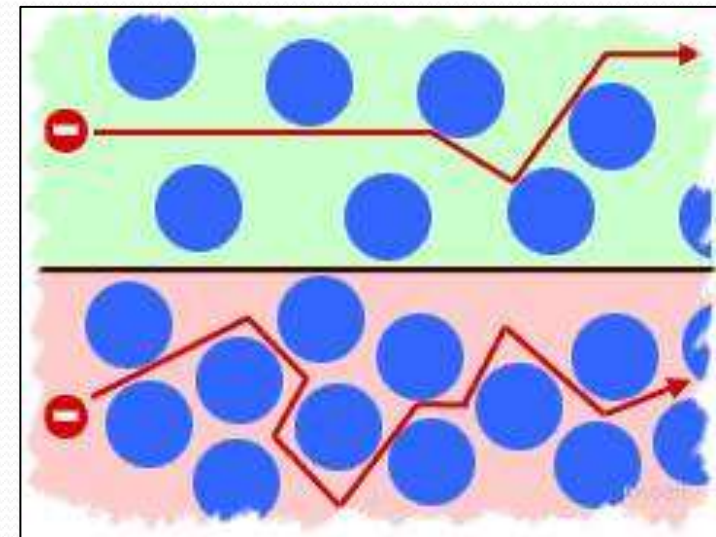
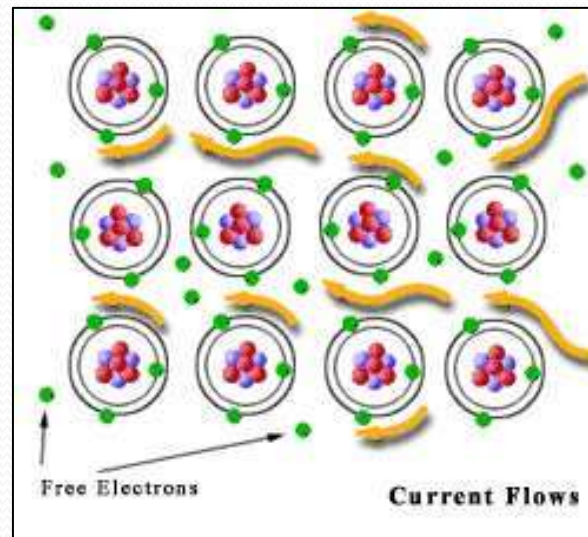
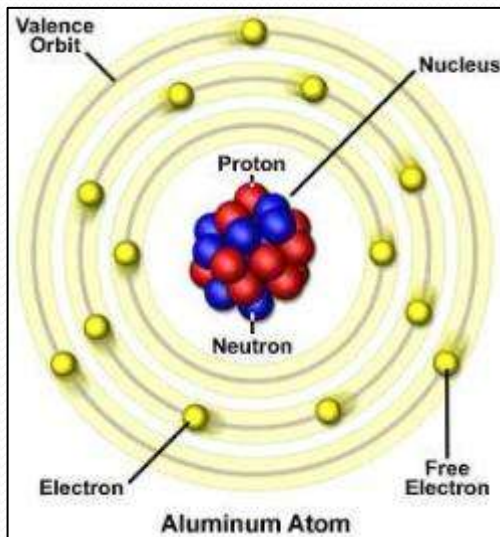
- Outra coisa importante é o percurso da corrente elétrica através do corpo:
 - correntes de 50microA através do coração podem induzir a fibrilação
 - correntes de 500mA entre os dedos polegar e indicador podem provocar apenas uma queimadura
 - veja a tabela a seguir com limites considerados seguros

Choques elétricos

Corrente alternada 60Hz	Duração	Efeito provável no corpo humano
0 a 0,3 mA	qualquer	nenhum
0,3 a 0,6 mA	qualquer	limiar de percepção
1 a 10 mA	qualquer	dor
10 a 25 mA	minutos	dor, contração muscular, dificuldade respiratória, aumento da pressão arterial
25 a 50 mA	segundos	paralisia respiratória, fibrilação ventricular, inconsciência
50 a 200 mA	mais de um ciclo cardíaco	paralisia respiratória, fibrilação ventricular, inconsciência, marcas visíveis
mais de 200mA	menos de um ciclo cardíaco	fibrilação ventricular, inconsciência, marcas visíveis
mais de 200 mA	mais de um ciclo cardíaco	Parada cardíaca, inconsciência, queimaduras

Resistência elétrica

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



<http://www.magnet.fsu.edu/education/tutorials/magnetacademy/superconductivity101/fullarticle.html>

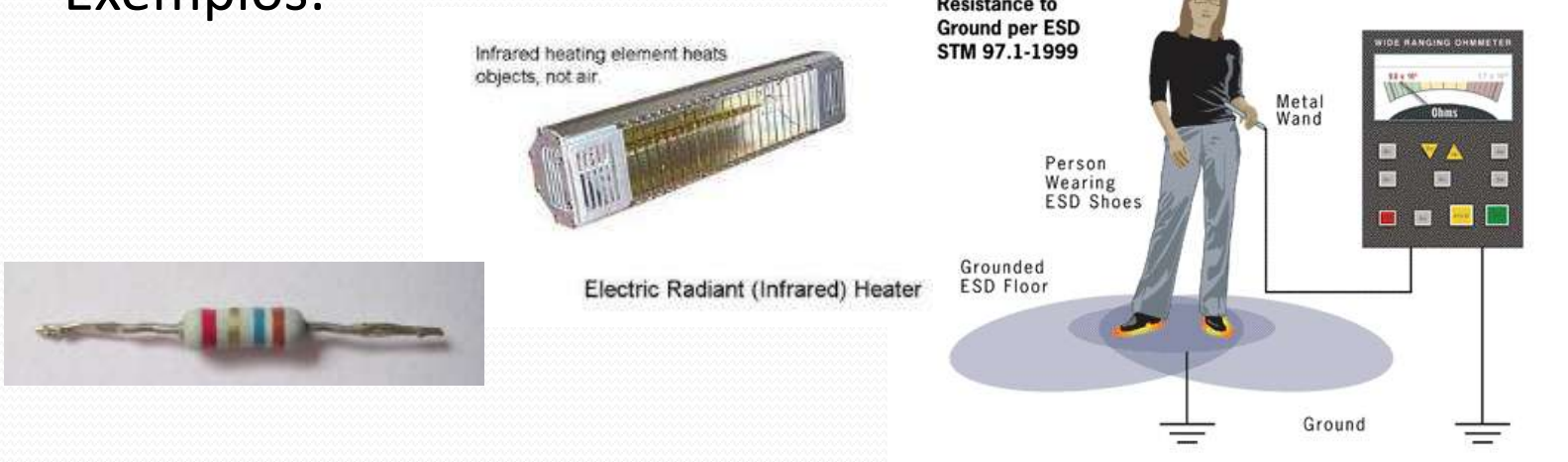
http://www.powerworks.com.au/env_electricity01.asp

http://www.physics4kids.com/files/elec_conduct.html

Resistância elétrica

- **Resistância:** é a propriedade física que define a facilidade que um material oferece à passagem da corrente.

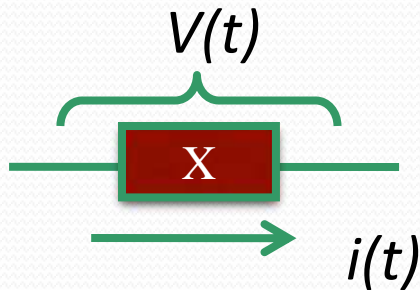
- Exemplos:



- Materiais bons condutores de corrente → resistência baixa
- Materiais maus condutores de corrente → resistência alta

Resistência elétrica

- A resistência elétrica de um elemento resistivo X é a razão entre a voltagem e a corrente que passa por esse elemento:



$$R_x = \frac{V_x}{I_x}$$

- Essa é a definição geral de resistência elétrica, que vale para elementos resistivo:
 - **ôhmico (linear)**, caso em que a resistência é constante seja qual for o valor de V_x e de i_x
 - **não ôhmico (não linear)**, que é o caso em que a resistência varia para valores diferentes de V_x e i_x .

Lei de Ohm

- A lei de Ohm diz que:

$$V_x = Ri_x \quad \text{sendo} \quad R = cte$$

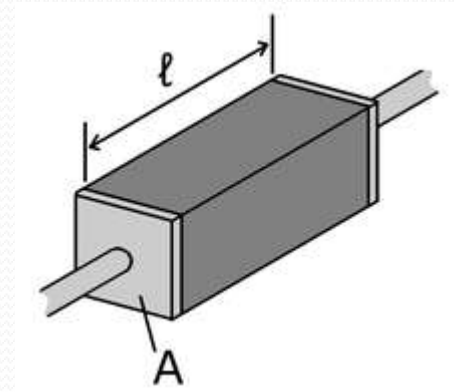
- Esta resistência não deve depender da tensão ou corrente no circuito utilizado, bem como de outras variáveis, como temperatura. Quando isso ocorre o elemento é dito ôhmico ou linear.
- Unidade de resistência
 - Ohm = volt/ampere
 - $\Omega = V / A$



Georg Simon Ohm (Erlangen
1789 — Munique, 1854)

Do que depende a resistância de um resistor ?

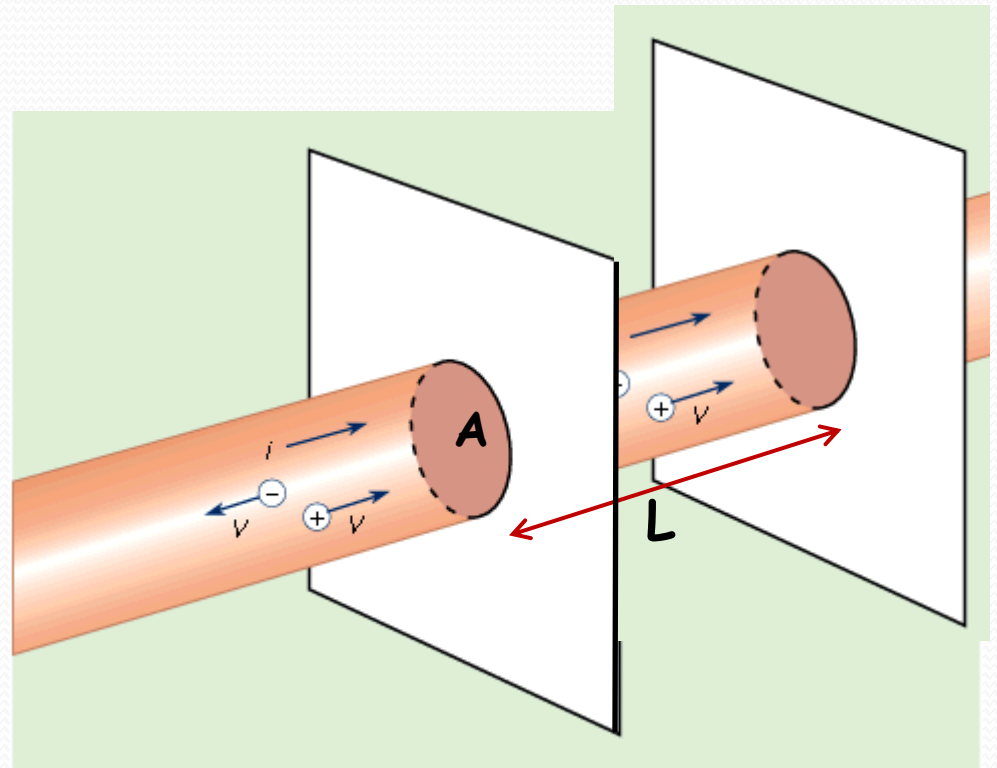
- De vários parâmetros:
 - Do material de que ele é feito
 - Da geometria da seção reta
 - Do comprimento que a corrente tem que atravessar
 - Da temperatura
 - Da luminosidade, etc
- Mas no caso dos resistores lineares, ou ôhmicos, a resistância só depende de :
 - Material de que ele é feito
 - Da área da seção reta
 - Do comprimento



Resistividade elétrica

- Como a resistência depende do material?
 - A cada material está associada uma resistividade, ρ , que é a sua resistência por unidade de comprimento para uma seção reta uniforme:

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



Potência dissipada em um Resistor

- Em um resistor

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

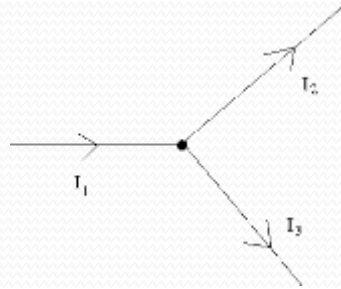
- Deste modo, podemos calcular a potência absorvida como sendo:

$$P = V \cdot i$$

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

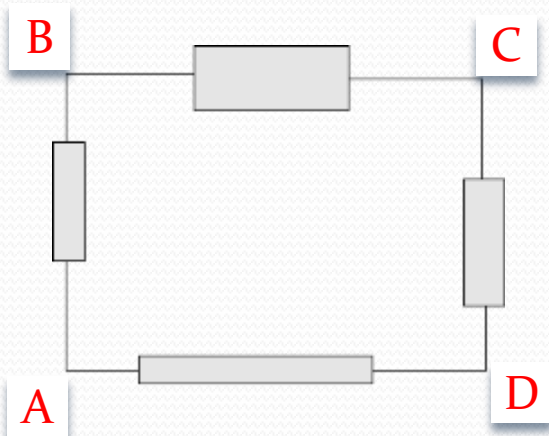
Relembrando as Leis de Kirchoff

- Conservação de energia:
 - A somatória das correntes em um nó de circuito é zero



$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

- A somatória das tensões numa malha é zero

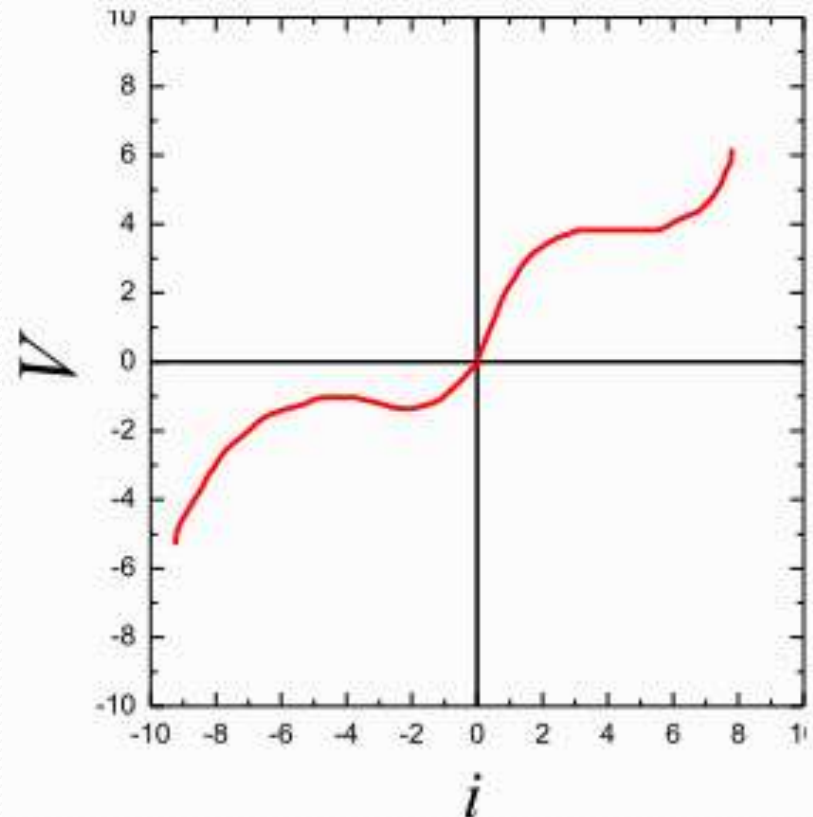


$$V_{A \rightarrow B} + V_{B \rightarrow C} + V_{C \rightarrow D} + V_{D \rightarrow A} = 0$$

Parte 2 – Curvas características

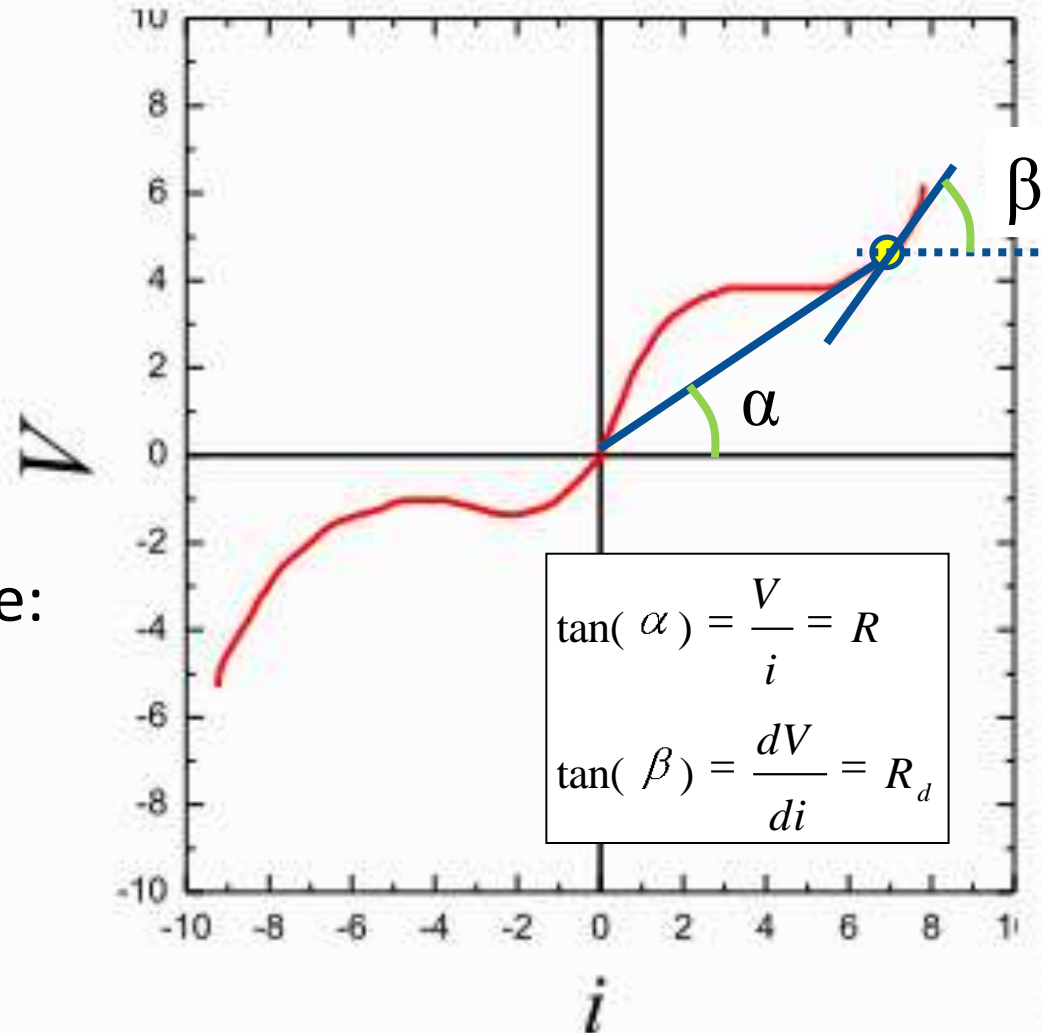
Curva Característica

- Uma **curva característica** é o gráfico da **tensão V** (ordenada) em função da **corrente i** (abscissa). Esse gráfico serve para caracterizar o comportamento do elemento sob determinadas condições de trabalho.
- Pela definição de elemento resistivo temos que $V_x=0$ quando $i_x=0$.
- Ou seja, para um elemento resistivo a curva sempre passa pelo “zero”.



Curva Característica

- Pontos importantes
 - $i=0$ para $V=0$
 - Não há corrente se não há tensão aplicada
- A resistência vale:
 - $R=V/i$
- A resistência dinâmica vale:
 - $R=dV/di$



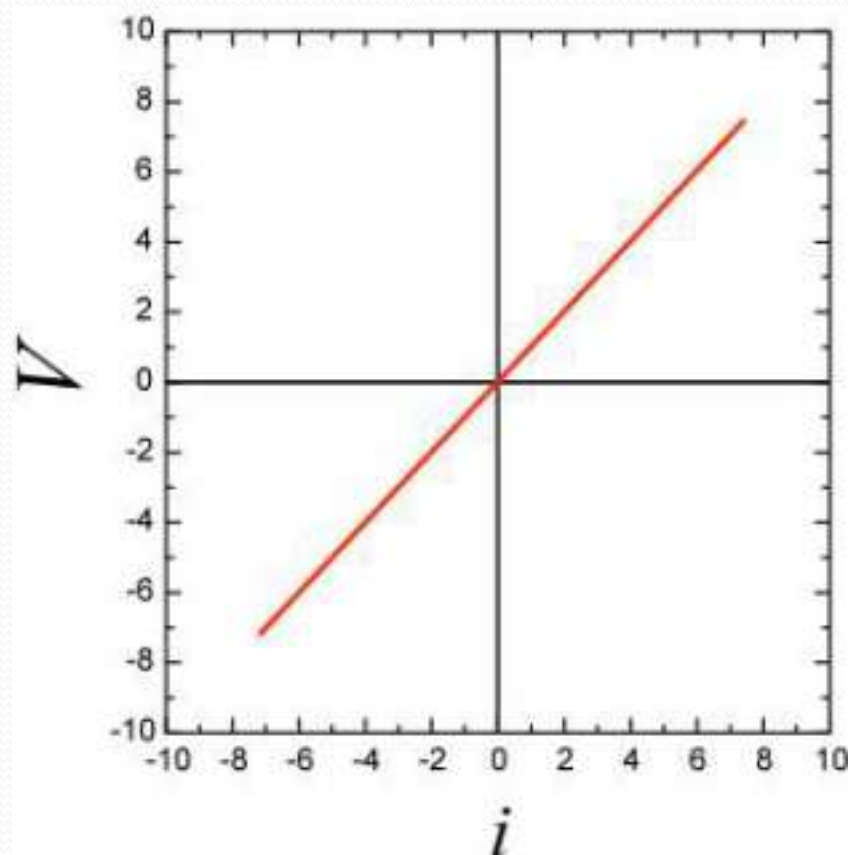
Técnicos e engenheiro preferem $i \times V$

Exemplo: Resistor Ôhmico

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

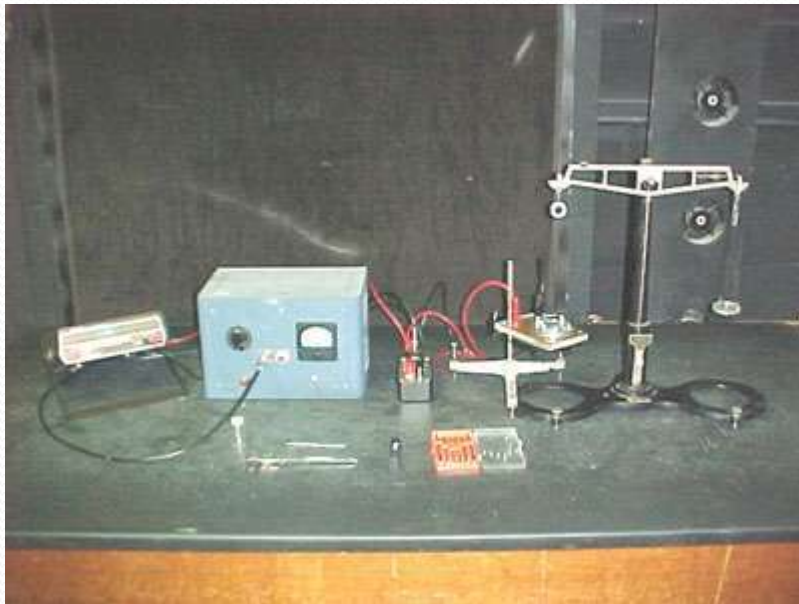
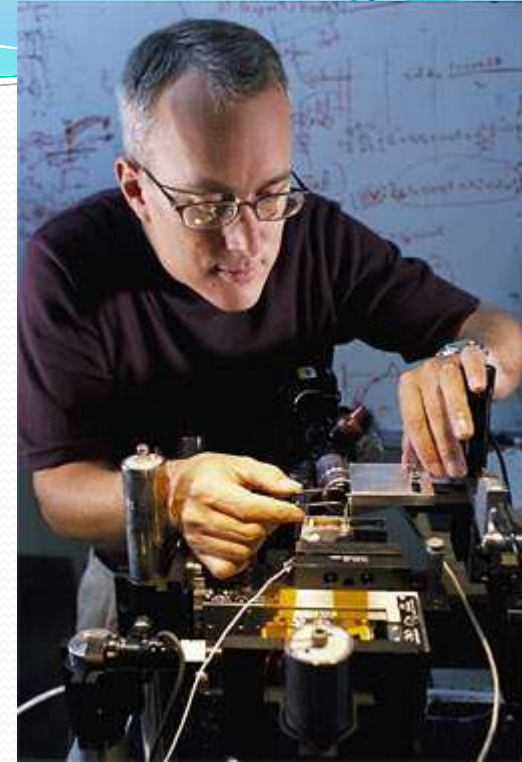
$$V \propto i$$

- Curva característica
 - Reta
 - Resistência dinâmica = resistência



Como medir eletricidade?

- Exemplos:
- Balanças mecânicas que medem a força
 - entre dois fios (de corrente)
 - ou entre dois objetos (eletrostática)



<http://physics.unl.edu/history/histinstr/electric.html>

<http://www.mel.nist.gov/galleryph/calres/pages/pratt.htm>

<http://www.dartmouth.edu/~physics/labs/descriptions/electrostatic.balance.html>

Como medir eletricidade?

Instrumentos mais práticos:

- Amperímetros/voltímetros/osciloscópios/etc.
 - Instrumentos utilizados para medir correntes, tensões elétricas, etc.



Sir William Thomson's Patent Electrostatic Voltmeter #10004 J. White, Glasgow

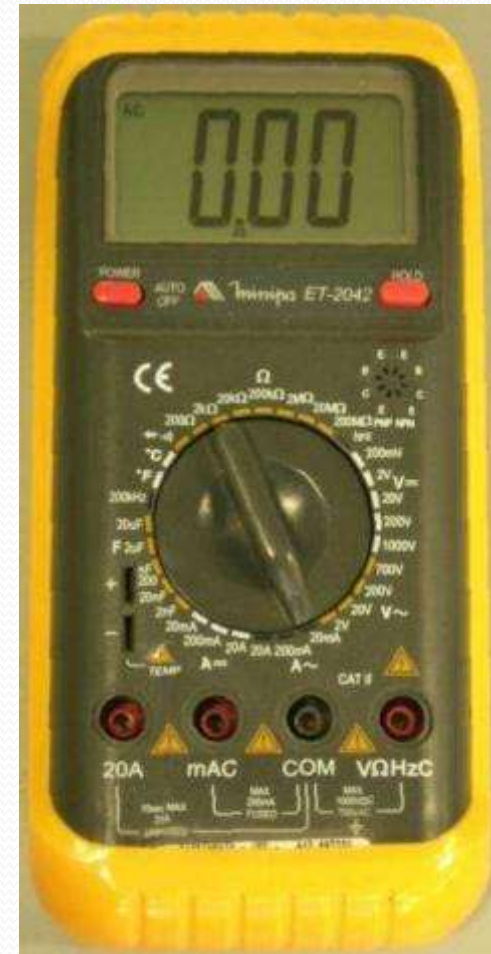
This instrument, devised by William Thomson (Lord Kelvin) in 1887, met a need in the growing electrical industry. It utilizes the force between two electrified bodies, in this case insulated parallel plates, one set fixed and the other moveable. Using the different weights supplied with the instrument one can measure potential differences of 50 to 10,000 volts. Electrostatic meters have the advantages that they use no current and can equally well be used with alternating and direct potential differences.

Como medir eletricidade?

- Instrumentos mais práticos e mais modernos, como os multímetros.

MULTÍMETRO

Voltímetro
Amperímetro
Ohmímetro
Capacitômetro
Indutômetro
Frequencímetro

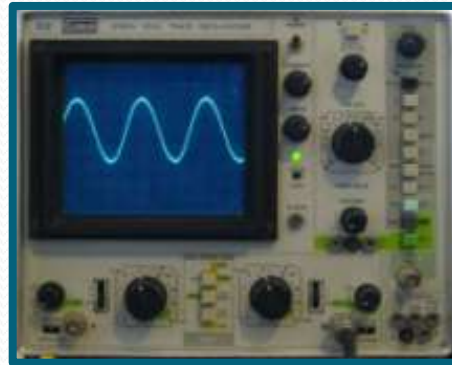


Instrumentos básicos de um laboratório de eletricidade

- Multímetros

- Osciloscópio

Voltímetro instantâneo $V(t)$
Cronômetro / Freq.

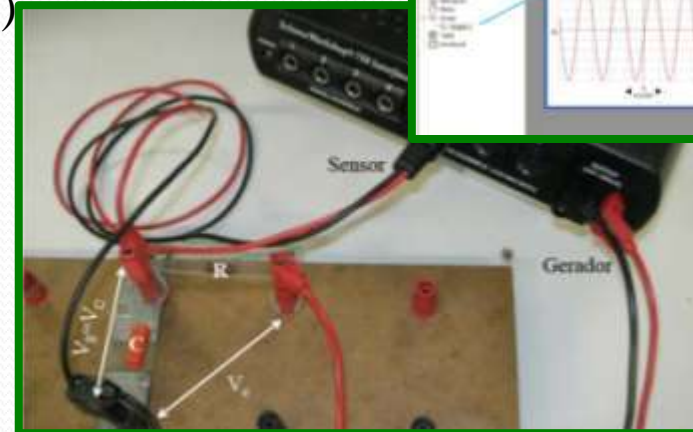
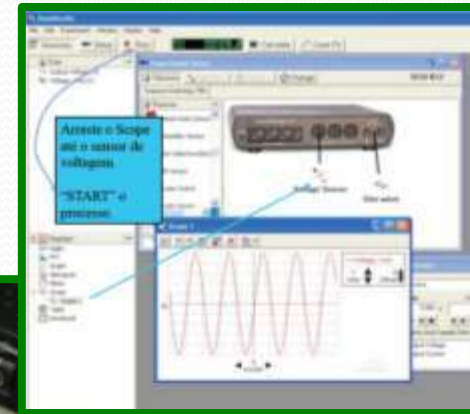


- Fontes de tensão e corrente

Pilhas/baterias
Fonte C.C. (DC)
Fonte C.A. (AC)

- Interfaces para aquisição de dados

Fontes programáveis
Voltímetro
Cronômetro
Frequencímetro



Como usar o multímetro

- Entrada (ou 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) ele mede contínua e alternada!



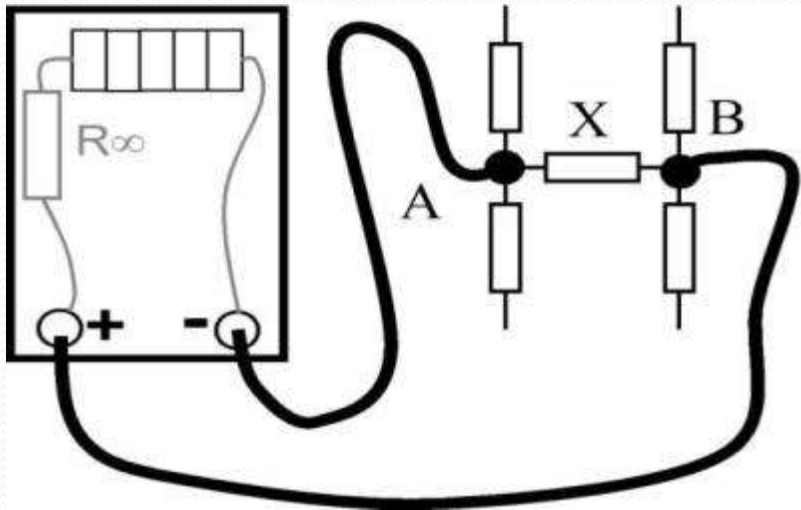
Dicas

- Fiquem atentos à escala utilizada
- Olhem os Algarismos disponíveis na tela, os Algarismos podem mudar com o valor medido.
- Fiquem atentos à precisão (incerteza) do instrumento
 - Olhem o manual - depende do modelo e da escala utilizada!
- Atenção aos Algarismos significativos!

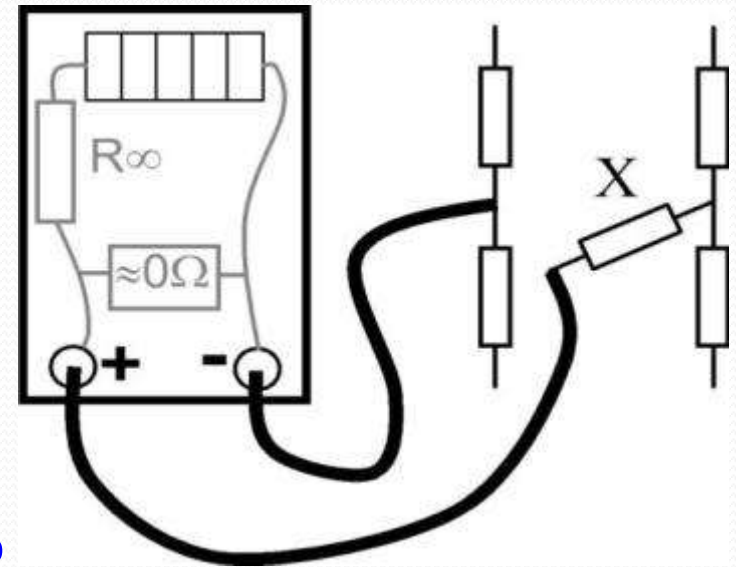


Como usar os medidores

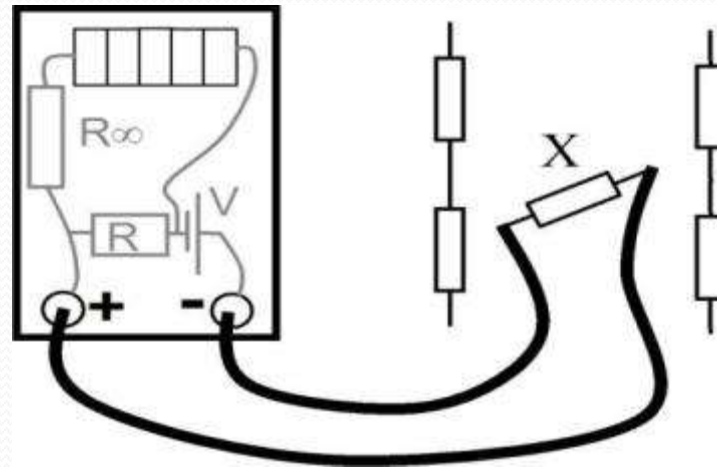
Voltímetro



Amperímetro



Ohmímetro



Interface de Aquisição de dados



Entradas digitais:
medir pulsos digitais

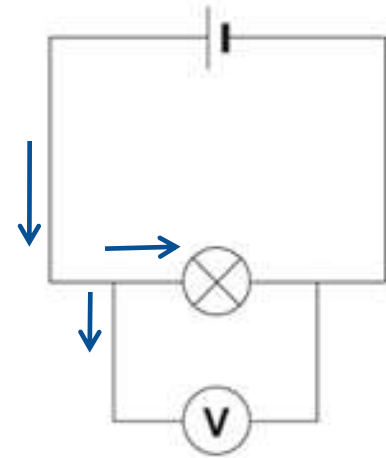
Entradas analógicas:
Um osciloscópio com
memória

Saída analógica
programada:
Fonte DC
Fonte AC
rampa

- Podemos utilizar esta interface como voltímetro, osciloscópio ou fonte e adquirir os dados diretamente no computador
- Ver programa DataStudio nos micros do Lab

Como usar um voltímetro

- Para medir a tensão o aparelho deve experimentar a mesma tensão que o elemento → **ele deve estar em paralelo** com o elemento de interesse.
 - Para isso parte da corrente que flui pelo circuito deve atravessar o medidor.

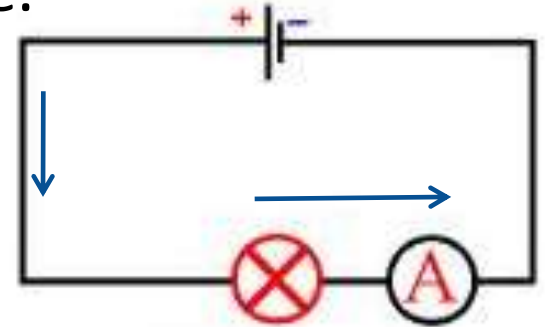


- Um medidor ideal é aquele que absolutamente não altera o circuito que está medindo ($R_V = \infty$).
- Então como ele tem que desviar corrente para efetuar a medida, para não alterar o circuito a corrente que ele desvia deve ser zero. Portanto a resistência interna do instrumento deve ser infinita.

Como usar um amperímetro

- Para medir a corrente o aparelho **deve estar em série** com a malha de interesse.

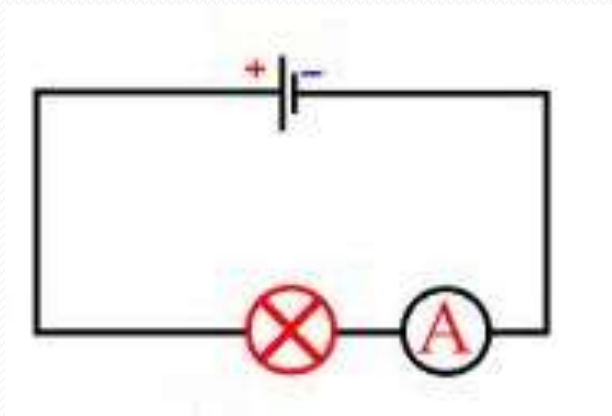
- Assim **toda** a corrente que flui pelo circuito atravessa o medidor.



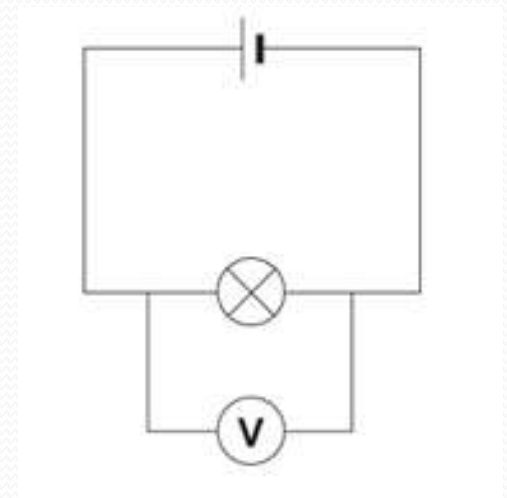
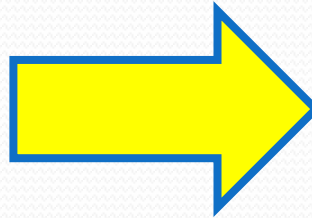
- Um medidor ideal é aquele que absolutamente não altera o circuito que está medindo ($R_A=0$).
- Mas todo material possui alguma resistência, certo?

Amperímetro Seguro

- Para evitar de queimar o amperímetro, podemos medir a corrente usando um resistor de proteção conhecido:



$$I_A = I_{\text{circuito}}$$

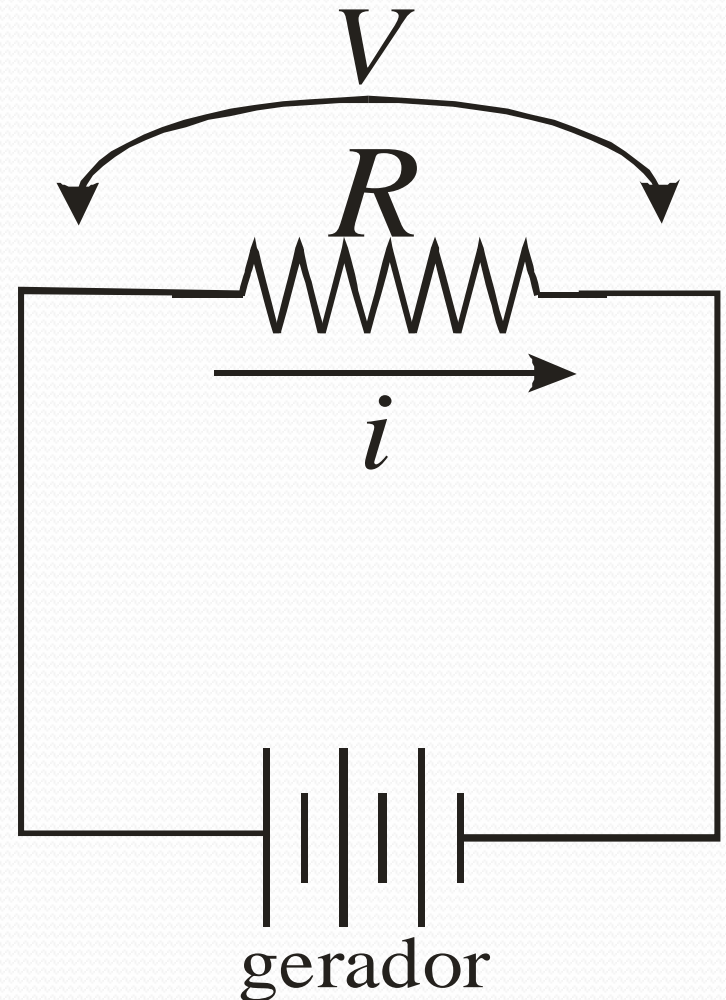


$$I_V \approx 0$$

$$I_{\text{circuito}} = \frac{V_X}{R_X}$$

Levantando a curva característica

- Como se mede uma curva característica?
 - Medimos a tensão sobre o elemento utilizando um voltímetro
 - Medimos a corrente que atravessa o elemento utilizando um amperímetro
 - **Variamos a tensão no gerador** e **repetimos a medida**
- Fazemos o gráfico $V \times i$
- Quantos pontos são necessários para caracterizar bem a curva?



Dica 1

- Quantos pontos em cada curva característica??
- **Resposta:** Tantos quantos forem necessários para uma boa definição da resistência (coeficiente angular). O que você acha que é uma boa definição da resistência?
- **Atenção:** Tudo que aprenderam sobre análise de erros nos laboratórios 1 e 2 é absolutamente necessário neste laboratório, e se espera que vocês apliquem tudo o que aprenderam em todas as experiências. Sínteses sem análise de erros não têm valor prático e são bastante penalizadas.

Dica 2

- **Teste do dedo:**
- Como os resistores que têm à disposição não são ideais, se a potência dissipada por eles for muito elevada, primeiro eles **aquecem**, depois **cheiram a queimado** e em seguida se **queimam**.
- Já quando aquecem, dependendo da temperatura, deixam de ser ôhmicos, e **você não quer que isso aconteça, certo?**
- Então ponha o dedo sobre eles e se estiverem quentes, desligue a fonte e repense a sua experiência.
- **Se cheirar queimado, desligue a fonte antes de qualquer outra ação!!!! Não fique tentando ver o que está errado com a fonte ligada!!!!**

Parte 3 – Pilhas

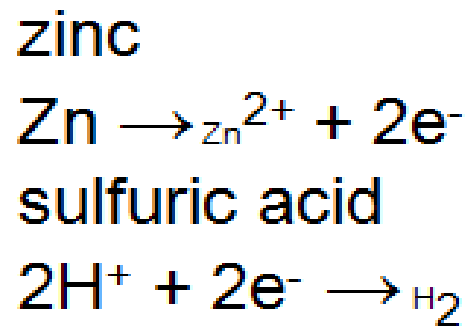
Geradores

- Um gerador é qualquer dispositivo que possa gerar e manter uma tensão elétrica a partir da conversão de outras formas de energia.
- Um **gerador ideal** é aquele que fornece sempre a mesma diferença de potencial independente da carga: ele mantém a diferença de potencial para qualquer valor de corrente.

Esse gerador não existe, é um modelo que é útil quando se vai modelar um gerador real

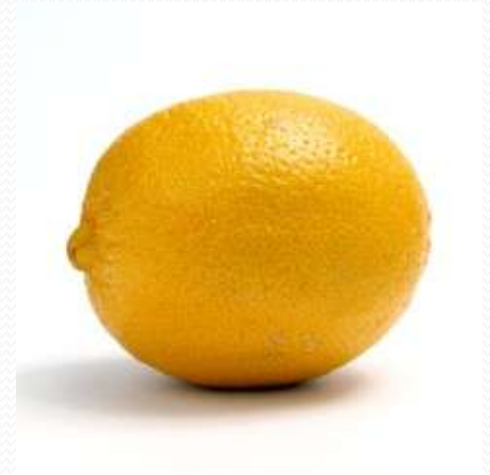
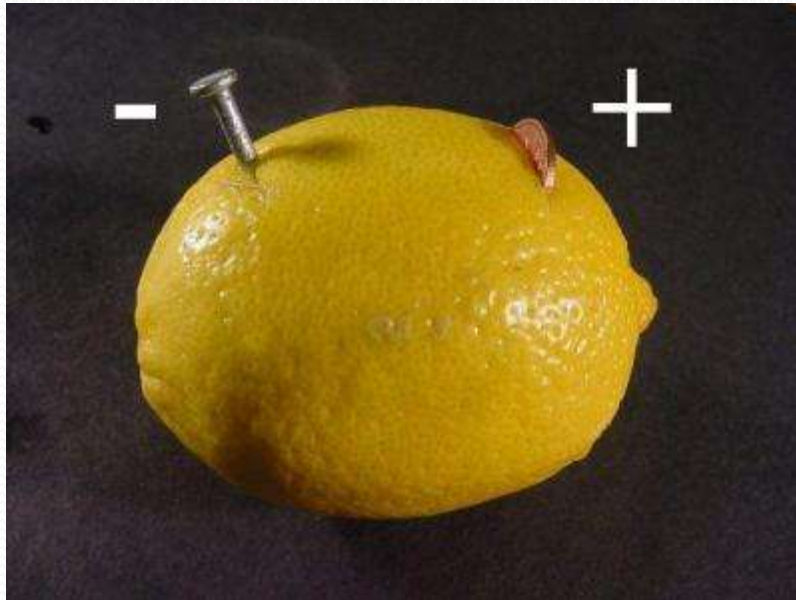
Geradores

- A pilha é um gerador que converte energia química em energia elétrica. Uso de reações químicas para gerar eletricidade data desde o Egito antigo.
- Alessandro Volta inventou a pilha: (1798)
 - Duas tiras de metais diferentes em solução levemente ácida
→ tensão elétrica



Construindo um gerador

- Geradores podem ser dispositivos muito simples:
 - Pegue um prego galvanizado (recoberto de zinco)
 - Moedas de cobre
 - + 1 limão (de preferência um siciliano)
- E você tem um gerador!



Construindo um gerador

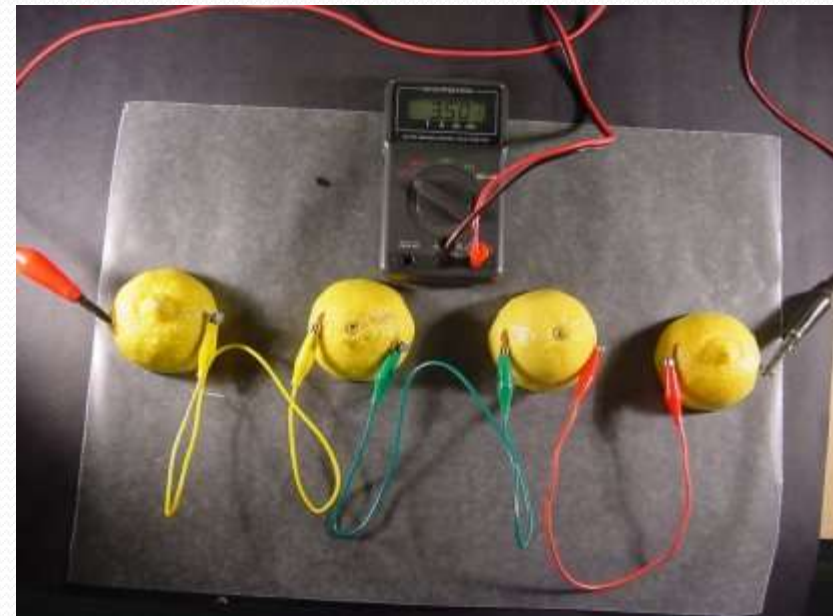
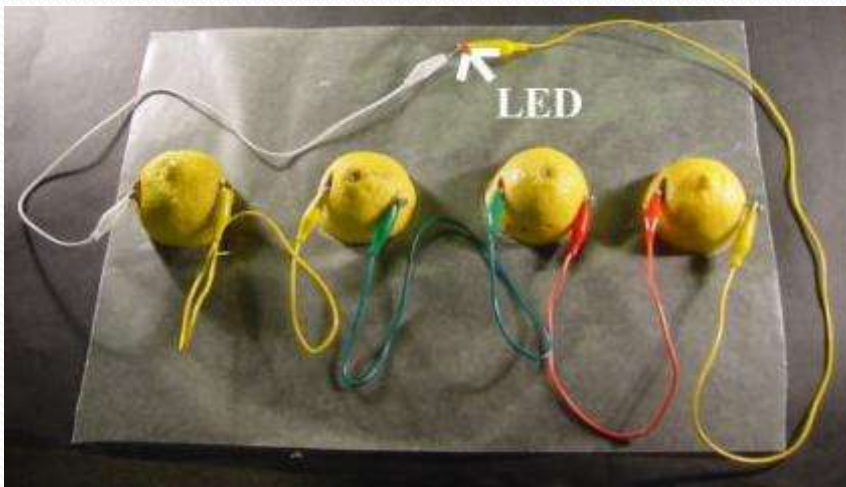
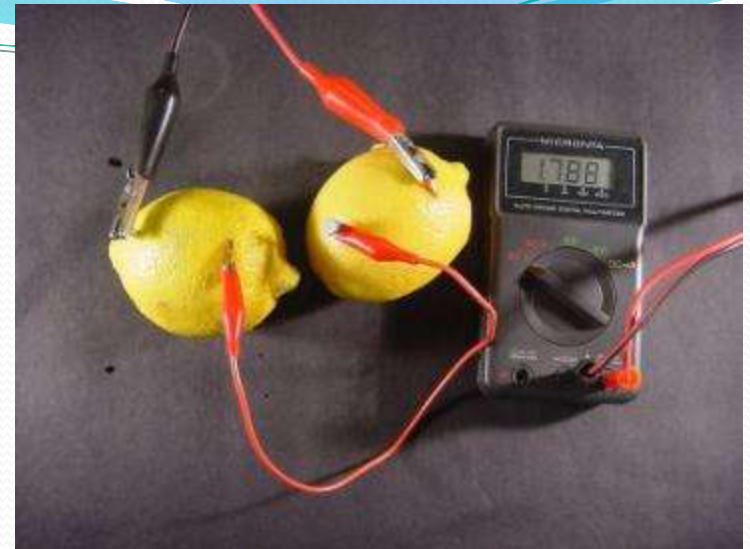
- O prego e a moeda são os eletrodos do seu gerador e o suco do limão é o eletrólito:
 - Os elétrons vão fluir do terminal negativo para o terminal positivo através do eletrólito

limão siciliano
de 0,9V



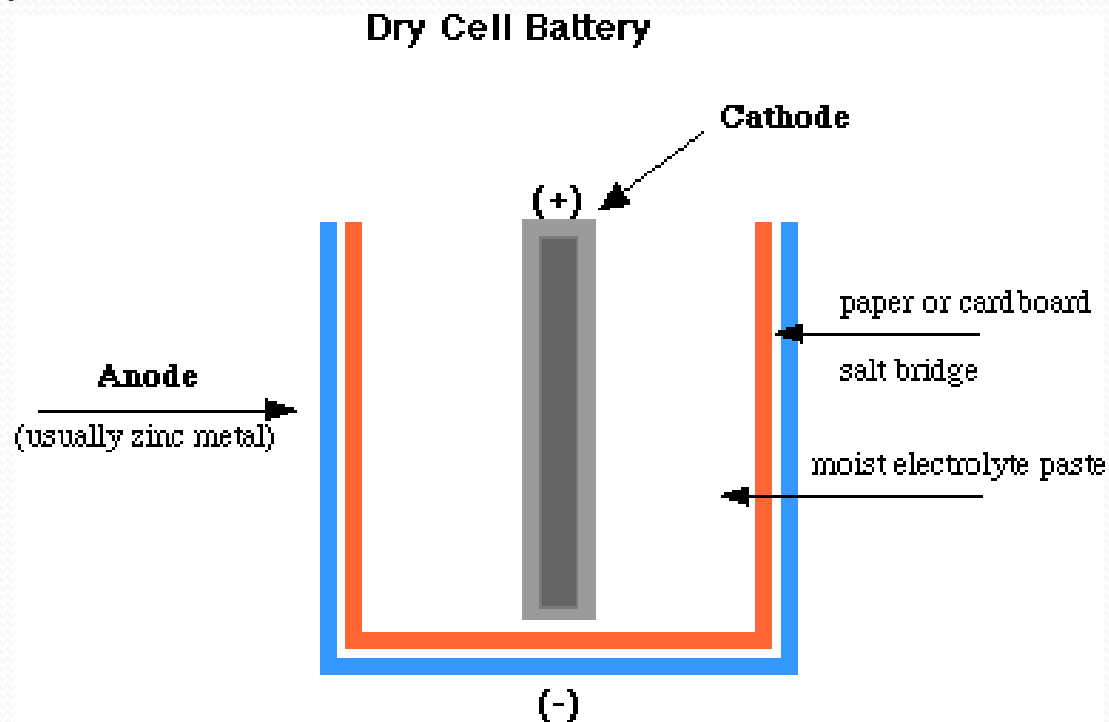
Gerador de limão:

- Você pode colocar geradores em série para aumentar a força eletromotriz disponível:



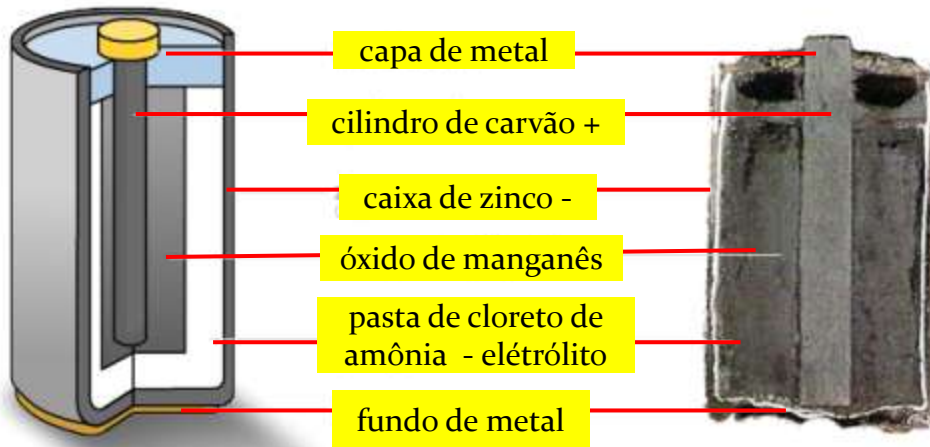
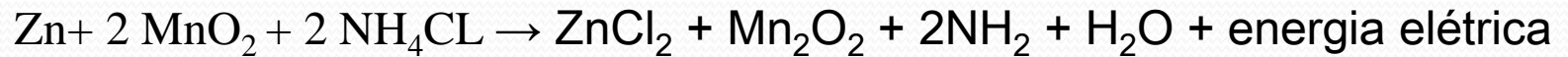
Pilha Comercial

- Pilha seca -> Georges Lelanché em 1866
- Ela produz eletricidade quando um lado do anodo e um lado do catodo são imersos num eletrólito sob forma de pasta (cloreto de amônia, óxido de manganês ou cloreto de zinco)



A pilha ácida

- A pilha moderna usa, em geral, zinco e cobre (ou carvão) como eletrodos. O zinco é o elemento principal para gerar a tensão entre os terminais
 - A tensão é sempre **1,5 V**, independente do tamanho da pilha → características químicas dos eletrodos



Vida média curta:
-zinco se torna poroso
-vasa material corrosivo

A pilha alcalina

- **Pilha alcalina:** o cloreto de amônia é substituído por hidróxido de potássio (**KOH**) ou hidróxido de sódio (**NaOH**):



- A pilha alcalina dura muito mais que a ácida, porque o **Zn** é corroído muito mais lentamente num meio alcalino que num meio ácido, não vasa material corrosivo, melhor performance em baixas ou altas temperaturas, mantém a potência por mais tempo, etc.

Pilha recarregável

- Na pilha comum a reação química responsável pela geração da diferença de potencial ocorre apenas num sentido:

Quando os elementos químicos responsáveis pela reação acabam e a pilha morre. Essa pilha também é chamada de célula eletroquímica primária

- A pilha recarregável é um acumulador de energia, porque a reação eletroquímica que nela ocorre é reversível. Ela é uma célula eletroquímica secundária.

Na pilha recarregável nova a reação ocorre espontaneamente num sentido gerando uma diferença de potencial, até a pilha descarregar. Quando a mesma diferença de potencial é aplicada na bateria (por uma fonte externa), em sentido oposto, a reação ocorre em sentido contrário. Por isso se diz que é recarregável.

Pilha recarregável: modelo

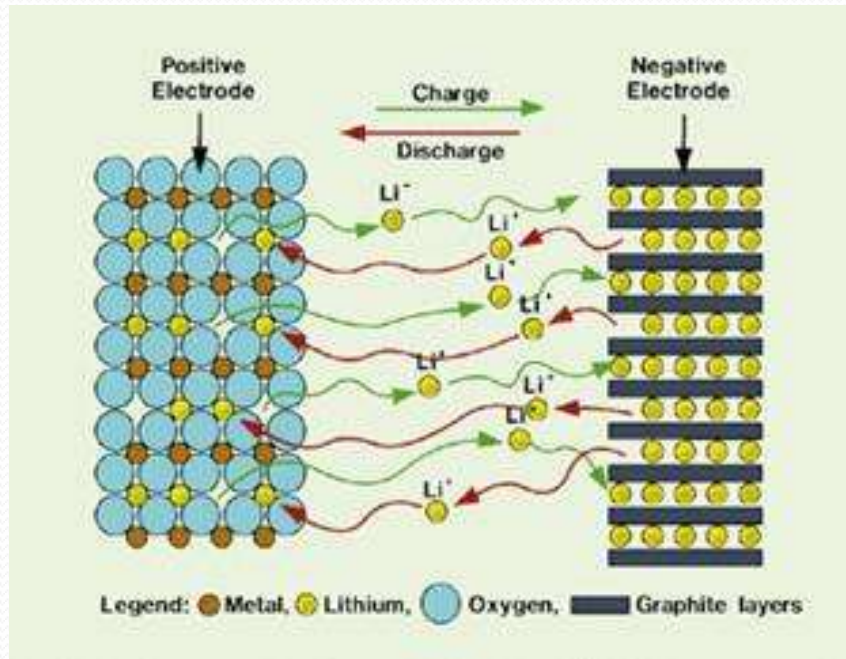
- Quando a bateria é descarregada uma reação eletroquímica de oxidação ocorre no eletrodo negativo e uma reação de redução ocorre no eletrodo positivo.
- Quando ela é carregada (quando se inverte o sentido da corrente que passa por ela), o inverso ocorre: reação de redução no eletrodo negativo e de oxidação no eletrodo positivo.

Reação de oxidação e redução são aquelas que envolvem a movimentação de elétrons:

- O lado onde ocorre a oxidação, elétrons são cedidos
- O lado onde ocorre a redução, elétrons são ganhos

Pilha recarregável: modelo

- A bateria recarregável necessita de uma fonte externa para prover a tensão necessária de carga:
 - O carregador deve fornecer uma tensão DC, ligeiramente maior que a tensão da bateria carregada: quanto mais alta mais rapidamente ela carrega, mas maior é o risco de danificar a bateria.



Pilha recarregável: alguns tipos

Tipo	Anodo (-)	eletólito	Catodo (+)	Tensão	Razão de auto descarga	Nº Ciclos	Vida útil anos
PB ácido	Pb	H ₂ SO ₄	PbO ₂ óxido de chumbo	2,11 V	3 a 4% por mês	500 a 800	5 a 8
Ni -Cad	Ni(OH) ₂ hidróxido de níquel	KOH hidróxido de potássio	Cd(OH) ₂ hidróxido de cádmio	1,35 V	20 % por mês	1500	-
Ni - Fe	Ni(OH) ₂ hidróxido de níquel	KOH hidróxido de potássio	Ferro	1,2 V	20 a 40% por mês	-	50+
Ni - Zn	Ni(OH) ₂ hidróxido de níquel	KOH hidróxido de potássio	Zinco	1,65 V	-	100 a 500	-
Ni –metal-hidreto	Ni(OH) ₂ hidróxido de níquel	KOH hidróxido de potássio	Compostos intermetálicos	1,2 V	30 % por mês	500 a 1000	-
Li íon	Carbon	Sais de Li em solvente orgânico	LiCoO ₂ óxido de lítio-cobalto	3,6V	5 a 10% por mês	1200 a 10000	2 a 6

De carro

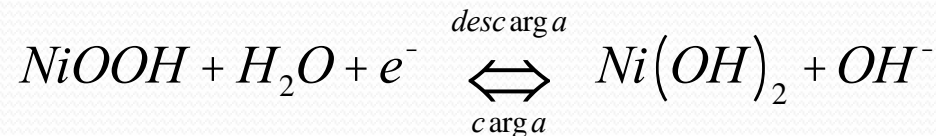
a que vai utilizar

Pilha recarregável de Ni e hidreto intermetálico

- Metais podem sofrer um processo de hidretação através de eletrólise em solução aquosa, entre outros processos. Até 1950 apenas hidretos elementares eram conhecidos, como por ex., NaBH_4 ou LiBH_4 . Depois disso se descobriu que hidretos intermetálicos com 2 ou mais metais diferentes, (por ex. A e B) apresentam comportamentos altamente desejáveis como:
 - hidretos intermetálicos A_aB_b (com os metais corretos na proporção correta) reagem com o hidrogênio, H_2 , de maneira reversível formando $(\text{A}_a\text{B}_b\text{H}_x)$
 - Além disso apresentam alta absorvidade para o hidrogênio
 - E exibem boa estabilidade

Pilha recarregável: Ni-hidreto intermetálico

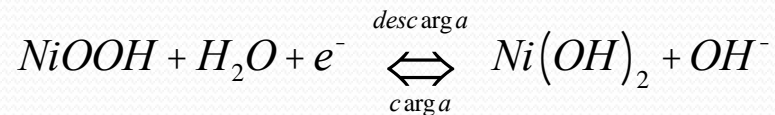
- As baterias recarregáveis que vão utilizar são de níquel e hidreto intermetálico: NiOOH-MH onde MH é um eletrodo de composto intermetálico.
- Essas baterias apresentam uma série de vantagens em relação às da tabela anterior e a várias outras, que são:
 - Vida longa
 - Baixa toxicidade para o meio ambiente
- No eletrodo positivo, durante a descarga, íons hidroxila são produzidos ocorre é:



Tensão
DC

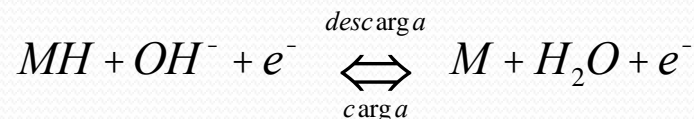
Pilha recarregável: as reações

- No eletrodo positivo, durante a descarga, íons hidroxila e hidróxido de níquel são produzidos:



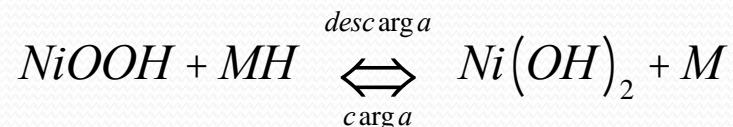
Eletrodo +

- E no eletrodo negativo, durante a descarga, forma-se água ao mesmo tempo que hidrogênio é liberado do composto metálico:



Eletrodo -

- De modo que a reação da célula não há produção ou consumo líquido de água:



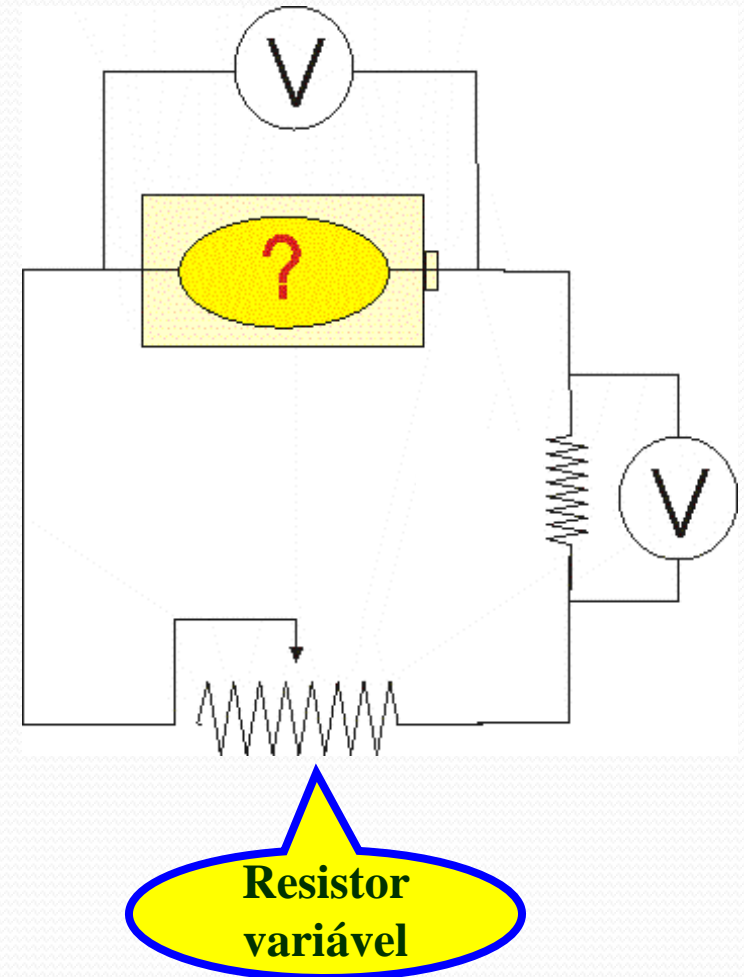
Pilha: modelo

- Vamos “bolar” um modelo que simule o comportamento elétrico de uma pilha descarregando.
- Tendo o modelo, podemos calcular com ele parâmetros mensuráveis.
- Em seguida, é preciso testá-lo. Como?
 - Tomar dados e analisá-los.
 - Compará-los com as previsões do modelo.

Por exemplo: entre outras coisas, o modelo deve explicar porque você não leva choque se pegar nos 2 polos (2 extremidades) da pilha

Curvas características de pilhas

- A pilha é um gerador cuja força eletromotriz é fixa.
- Como fazer uma medida de tensão em função da corrente?
 - Resistor variável
 - O amperímetro pode ser danificado se a escala for ultrapassada, para evitar:
 - Substituir por um resistor auxiliar R_a + Voltímetro



Medidas: pilha

- O resistor variável:
 - pode usar reostatos com valores máximos de 89Ω ou 300Ω
 - Pode usar resistores em série e/ou paralelo – há resistores de muitos valores diferentes
- Planeje sua experiência:
 - Qual a ordem de grandeza das tensões que vai medir?
 - Qual a ordem de grandeza das correntes que vai medir?
 - Quais os intervalos?

Atividades da semana

- Medir a curva característica da pilha desde correntes baixas até correntes da ordem de **200mA**.
 - Cuidado ao usar uma resistência baixa na década. Se a corrente for muito alta, a pilha vai descarregar rapidamente!
- Como varia a tensão da pilha em função da corrente que ela fornece? Usando um ajuste aos dados obtidos acima, encontre através de extrapolação:
 - a força eletromotriz \mathcal{E}_0 ,
 - a resistência interna **Rg** e
 - a corrente máxima i_{\max} .
- Qual o significado físico de i_{\max} ?

Para a folha de dados

- Indique a equação que você usou como modelo teórico para a tensão na pilha em função da corrente e de alguns destes parâmetros:
 - a força eletromotriz \mathcal{E}_0 ,
 - a resistência interna R_g e
 - a corrente máxima i_{\max} .
- Faça o gráfico, com barras de erro e com a função ajustada por mínimos quadrados. Coloque o resultado do ajuste!
- Lembre-se, é uma folha de dados, não precisa de: introdução, objetivos, discussão, etc, etc...

Para o relatório

- Discuta os resultados apresentados na folha de dados
- Calcule a potência fornecida pela pilha ao circuito e faça o gráfico de $P \times i$. Que equação descreve esta curva experimental?
- Utilizando um ajuste adequado, encontre:
 - \mathcal{E}_0 e R_g e compare com os valores anteriores. Comente as diferenças se houver.
- Extrapolando a curva ajustada, se necessário, encontre:
 - Qual a máxima potência fornecida, P_{\max} ?
 - Qual a corrente para a qual isto acontece, $i(P_{\max})$? Porque isso não corresponde à situação de maior corrente?
 - Qual a corrente máxima possível, i_{\max} ? Comente as diferenças em relação ao resultado anterior, se houver.
- Discuta as incertezas ao se fazer a extrapolação

Pergunta para semana que vem

- Leia a apostila de curvas características:
 - Pilha: pag 28-33
 - Diodo: pag. 19-27
- ... e no começo da próxima aula, entregue em papel a resposta para a pergunta:
 - Você mediu a curva característica de 1 pilha e determinou: \mathcal{E}_0 , R_g e i_{\max} . O que aconteceria se você tivesse usado duas pilhas idênticas em série? E se fosse em paralelo?