

# Física Experimental III

Primeiro semestre de 2019

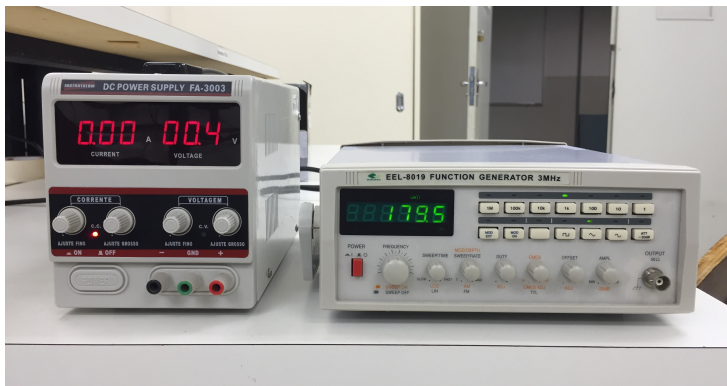
## Aula 2 - Experimento 1

Página da disciplina:

<https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=66863>

12 de março de 2019

# Experimento I - Circuitos elétricos de corrente contínua e alternada



## 1 Experimento

- Experimento 1
- Geradores
- Célula solar
- Atividades da semana 2

## 1 Experimento

- Experimento 1
- Geradores
- Célula solar
- Atividades da semana 2

- 1 Experimento
  - Experimento 1
    - Geradores
    - Célula solar
    - Atividades da semana 2

# 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

- 1 + 4 semanas

- ▶ Semana 0

- ★ Medida da tensão de uma pilha utilizando vários voltímetros

- ▶ Semana 1

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

- 1 + 4 semanas

- ▶ Semana 0

- ★ Medida da tensão de uma pilha utilizando vários voltímetros

- ▶ 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)**



- 1 + 4 semanas

- ▶ Semana 0

- ★ Medida da tensão de uma pilha utilizando vários voltímetros

- ▶ 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)

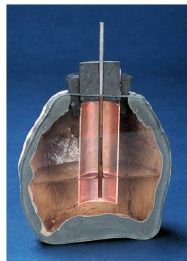
# IMPORTANTE!

- 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 18h00 da sexta-feira 30/03

- 1 Experimento
  - Experimento 1
  - Geradores
  - Célula solar
  - Atividades da semana 2

- Um gerador é qualquer dispositivo que pode 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, mas é um modelo útil para descrever um gerador real

- Gerador que converte energia química em elétrica
  - ▶ Uso de reações químicas para gerar eletricidade data desde o Egito antigo
  - ▶ Alessandro Volta (1798)
    - ★ Duas tiras de metais diferentes em solução levemente ácida  $\Rightarrow$  tensão elétrica
  - ▶ Pilha seca  $\Rightarrow$  Georges Lelanché em 1866
  - ▶ A tensão elétrica depende dos elementos químicos que compõem a pilha

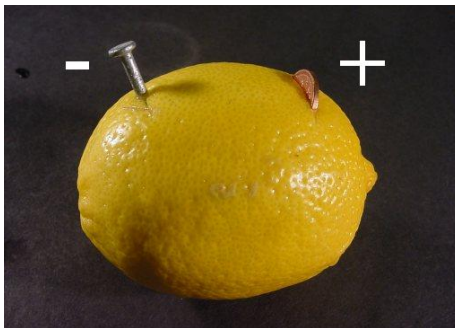


# Construindo um gerador

- Geradores podem ser dispositivos muito simples:
  - ▶ Um prego galvanizado (recoberto de zinco)
  - ▶ Moedas de cobre
  - ▶ Um limão

# Construindo um gerador

- Geradores podem ser dispositivos muito simples:
  - ▶ Um prego galvanizado (recoberto de zinco)
  - ▶ Moedas de cobre
  - ▶ Um limão
- e tem-se um gerador



# Construindo um gerador

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

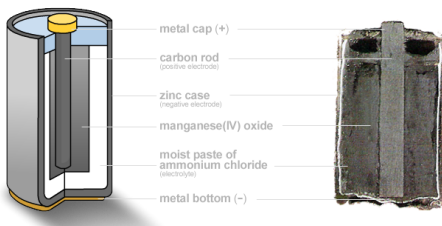


- 1 limão siciliano  $\simeq 0,9 \text{ V}$  !



# A pilha ácida

- A pilha moderna usa, em geral, Zinco e Cobre (ou carvão) como eletrodos. Contudo, 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

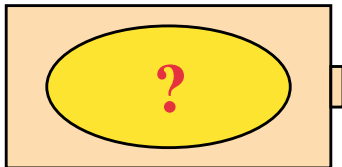


# A pilha alcalina

- 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.

# O que é uma pilha?

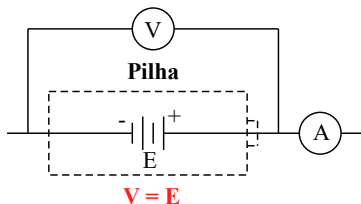
- Qual o modelo elétrico que pode-se utilizar nos projetos de circuitos para uma pilha comum?



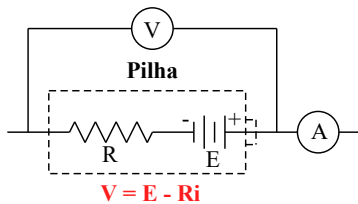
- Como testar?
  - ▶ Tomar dados e analisá-los. Um dos objetivos desta aula.

# O que é uma pilha?

- Qual o modelo elétrico que podemos utilizar nos projetos de circuitos para uma pilha comum?



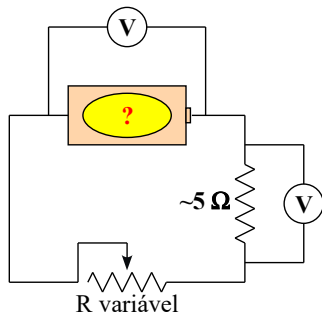
ou



- Como testar?
  - Medindo a curva característica e verificando qual modelo se aplica.  
 $R = 0$  ou  $R > 0$ ?

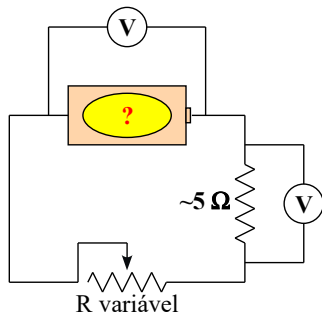
# Medindo curvas características de pilhas

- A pilha é um gerador no qual não podemos variar a tensão.



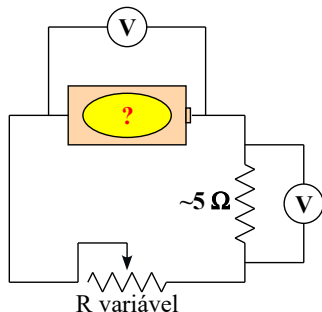
# Medindo curvas características de pilhas

- A pilha é um gerador no qual não podemos variar a tensão.
- Como fazer uma medida de tensão em função da corrente?
  - ▶ Resistor variável



# Medindo curvas características de pilhas

- A pilha é um gerador no qual não podemos variar a tensão.
- Como fazer uma medida de tensão em função da corrente?
  - ▶ Resistor variável
- A resistência interna do amperímetro ( $\sim 10 \Omega$ ) pode limitar a corrente gerada
  - ▶ Substituir por um resistor ( $3 - 5 \Omega$ ) + voltímetro



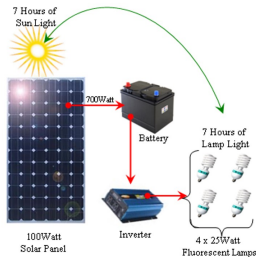
## 1 Experimento

- Experimento 1
- Geradores
- Célula solar
- Atividades da semana 2



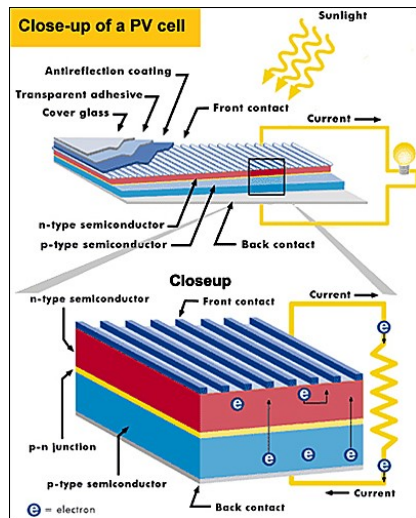
# O painel solar

- Coleção de várias células fotovoltaicas em série ou em paralelo
  - ▶ Converte luz em energia elétrica
  - ▶ Em geral armazena-se a energia em baterias para uso quando não há luz disponível



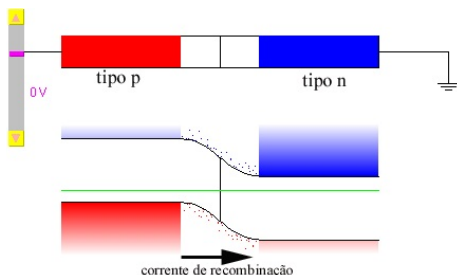
# O painel solar funciona como um diodo

- A célula é uma junção  $p - n$ 
  - ▶ A camada  $p$  fica embaixo, em contato com uma placa metálica
  - ▶ A camada  $n$  fica em cima em contato com fios metálicos (para passar luz)
- Quando um fóton atinge o painel ele excita um elétron da banda de valência para a de condução, deixando um buraco na banda de valência



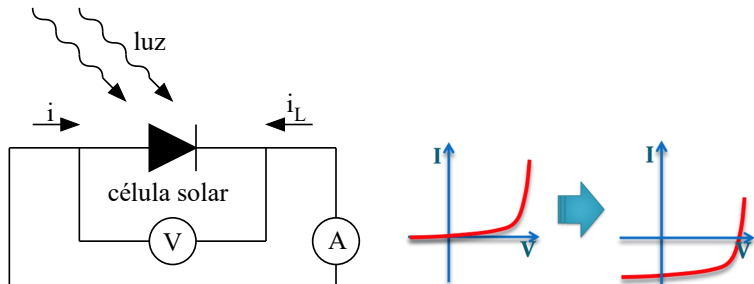
# Como gerar corrente?

- Entre a junção  $p - n$  do diodo há um campo elétrico
  - ▶ Se o par elétron-buraco for gerado na junção (ou próximo dela), o campo elétrico vai forçar a separação das cargas, criando uma diferença de potencial
  - ▶ Dependendo de como é montada, esta ddp pode gerar uma corrente elétrica



# Curva característica de uma célula solar

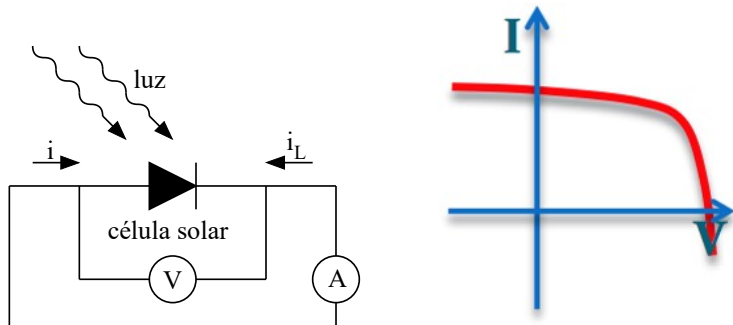
- Sem luz incidindo funciona como um diodo comum
  - ▶ Quanto maior a quantidade de luz, maior é  $i_L$  e a corrente total se desloca



$$i = i_0 \left[ \exp \left( \frac{eV}{k_B T} \right) - 1 \right] - i_L$$

# Curva característica de uma célula solar

- Por convenção, adota-se o sentido da corrente como positiva

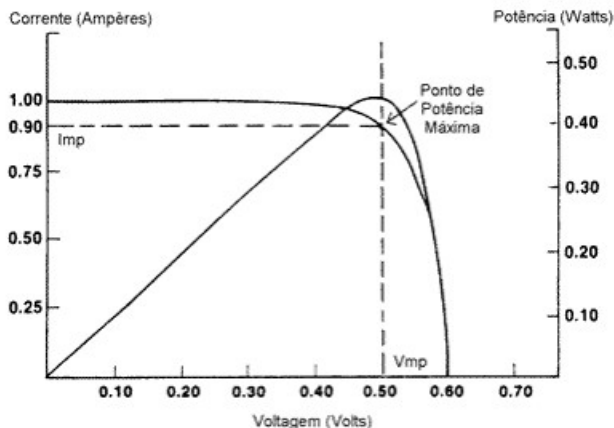


$$i = i_L - i_0 \left[ \exp \left( \frac{eV}{k_B T} \right) - 1 \right]$$

# Potência fornecida

$$P = V \cdot i$$

- Depende de muitos fatores
  - ▶ Quantidade de luz, geometria da célula, material, etc



- 1 Experimento
  - Experimento 1
  - Geradores
  - Célula solar
  - Atividades da semana 2

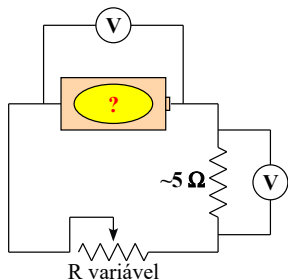
- Medir a curva característica de uma pilha AA
  - ▶ Verificar qual o modelo elétrico que descreve o comportamento da pilha em um circuito
- Medir a curva característica de uma célula solar
  - ▶ Ajustar a curva característica e obter os parâmetros que a descrevem



- Verificar no roteiro do experimento no site
- OS GRUPOS somente poderão usar o laboratório após apresentar esta atividade resolvida

# Atividades da semana - pilha

- Medir a curva característica da pilha
  - ▶ Comece com valores altos de resistência para não “descarregar” a pilha e vá diminuindo a resistência
  - ▶ Obtenha, da análise da curva, o valor de  $E$  da pilha e sua resistência interna. Discuta qual modelo para a pilha descreve melhor os dados
  - ▶ Qual a corrente máxima que a pilha pode fornecer para um circuito?
  - ▶ Obtenha, da curva característica, a curva de potência fornecida pela pilha em função da corrente.
    - ★ Qual a potência máxima que a pilha pode fornecer ao circuito? Isto ocorre na condição de corrente máxima?



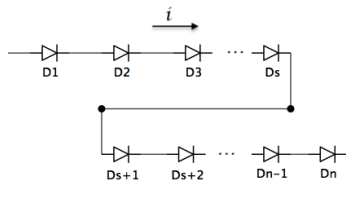
- Detalhes no roteiro

# Resistor variável





Um painel solar é obtido juntando várias células solares. Para obter uma tensão maior elas são postas em série

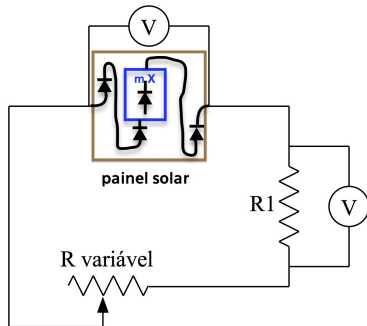


e a equação (modelização ainda simplificada) é:

$$i = i_L - i_0 \left[ \exp\left(\frac{eV}{nk_B T}\right) - 1 \right]$$

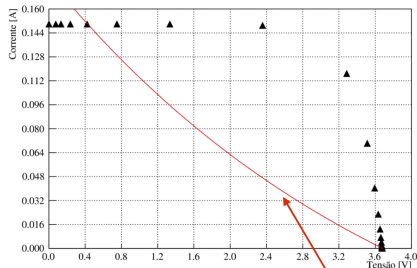
# Atividades da semana - célula solar

- Medir a curva característica da célula solar
  - ▶ Vários cuidados práticos com iluminação
  - ▶ Ajuste o modelo teórico para a curva característica aos dados
    - ★ Extraia os parâmetros relevantes
  - ▶ Obtenha a curva de potência fornecida pela célula solar em função da corrente
    - ★ Obtenha a potência máxima fornecida e a corrente na qual isto ocorre
- Detalhes no roteiro



# Algumas dicas sobre o ajustes da célula solar

- O webROOT (e o root de onde ele é derivado) assim como muitos outros aplicativo são bem poderosos... mas não tem poderes sobrenaturais!
- A equação do painel solar não é linear nos parâmetros, o aplicativo, na maioria das vezes, não consegue achar uma boa solução sozinho (mais adiante no curso vamos entender por que)
- Na imagem, ajuste dos pontos que vem duma simulação “exata” de um circuito com 10 diodos “ideais” em série



Clique no gráfico para obter coordenadas

x =  y =

Resultados do ajuste

Número de parâmetros 3

**Chi²** 6827430

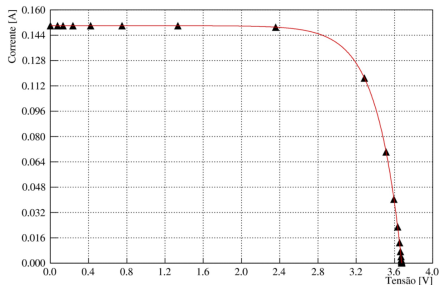
Número de graus de liberdade 19

parâmetro	Valor	Incerteza
$I_0$	0	0.179911 5.44347E-5
$I_1$	1	-0.244233 4.17105E-5
$e/nkT^2$	-0.303306	7.5181E-5

**Ajuste bem ruim**  
(web root concorda)

# Algumas dicas sobre o ajustes da célula solar

- O webROOT precisa de uma pequena ajuda, um chute inicial para os parâmetros, depois consegue achar um ótimo ajuste!
- Na imagem, ajuste dos pontos que vem duma simulação “exata” de um circuito com 10 diodos “ideais” em série
- Os pontos “experimentais” da simulação foram bem escolhidos?



Clique no gráfico para obter coordenadas

x =  y =

#### Resultados do ajuste

Número de parâmetros 3  
Chi<sup>2</sup> 22.7256  
Número de graus de liberdade 19

parâmetro	Valor	Incerteza	
$I_1$	0	0.149976	2.8632E-5
$I_0$	1	9.87798E-8	2.19121E-10
$e/nkT_2$		3.87147	0.000614227

# Algumas dicas sobre o ajustes da célula solar

- O webROOT precisa de uma pequena ajuda, um chute inicial para os parâmetros.
  - ▶ Como obter o chute?
    - ★ Bola de cristal
    - ★ Estudo da função (“como em cálculo”) e olhando o gráfico
    - ★ Fazendo o gráfico com vários valores dos parâmetros (é possível fazer no webROOT mesmo, pôr o valor no campo “Parâmetros” e travar todos os parâmetros no campo “Fixa parâmetros”) e convergir por tentativas e erros.

## Função teórica $y = f(x)$

Fórmula:  $y = [0]-([1])*(\exp([2]*x)-1)$   Ajuste  
Parâmetros chute\_0, chute\_1, chute\_2 *chutes*  Resíduos  
Tipo de linha sólida

## Opções de ajuste

Fixa parâmetros: 0,1,2 *parâmetro que não serão ajustados*  
Limites de ajuste: Min:  Max:   
Modos de ajuste:  W = 1  EX = 0  Integral  
Modos de desenho:

## Opções de resíduos



- Compare os parâmetros obtidos tanto para a pilha quanto para a célula solar com os de seus colegas
- Suponha que você utilize a célula solar para carregar a pilha recarregável. Utilizando as duas curvas características que você mediu, encontre qual seria a tensão e a corrente de carga