

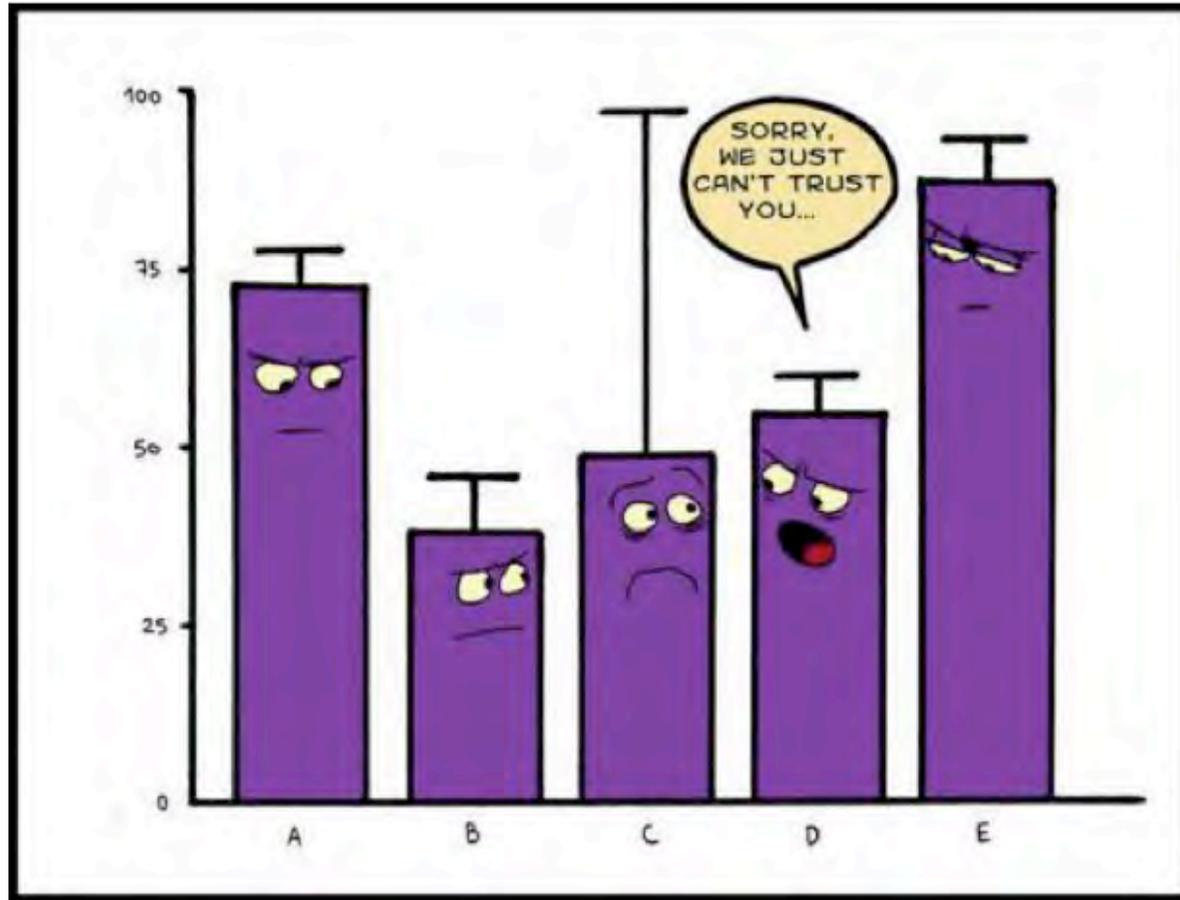


Física Experimental III

<http://disciplinas.stoa.usp.br/course/view.php?id=3894§ion=2>

Aula 2





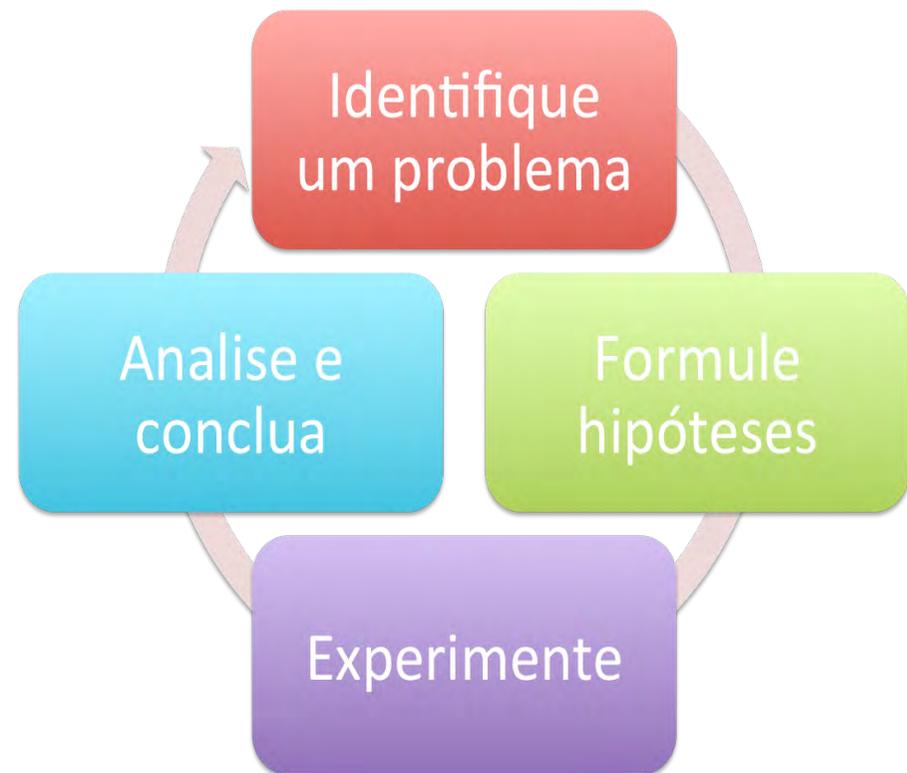
REVENDO ALGUNS CONCEITOS DE INCERTEZAS

O método científico

A verificação e falsificação:
Einstein: “*No amount of experimentation can ever prove me right; a single experiment can prove me wrong.*”

http://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_method

<http://www.unicamp.br/~chibeni/textosdidaticos/metodocientifico.pdf>



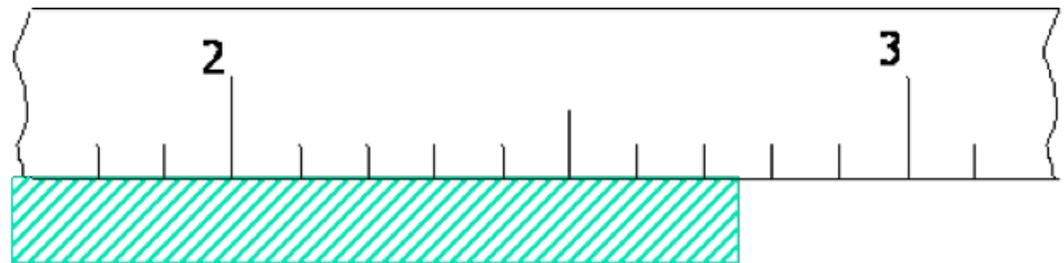
Fazendo uma medida

Uma medida é sempre uma comparação com um padrão

Sujeita a imperfeições e limitações

Algarismos significativos

Todos que tenho certeza + primeiro duvidoso (estimado)



$$L = 2,74 \text{ cm}$$

2 e 7 tenho “certeza”

4 é uma estimativa -> duvidoso

Acurácia e precisão

Precisão

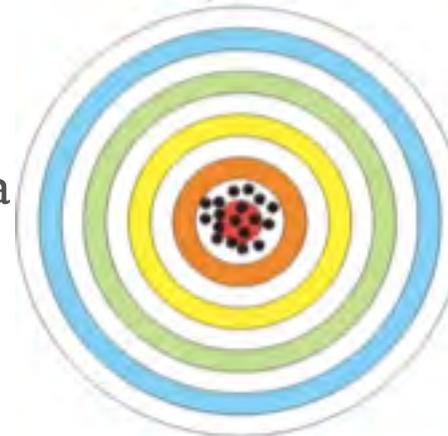
Relacionada à flutuação entre uma medida e outra

Dispersão dos dados

Acurácia

Quão próximo você está do valor verdadeiro

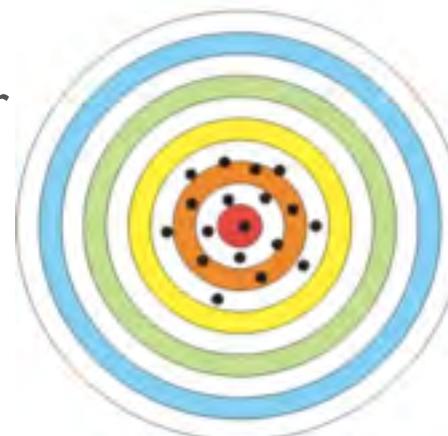
Alta acurácia
Alta precisão



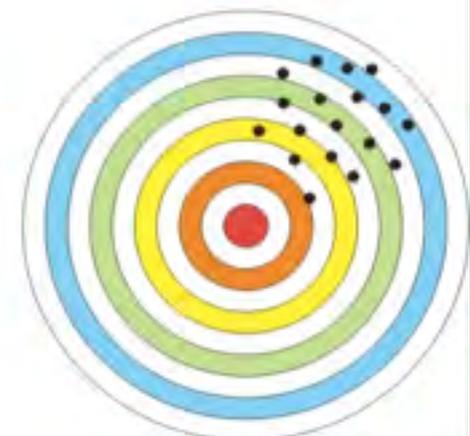
Baixa acurácia
Alta precisão



Alta acurácia
Baixa precisão



Baixa acurácia
Baixa precisão





Erro e incerteza

Erro = valor verdadeiro - valor medido

Toda medida experimental apresenta um erro

O valor do erro não pode ser conhecido

Vamos ver nesse semestre que existem dois tipos de erro, um relacionado à precisão e outro, à acurácia

Incerteza = melhor estimativa do valor do erro

Representando uma medida

Faz-se a medida e avalia-se a incerteza

Escreve-se a incerteza com, no máximo, 2 algarismos significativos

A grandeza acompanha a precisão da incerteza

Exemplo:

Obtive estes valores na calculadora

Tempo médio = 2,8764536952 s

Incerteza = 0,0456485323 s

escrevo o resultado como:

Tempo médio = (2,876 + 0,046) s

Estimando incertezas: alguns conceitos de estatística

Repetição de um experimento como ferramenta de avaliação da sua precisão

Quanto mais eu repito, mais precisa se torna o valor médio

Lei dos grandes números: se n tende ao infinito, o valor médio tende ao valor verdadeiro

não havendo problemas de acurácia

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

se $n \rightarrow \infty$, $\bar{y} \rightarrow \tilde{y}$

Desvio padrão

Avaliação da flutuação dos dados em torno da média da amostra

(por não conhecermos o valor verdadeiro)

Não reflete problemas de acurácia

O desvio padrão é o correspondente à incerteza estatística de uma única medida realizada. Cada medida, além da incerteza instrumental, possui uma incerteza estatística dada pelo desvio padrão.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y})^2} \sim \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Desvio padrão da média

De um conjunto de medidas, obtemos o seu valor médio

Agora suponha que possamos repetir esse conjunto de medidas k vezes e, em cada caso, obtem-se um valor médio

Incerteza estatística (precisão) do valor médio de uma amostra

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\bar{y}_i - \tilde{y})^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Revendo a análise de queda livre do Pelletron

Medida de tempo de queda de balões de água

Quase quinhentas medidas

Análise estatística

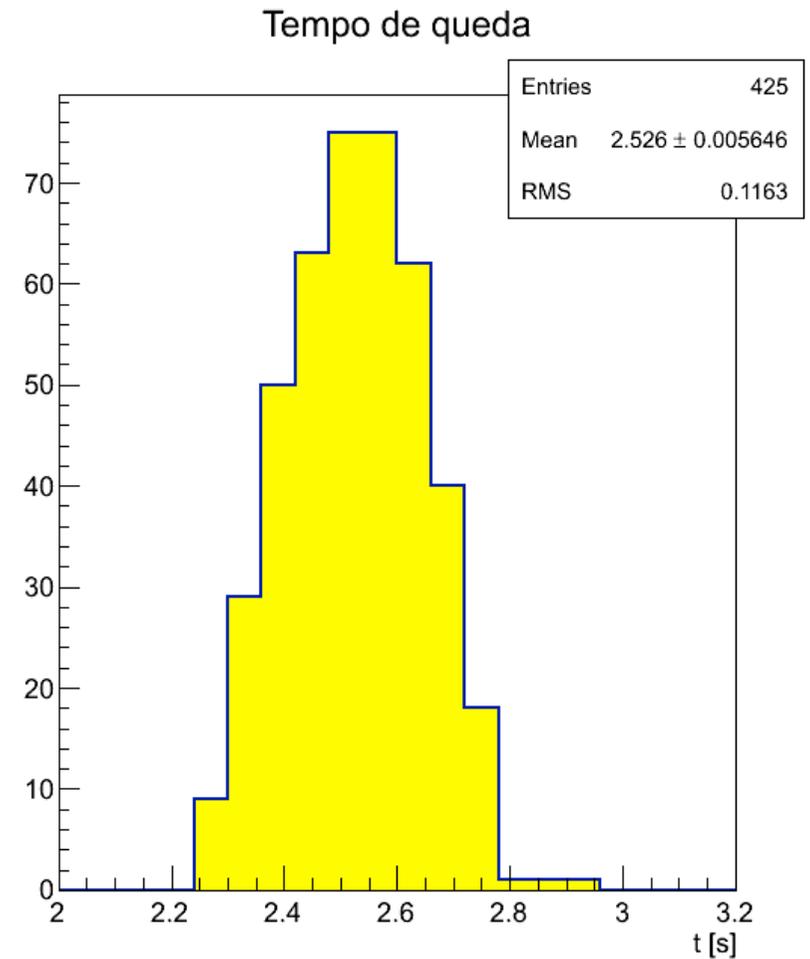
A aceleração obtida é compatível com a gravidade?

$$g_{IAG} = 9.7864 \text{ m/s}^2.$$



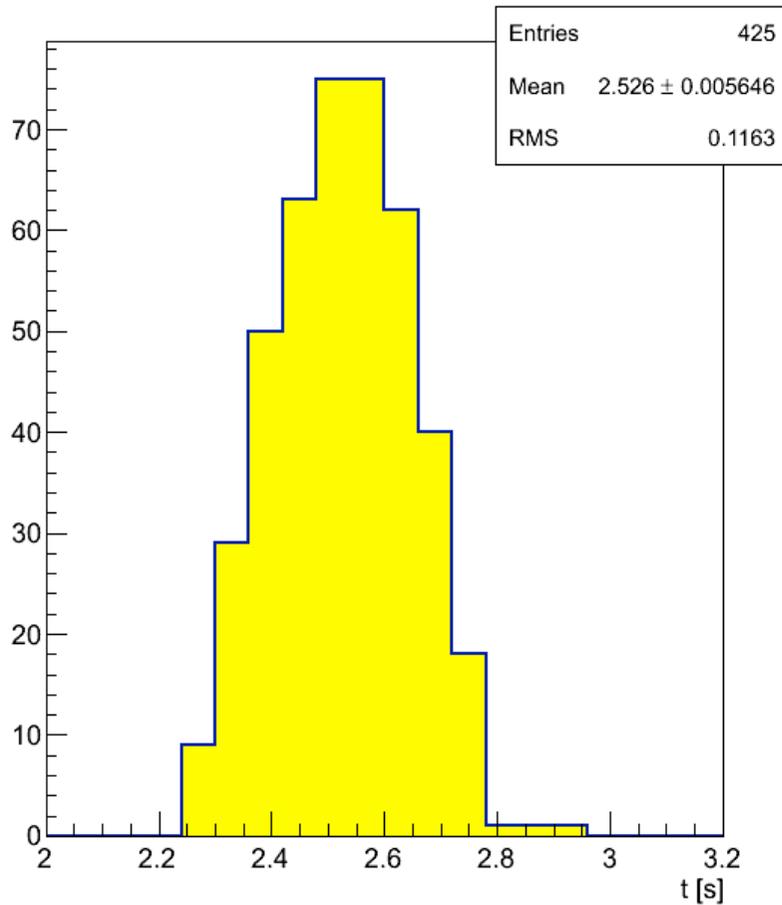
Medidas realizadas

Medida	tempo [s]	aceleração [m/s ²]
1	2.46	11.2
2	2.61	9.98
...
quase 500	2.73	9.12

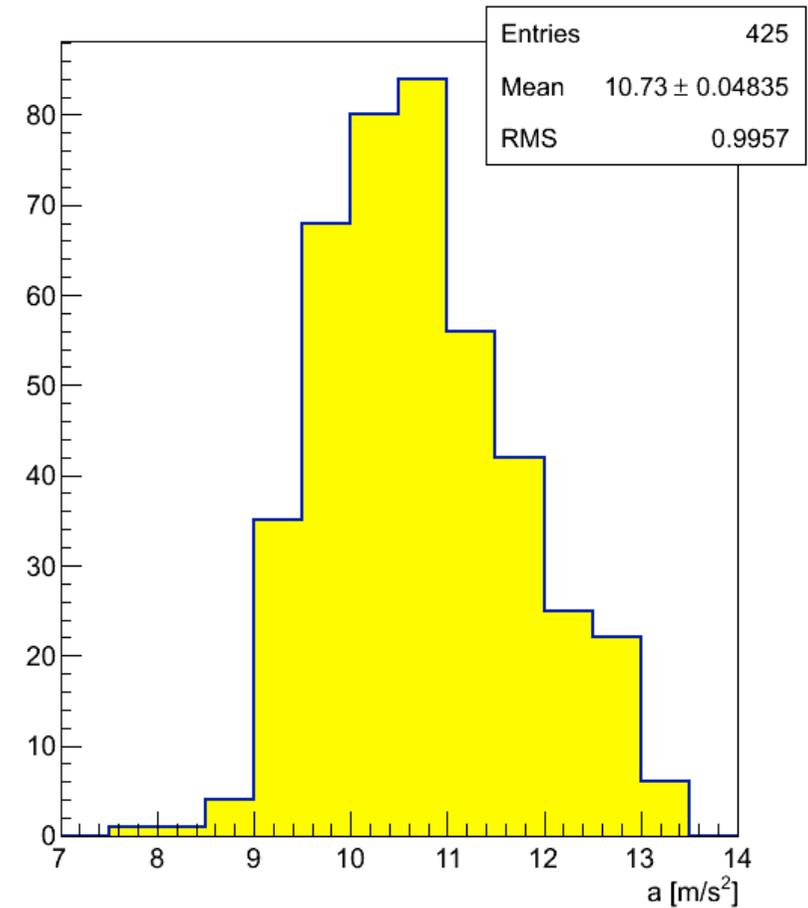


Histogramas

Tempo de queda



Aceleracao



Desvio padrão das medidas

O desvio padrão é uma estimativa de quanto cada medida flutua em torno do valor médio da amostra
Estimativa da incerteza de cada medida

$$\sigma_{tempo} = 0.12 \text{ s}$$

$$\sigma_{acel} = 1.00 \text{ m/s}^2$$

Medida	tempo [s]	aceleração [m/s ²]
1	2.46	11.2
2	2.61	9.98
...
quase 500	2.73	9.12

Acurácia e precisão da medida

Os valores de aceleração são precisos e acurados?

Precisão

desvio padrão = 1 m/s².

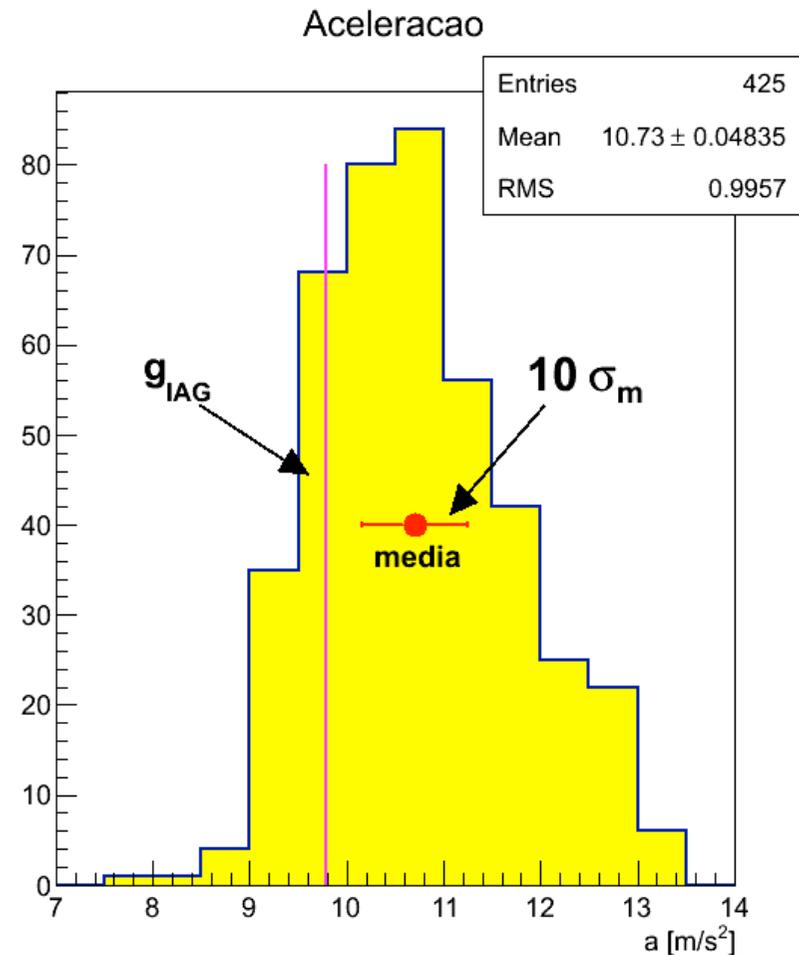
~10% do valor de g

$g_{IAG} = 9.7864 \text{ m/s}^2$.

$g_{\text{médio}} = 10.73 \pm 0.05 \text{ m/s}^2$.

Acurácia

$$\frac{g_{\text{medio}} - g_{IAG}}{\sigma_m} = 19$$



Reverendo a acurácia do experimento

Como investigar a diferença entre o valor médio e o valor do IAG?

Hipóteses teóricas

Desprezamos a resistência do ar

Se fosse importante iria diminuir a aceleração e não aumentar

Velocidade inicial diferente de zero

$$y = v_0 t + \frac{a}{2} t^2$$

Para a aceleração ser igual ao valor do IAG, teríamos que ter

$$v_0 = 1.1 \text{ m/s}$$

Valor muito alto se comparado a como as bolas foram lançadas

A revisão das hipóteses teóricas não parece resolver a discrepância

Reverendo a acurácia do experimento

Como investigar a diferença entre o valor médio e o valor do IAG?

Rever o procedimento experimental

○ disparo do cronômetro foi auditivo

Som tem velocidade de ~ 340 m/s

Torre tem altura de 34 metros

Ouvimos o som 0.1 segundo depois que a bola começa a cair

Ou seja, o tempo medido é sistematicamente menor que o tempo de queda por aproximadamente 0.1 segundo

○ que acontece se somarmos 0.1 segundo em todos os tempos de queda?

Tentando corrigir problemas de acurácia

Os valores de aceleração são precisos e acurados?

Precisão

desvio padrão = 0.9 m/s^2 .

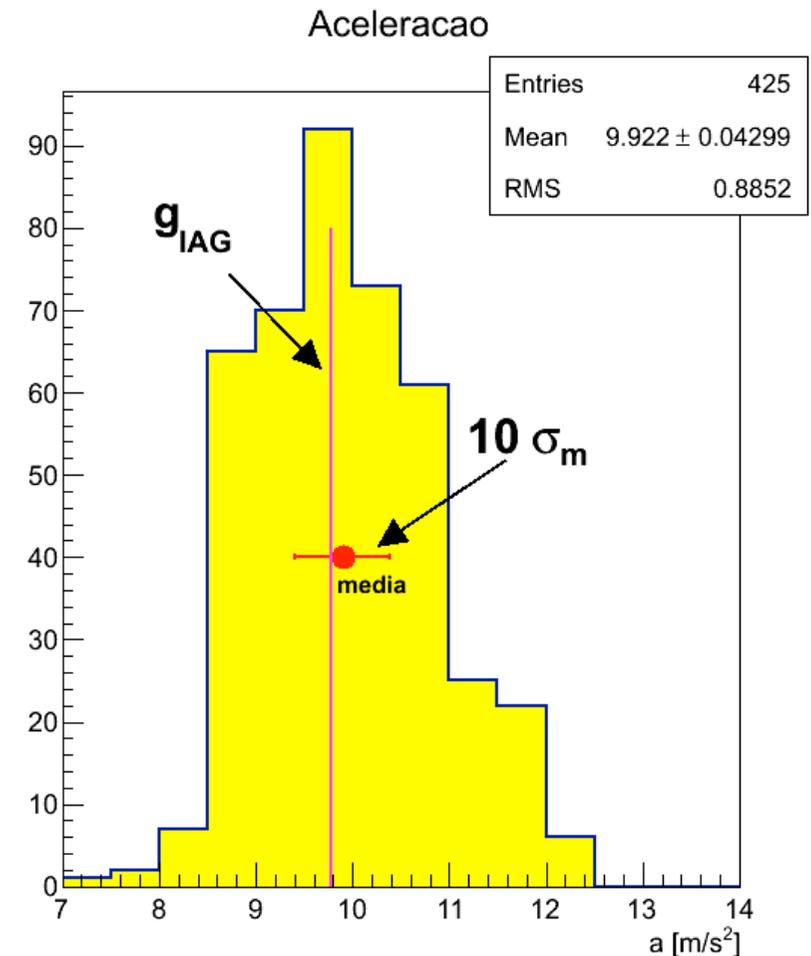
~10% do valor de g

$g_{IAG} = 9.7864 \text{ m/s}^2$.

$g_{\text{médio}} = 9.92 \pm 0.04 \text{ m/s}^2$.

Acurácia

$$\frac{g_{\text{médio}} - g_{IAG}}{\sigma_m} = 3$$



Conclusões

A repetição exaustiva do experimento permitiu realizar uma análise estatística que evidenciava um problema no procedimento adotado para analisar os dados

Isso só foi possível porque essa repetição permitiu avaliar as incertezas envolvidas, principalmente a incerteza na aceleração medida

Em muitas situações não podemos repetir o experimento à exaustão
custa caro, leva muito tempo, etc.

Como proceder se eu fizer apenas uma medida de tempo?

Qual a incerteza no tempo e aceleração?

E se não for possível repetir?

Nas medidas diretas, tente estimar qual seria a flutuação obtida caso você repetisse o experimento

Em instrumentos com escalas simples desenhadas, como réguas, em geral utiliza-se metade da menor divisão

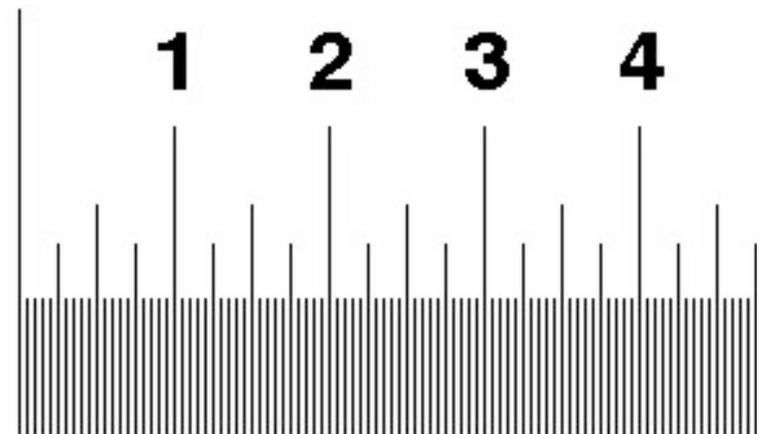
Em instrumentos digitais essa informação está disponível no manual do instrumento

Avalie a precisão humana

Por exemplo, o tempo de reação para disparar e parar um cronômetro

E grandezas derivadas?

Propagação de incertezas



Experimento I – Circuitos de C.C.

- Projetar e montar um circuito elétrico de iluminação de uma casa





O que precisamos fazer ...

- ... para atingir os nossos objetivos
 - Estudar o LED e suas propriedades elétricas
 - Como uma bateria fornece energia para um circuito
 - Curva característica, potência, correntes, etc.
 - Como converter energia solar em elétrica
 - Como armazenar esta energia
 - Projetar e montar a casa

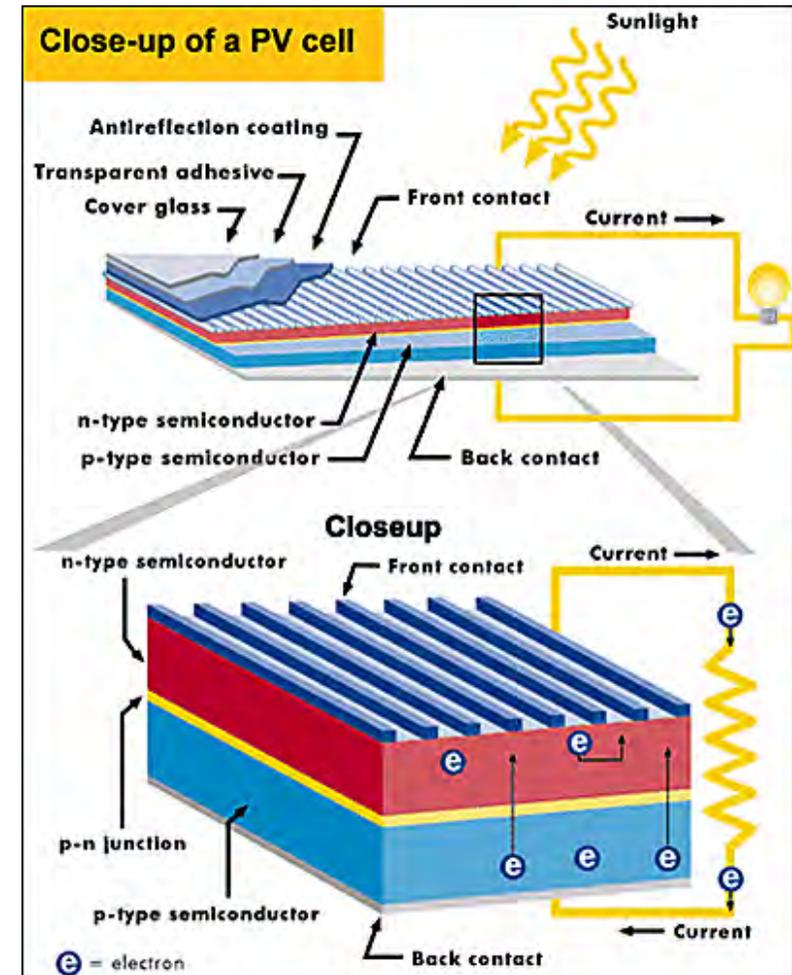
O painel solar

- 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 é um diodo

- A célula é uma junção PN
 - 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 arranca um elétron, formando uma lacuna

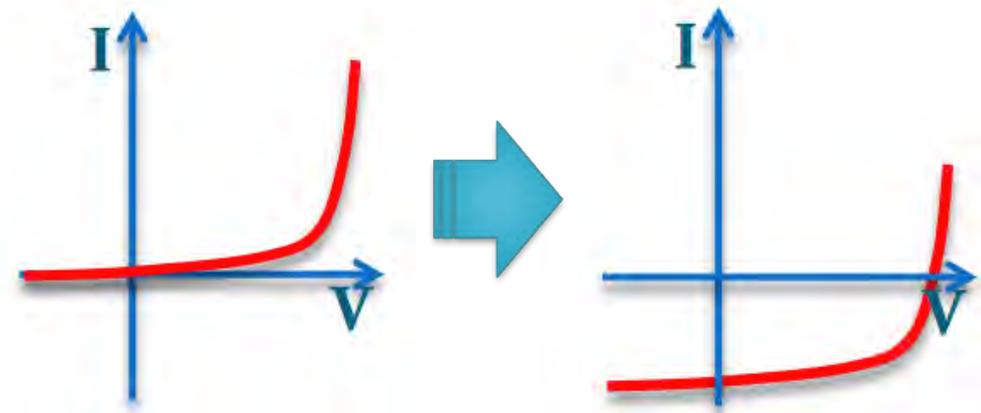
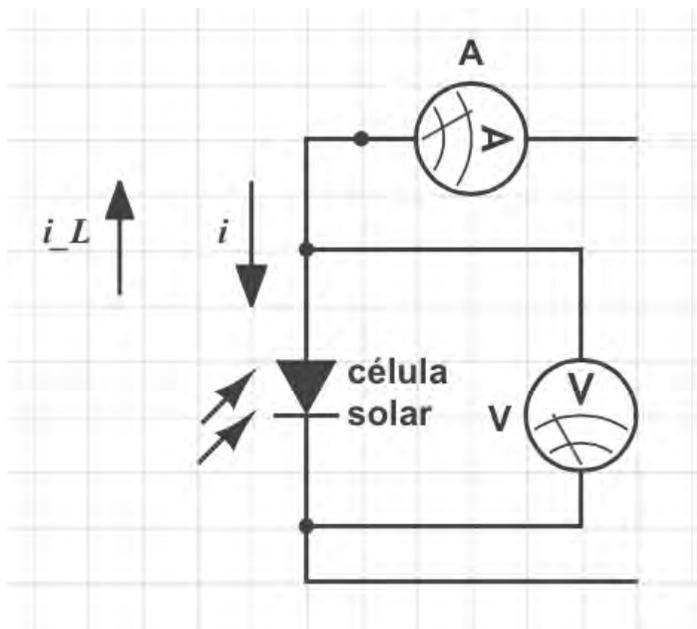


Como gerar corrente?

- Entre a junção PN do diodo há um campo elétrico
 - Se o par elétron-lacuna 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

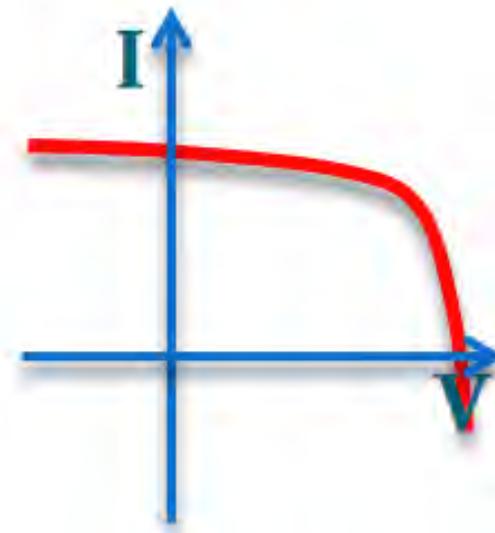
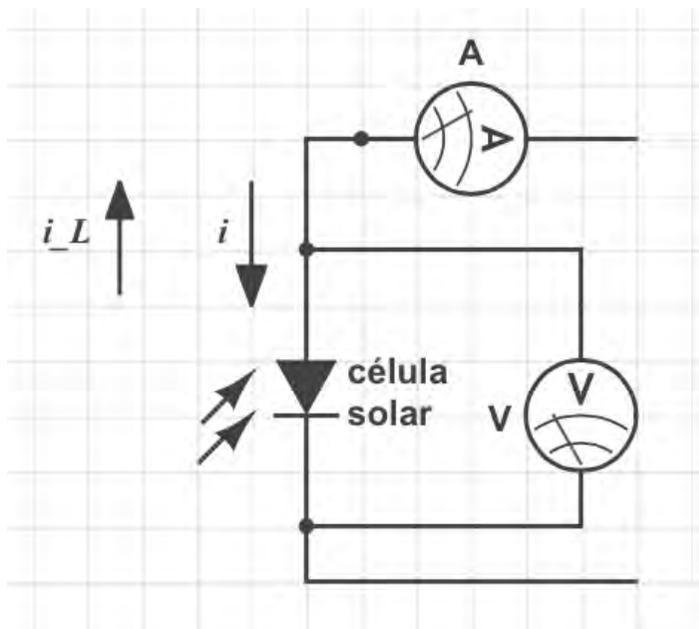
- Sem luz incidindo é um diodo comum
 - Quanto maior a quantidade de luz, maior é i_L e a corrente total se desloca



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

Curva característica de uma célula solar

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

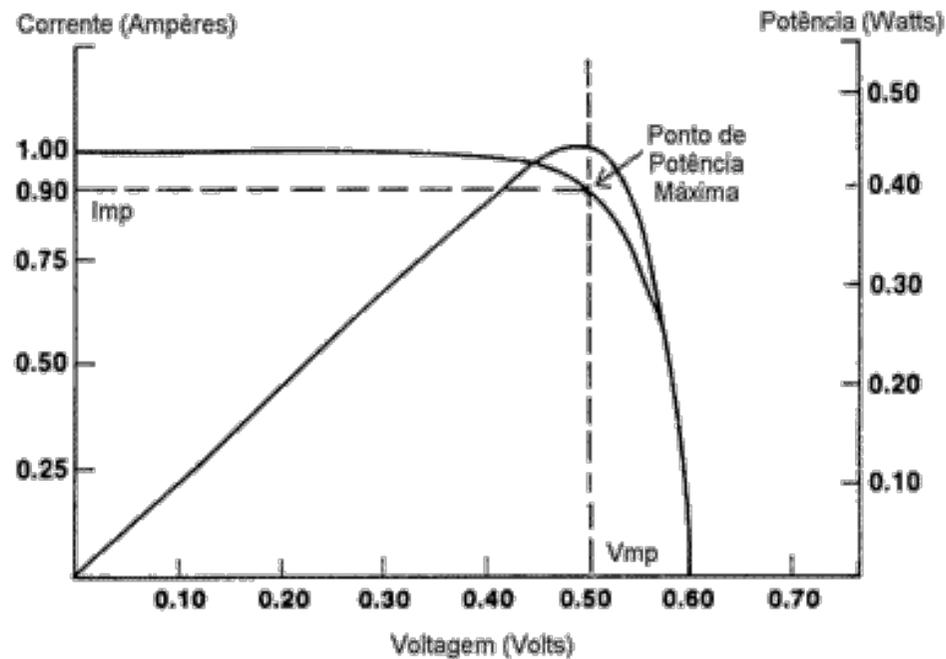


$$i = i_L - i_0 \left(\exp \left(\frac{eV}{kT} \right) - 1 \right)$$

Potência fornecida

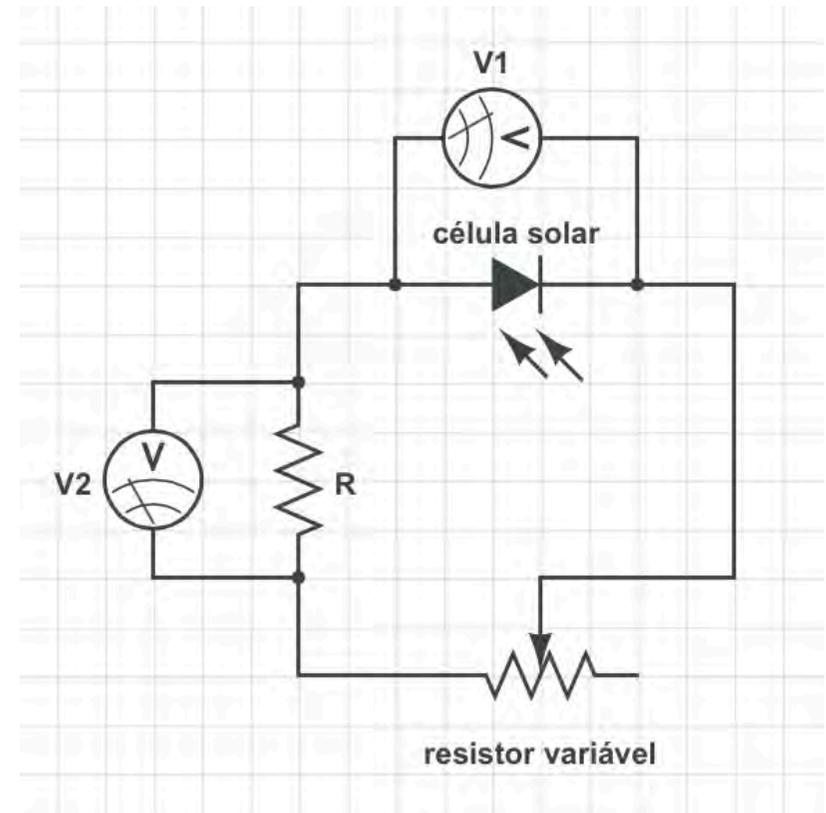
$$P = Vi$$

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



Estudo de uma célula solar

- Medir a curva característica e estudar a célula
 - Similar ao procedimento usado com a bateria na semana passada
- Vários cuidados práticos com iluminação
 - Ver página da disciplina





Estudo de uma célula solar

- 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.
 - Compare os seus parâmetros obtidos com os seus colegas e discuta os resultados.



Armazenando energia solar

- A luz do sol não está disponível sempre
- O consumo varia durante o dia
- Como ter energia quando se precisa?
- Armazenar energia em baterias recarregáveis para uso quando necessário

Algumas definições importantes

- Densidade de energia armazenada
 - Quanta energia por unidade de massa a bateria é capaz de armazenar
 - J/kg ou J/m³.
- Energia armazenada em uma bateria
 - Unidade de Watt x hora
 - Potência $W = J/s \rightarrow J = W \times s$
 - $1 \text{ kW} \times \text{h} = (1000 \text{ J/s}) \times (3600 \text{ s}) = 3,6 \text{ M J}$

Algumas definições importantes

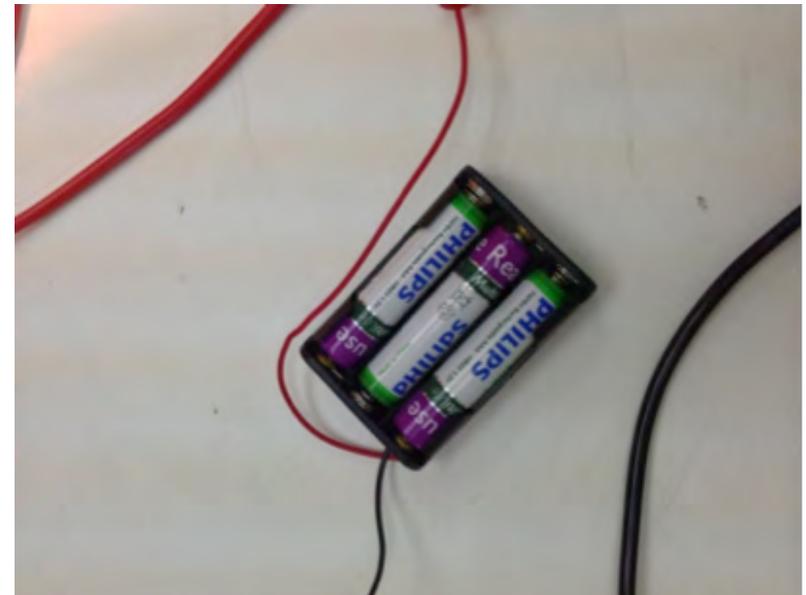
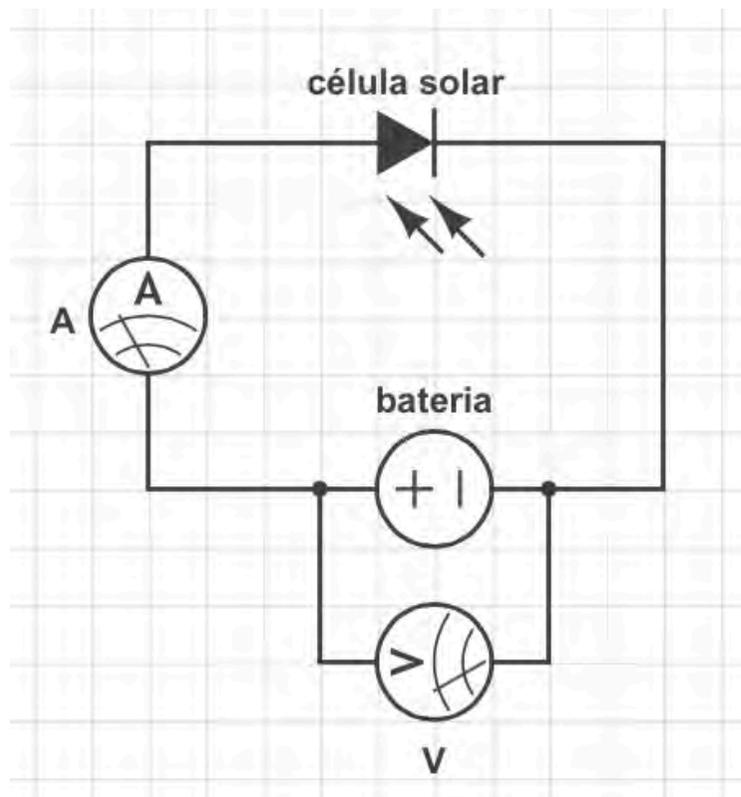
- Carga armazenada em uma bateria
 - Unidade de carga = Coulomb [C]
- Corrente: $1 \text{ A} = 1 \text{ C} / \text{s}$
 - $1 \text{ C} = 1 \text{ A} \times \text{s}$
- Em geral se utiliza as unidade para carga
 - A x s ou A x hora
 - $1 \text{ A} \times \text{h} = 1 \text{ A} \times 3600 \text{ s} = 3600 \text{ A} \times \text{s} = 3600 \text{ C}$

Algumas definições importantes

- Exemplo:
- Imagine uma bateria com capacidade de armazenar 100 A x h de carga e esta bateria é capaz de alimentar um circuito por 20 horas. A corrente média fornecida pela bateria é
 - $i = Q/t = 100 \text{ A} \times \text{h} / 20 \text{ h} = 5 \text{ A}$
- Em geral não se usa bateria até ficar totalmente descarregada!

Atividades para realizar

- Estudar o processo de carga de uma bateria comercial por uma célula solar.





Cuidados importantes

- Ter certeza de que a bateria está totalmente descarregada.
 - Se não estiver descarregue-a.
- Manter luz a 15-20 cm da célula solar para não esquentar demais
- Medir tensão e corrente no circuito em intervalos de 1 min durante 60 min.
 - Levantar a curva de carga da bateria
 - Ver análises na página da disciplina