

# INTRODUÇÃO AS MEDIDAS EM FÍSICA

Experimento 3 – 10/Set/2019

Prof. Cristiano L. P. Oliveira  
Ed. Basilio Jafet, sala 202  
[crislp@if.usp.br](mailto:crislp@if.usp.br)

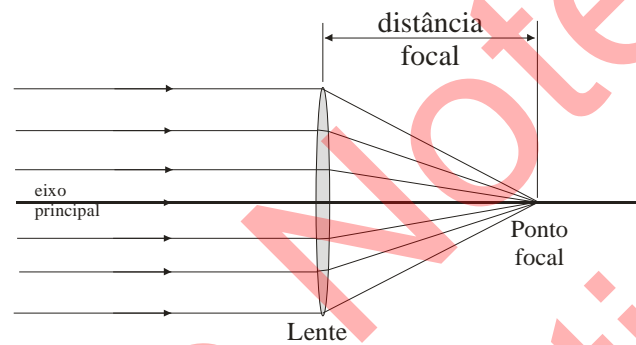
## Dados densidade



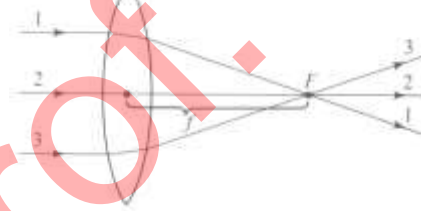
material	d(g/cm <sup>3</sup> )
PVC	1,35 a 1,45
Acrílico	1,17 a 1,20
Nylon	1,09 a 1,14
Polietileno	0,941 a 0,965
Polipropileno	0,900 a 0,915

## Distância focal de uma lente delgada

- Lente delgada é aquela na qual as suas dimensões físicas podem ser desconsideradas durante a análise óptica
- *Distância focal é o ponto de convergência dos raios luminosos para um objeto a distância infinita da lente*

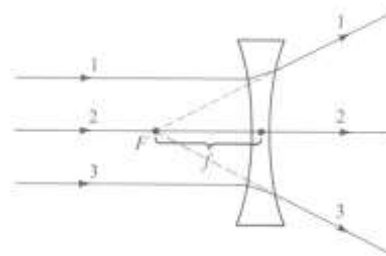


## Lentes convergentes e divergentes



Convergente

Divergente

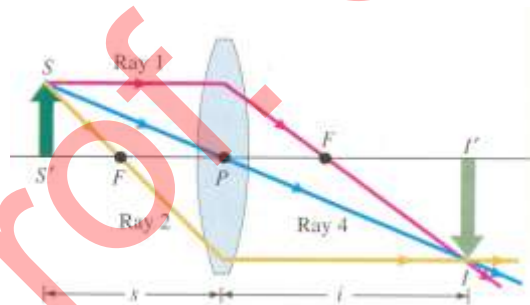


## Formação da imagem

- Qualquer raio luminoso paralelo ao eixo principal da lente é desviado de tal forma a passar pelo ponto focal da lente;
- Qualquer raio luminoso incidente sobre o centro da lente não sofre desvio.



Imagem em lente convergente:  
objeto além do ponto focal



- ❖ Conforme S (objeto) afasta, I (imagem) diminui e se aproxima de F
- ❖ Imagem é **real** (cruzamento de raios reais)
- ❖ Imagem é **invertida**

## Imagem em lente convergente: objeto aquém do ponto focal

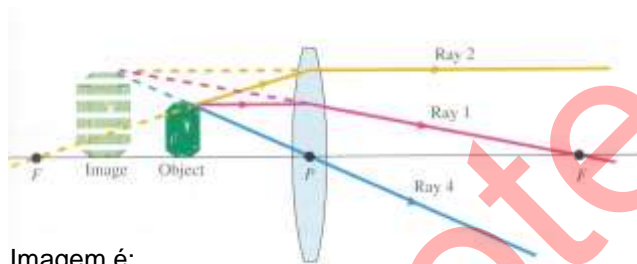


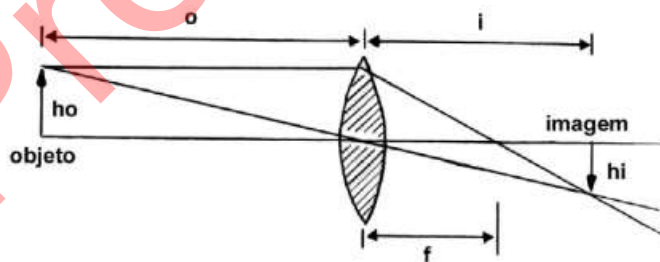
Imagem é:

- ❖ **virtual** (cruzamento de prolongamentos dos raios)
- ❖ **direita**
- ❖ **maior** que o objeto
- ❖ **mais afastada da lente** que objeto

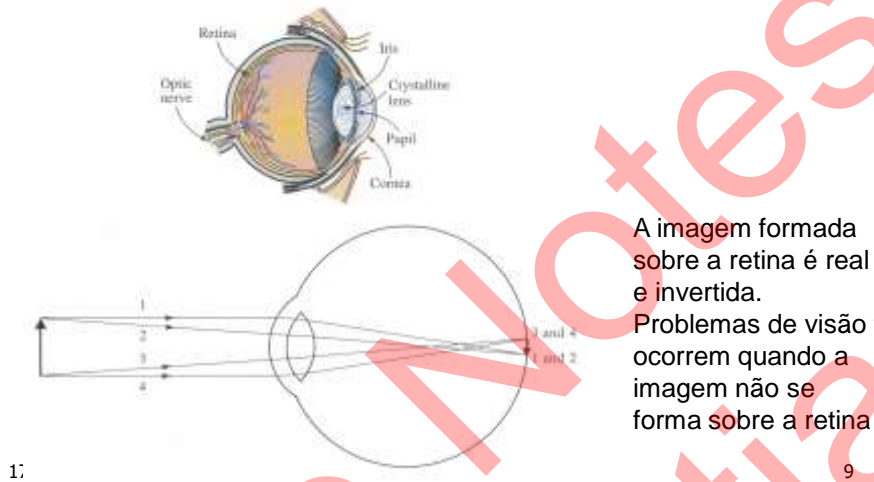
## Distância Focal de uma Lente Lei de Gauss

- Ela pode ser calculada pela expressão:

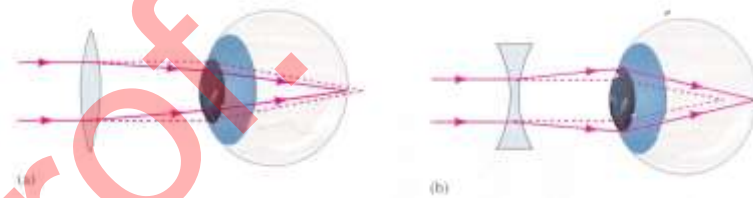
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{i} + \frac{1}{o} \Rightarrow f = \frac{i \cdot o}{i + o}$$



## Curiosidade: olho humano e visão



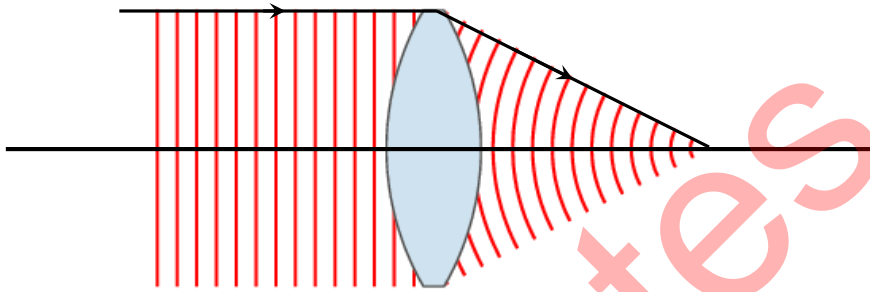
## Curiosidade: correção dos problemas de visão



(a) hipermetropia: a imagem se forma após a retina; a correção é feita utilizando lentes convergentes.

(b) miopia: a imagem se forma antes da retina; a correção é feita utilizando lentes divergentes.

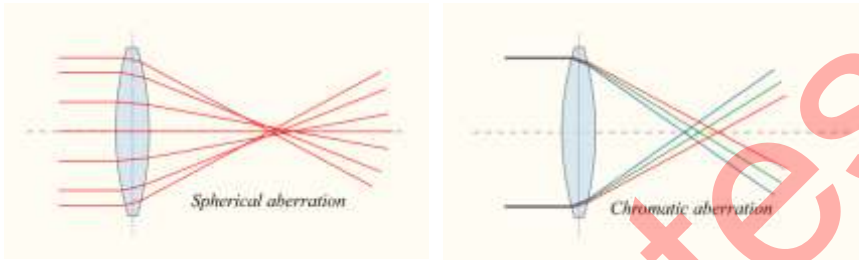
Porque podemos usar traços retos?



### Objetivos do experimento

- Determinar a distância focal de uma lente delgada utilizando a técnica do objeto/imagem
- Método
  - Posicionar um objeto a uma distância em relação à lente e, com o auxílio de um anteparo, determinar a posição da imagem. *A posição ideal é aquela onde a imagem aparece mais nítida.*
  - Calcular a distância focal utilizando a equação de Gauss

## Efeitos de Aberração



Como resultado:

Não é possível obter uma posição única, precisa, para a imagem no anteparo!

Como fazer quando a precisão do instrumento não é o fator limitante?

- Cabe ao experimentador avaliar as limitações do método empregado e, com base nisso, estabelecer uma estimativa para a incerteza instrumental de uma determinada medida.
- Como fazer isso?
  - Analisar o método empregado para a medida
  - Avaliar as possíveis limitações
  - Auto-crítica é muito importante na Ciência!

## Atividades 1: Determinação rápida da distância focal das lentes

- na lente convergente a magnificação aumenta para distâncias crescentes do objeto ( $<$  foco);
- na lente divergente a magnificação diminui quando aumentamos a distância do objeto a lente.

*Simulation*

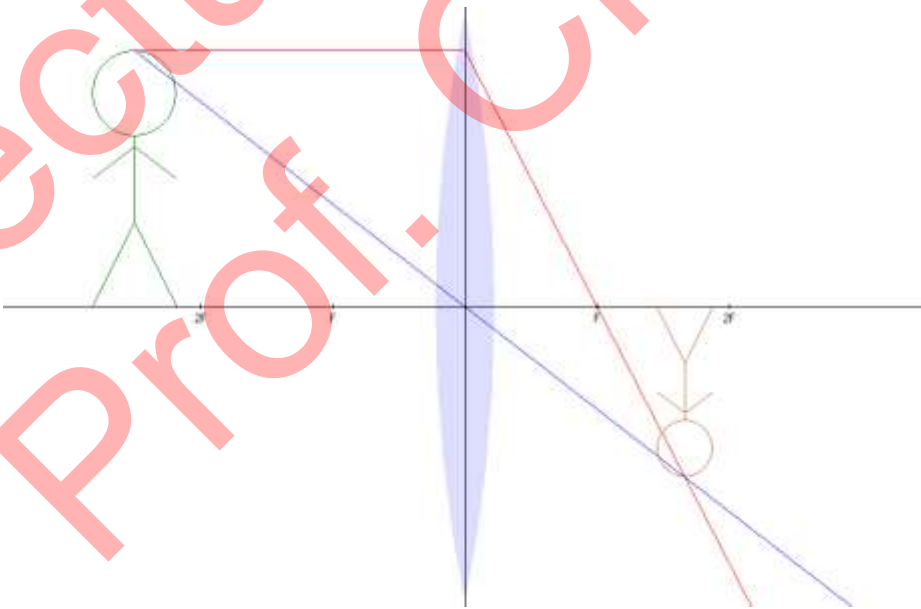
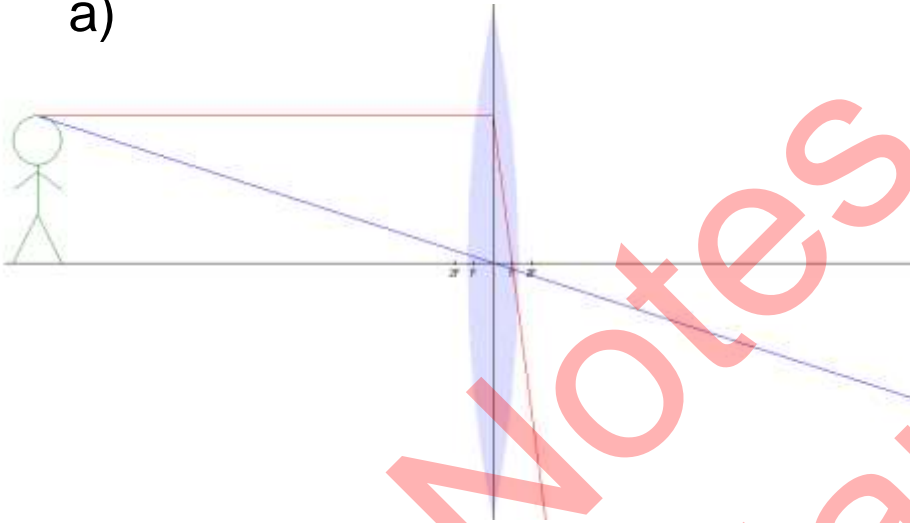
### Determinação rápida da distância focal Lentes Convergentes

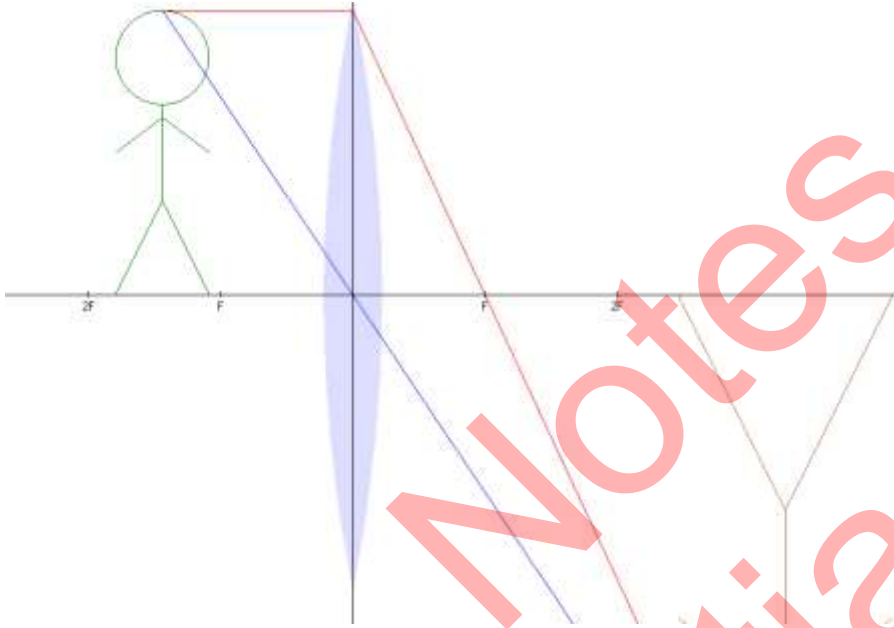
- a) focalize no papel a imagem real de um objeto distante (lâmpada ou janela);
- b) Analisando o aumento da imagem virtual, obtenha a distância para a qual a imagem não está definida (infinito)

*Simulation*

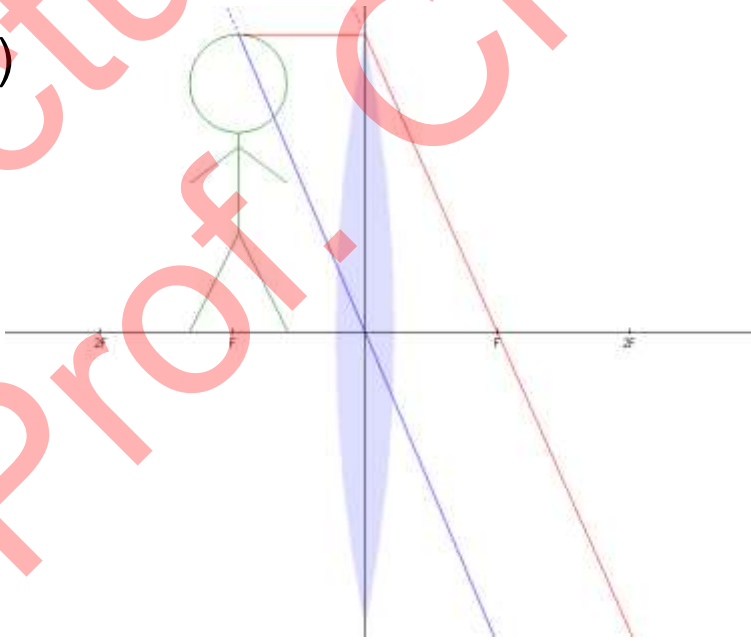


a)



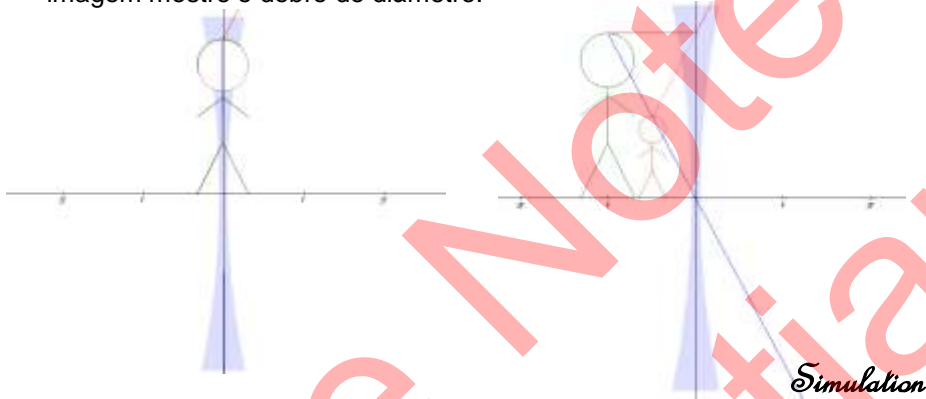


b)



## Determinação rápida da distância focal Lentes Divergentes

Pode-se obter a distância focal a partir da obtenção de uma imagem virtual com metade do tamanho real. Na prática, pode-se colocar a lente em cima de uma régua, avaliar o diâmetro da lente (tipicamente 4 a 5 cm). Em seguida afasta-se a lente paralelamente a régua até que a imagem mostre o dobro do diâmetro.



## Procedimento Experimental

- Para a lente convergente, cada aluno do grupo fará 10 medidas, com diferentes valores de  $o$
- Organizar os dados em uma tabela
- Refletir sobre as incertezas nas medidas, tanto de  $o$  como de  $i$ 
  - Como você pode estimá-las?
  - A incerteza é somente devido ao equipamento de leitura (trena), ou seja, instrumental?
  - Qual o valor atribuído a elas? Por quê?

## Experimento de hoje: Sequência de trabalho - 2

- Determinação da distância focal de uma das lentes convergentes (imagem e objeto reais)
  - sequência ...
  - fixar a fonte de luz ...
  - escolher posições da lente ...
  - para cada posição da lente encontrar intervalo de variação da posição do anteparo com imagem nítida Anteparo +, Anteparo – na TABELA 2.
  - Cada estudante 10 posições de lente (as mesmas)
  - Dica: para cada posição de anteparo há 2 posições da lente que projetam com nitidez.

Medida	Posição da Lente ( $\pm$ inc)	Aluno 1 Anteparo		Aluno 2 Anteparo		Aluno 3 Anteparo	
		+	-	+	-	+	-
1							
2							

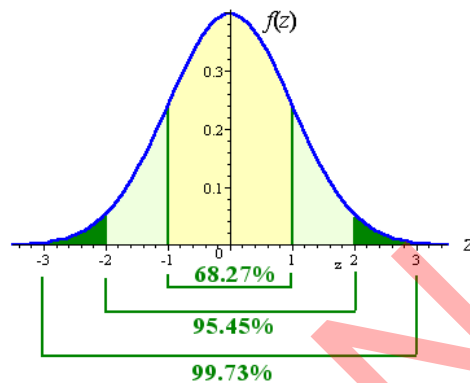
## Nova abordagem – incerteza estatística

Tabela 2. Medidas das posições dos elementos usados para obter distância focal da lente convergente. Nas colunas + e – marque as posições máxima e mínima do anteparo em que considere que a imagem perde/ganha nitidez

Medida	Posição da Lente ( $\pm$ inc)	Aluno 1 Anteparo		Aluno 2 Anteparo		Aluno 3 Anteparo	
		+	-	+	-	+	-
1							
2							
3							

- Tentativa de obter o desvio padrão ( $\sigma$ ) a partir de valores máximos e mínimos possíveis.
- Intervalo (Anteparo+ a Anteparo-) equivale a 4 ou a  $6\sigma$ .

## Interpretação de distribuições de valores - probabilidades



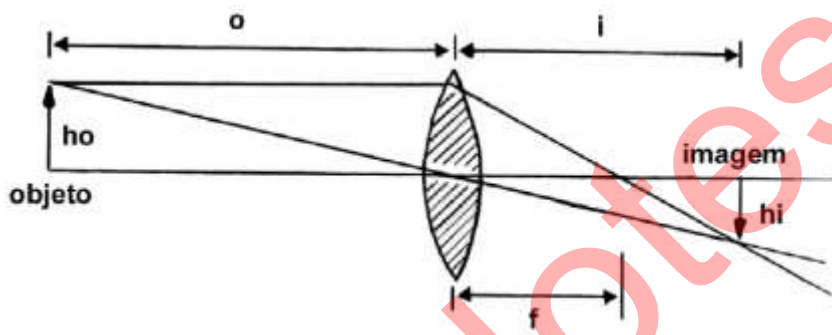
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2\sigma^2}$$

Distribuição normal  
 $z = (x - m)/s$

### Atividades 2: Obter a distância focal para lente convergente usando a Lei de Gauss

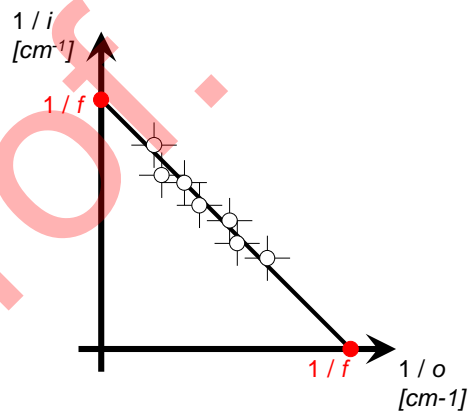
- Realizar medidas de distância da fonte à lente ( $o$ ) e da imagem à lente ( $i$ ) para, pelo menos, 10 diferentes posições
  - Deveremos planejar os valores de “ $o$ ” primeiramente determinando os valores mínimo e máximo em que ainda conseguimos ver uma imagem bem definida no anteparo. Os valores intermediários devem ser tais que os inversos ( $1/o$ ) e sejam razoavelmente equidistantes.
  - Para cada valor de  $o$ , obter o valor de  $i$  correspondente. Isso é feito pela focalização da imagem no anteparo
  - Avaliar, em cada caso, com critérios bem definidos, qual é a incerteza associada a cada medida de distância da imagem à lente. Uma maneira é variar a posição da lente e depois do anteparo para avaliar a incerteza nos valores.
  - Fazer uma tabela de  $1/i$  e  $1/o$ . Graficar  $1/i$  vs.  $1/o$  com o auxílio da planilha fornecida pelo professor

*Gráfico*



## Atividade 2a: Gráfico simples de $1/i$ vs. $1/o$

- Gráfico de  $1/i$  vs.  $1/o$



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{i} + \frac{1}{o}$$



$$\frac{1}{i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{o}$$

$$y = A - x$$

Idealmente os pontos devem ficar alinhados, em uma reta suporte. Este gráfico ajudará a avaliar rapidamente se os dados foram medidos corretamente. Caso necessário repita as medidas ou meça mais pontos.

## Atividades 2b: Obter a distância focal e a incerteza usando métodos estatísticos

- Calcular a distância focal da lente para cada caso, utilizando a equação de Gauss

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{i} + \frac{1}{o} \quad \text{ou} \quad f = \frac{io}{i+o}$$

- Deduzir a expressão para a incerteza na distância focal a partir da equação de derivadas parciais (*para o relatório*)
- Calcule as incertezas da distância focal

## Propagação de incertezas

Se uma grandeza  $w$  é função de outras grandezas,  $x, y, z$  :

$$w = w(x, y, z, \dots)$$

As grandezas  $x, y, z, \dots$  São admitidas como grandezas experimentais sendo  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \dots$  as incertezas padrões correspondentes:

$$x \rightarrow \sigma_x \quad y \rightarrow \sigma_y \quad z \rightarrow \sigma_z$$

Se os erros nas variáveis  $x, y, z, \dots$  são *completamente independentes* entre si, a incerteza padrão em  $w$  é, em primeira aproximação

$$\sigma_w^2 = \left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y}\right)^2 \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z}\right)^2 \sigma_z^2 + \dots$$

## Incerteza

- A incerteza para  $f$  será dada pela expressão

$$\sigma_f = f \sqrt{\left(\frac{f}{o} \frac{\sigma_o}{o}\right)^2 + \left(\frac{f}{i} \frac{\sigma_i}{i}\right)^2}$$

Demonstração deve constar no relatório final!!!

## Atividade 2b

- Calcule a distância focal e o erro associado para cada par  $i \pm \sigma_i, o \pm \sigma_o$
- Calcule o valor médio da distância focal a partir da distância focal obtida em cada medida individual (usando a fórmula para a média ponderada)
- Compare esse valor com os valores individuais. Todos os valores individuais são compatíveis com o valor médio obtido?

$$Z = \frac{|y_i - y_m|}{\sqrt{(\sigma_{yi})^2 + (\sigma_{ym})^2}} \leq 3$$



# Média Ponderada

Valor Médio:

$$y = \frac{\sum_{i=1}^m p_i y_i}{\sum_{i=1}^m p_i}$$

$p_i$  é o peso estatístico

$$p_i = \frac{1}{\sigma_{y_i}^2}$$

Incerteza de  $y$  (media ponderada)

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^m p_i}}$$

Entregar no início da próxima aula!

- Breve introdução ao problema.
- Breve descrição do modelo teórico aplicado ao problema
- Demonstração da fórmula da incerteza do foco
- Descrição detalhada do aparato experimental e procedimento de medida. Descrever as formas de análise dos dados. Demonstrar a fórmula para erro na distância focal.
- Apresentar os valores de distancia focais obtidos pela estimativa rápida.
- Tabelas dos dados primários, isto é, DISTÂNCIA O, DISTÂNCIA I, INCERTEZAS, INCERTEZAS RELATIVAS, NÚMERO DAS LENTES
- Lente Convergente:
  - Tabela com os valores de  $1/i$  e  $1/o$  calculados + incertezas.
  - O gráfico de  $1/i$  vs.  $1/o$  e os valores de  $f$  obtido pelo gráfico da planilha eletrônica
  - Tabela com os valores de  $f$  calculados + incertezas calculados para cada par  $1/i$  e  $1/o$ . Obter o valor e incerteza médios de  $f$  pela média ponderada além da incerteza relativa. Avaliar a compatibilidade para 3 sigmas entre os valores de  $f$  e o valor médio.
- Discuta os resultados, argumentando sobre os valores e resultados obtidos em cada caso, tentando comparar os valores obtidos pelos diferentes métodos.
- Escreva uma conclusão para o experimento. Argumente as dificuldades experimentais e como elas afetaram os resultados. Apresente sugestões para melhoria do experimento e conclua sobre principais resultados obtidos nesta experiência
- O guia de aula deve ser anexado a este relatório final.

OBS: Relatórios, tabelas, etc podem ser feitos em editores de texto (Word, Latex, etc). Cálculos e os gráficos podem ser feitos em Excel ou em outro software que soube utilizar.

Mãos a obra!!!



<https://bit.ly/2k8m9jM>