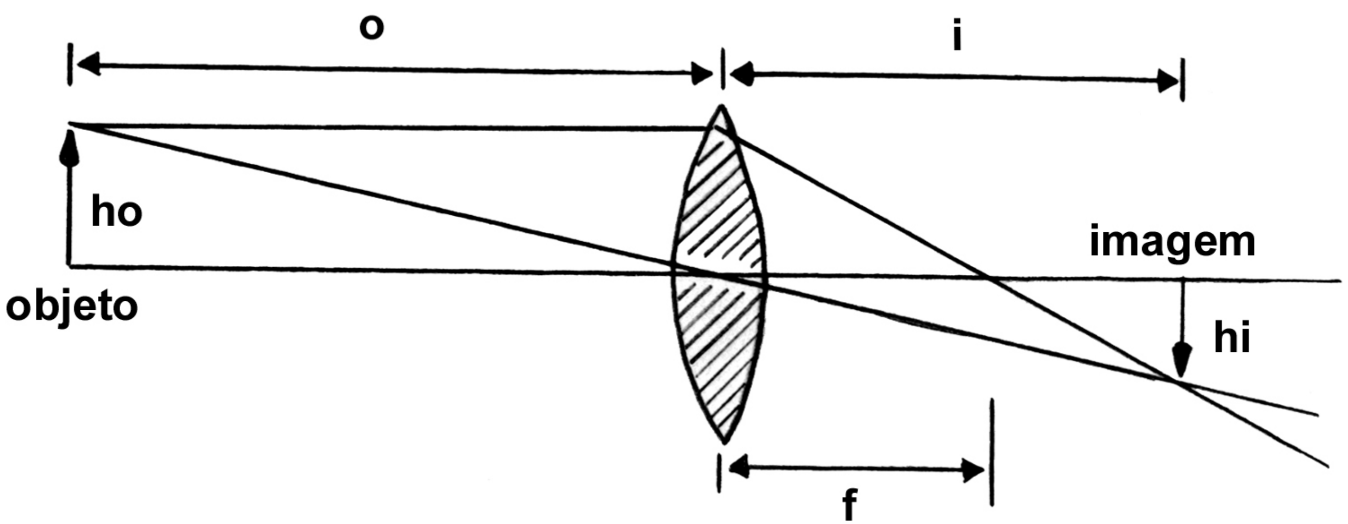
Física Experimental IV - 7ª aula
http://www.dfn.if.usp.br/~suaide/

Alexandre Suaide
Ed. Oscar Sala

sala 246
ramal 7072

Semana passada: medir o foco de uma lente conv e div.

- Objeto e imagem de uma lente
- Distância objeto (o) é a distância entre a posição do objeto e o centro da lente
- Distância imagem (i) é a distância entre a posição da imagem e o centro da lente



Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

Lente delgada

- Do método matricial

$$\left(o-\frac{io}{f}+i\right)\varphi_1=0 \qquad \boxed{\frac{1}{f}=\frac{1}{i}+\frac{1}{o}}$$

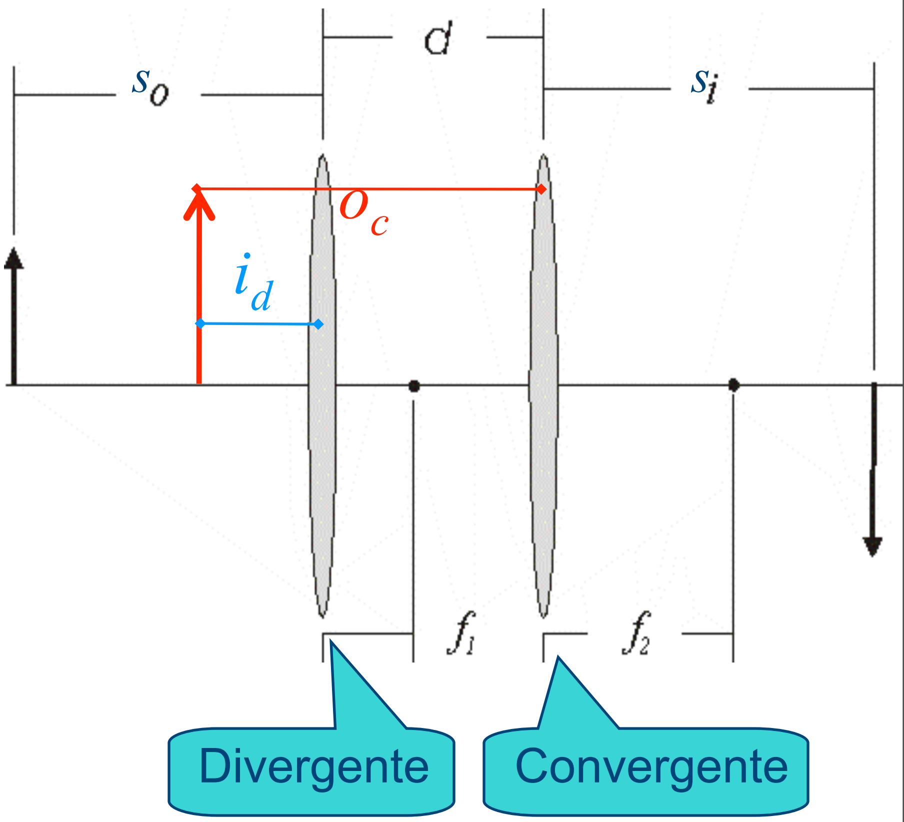
- Equação de Gauss para lentes delgadas

- As lentes utilizadas podem ser consideradas delgadas?

No caso da lente divergente Montar um sistema de 2 lentes

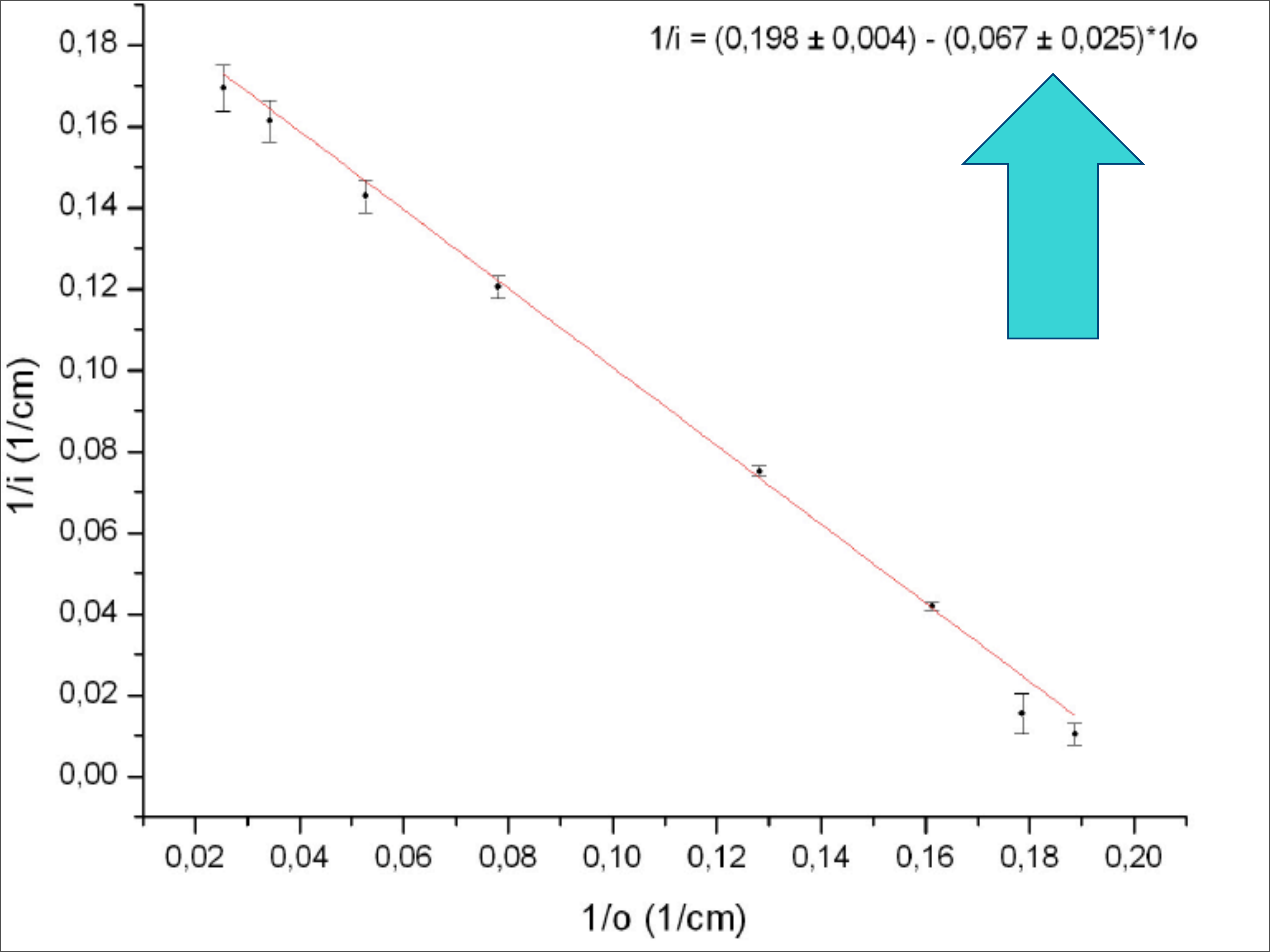
Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

- Sabendo s_i e o valor da distância focal da lente convergente, calcular a posição do objeto (o_c) para a lente convergente
- Sabendo o_c e a distância entre as lentes, calcular a posição da imagem (i_d) da lente divergente

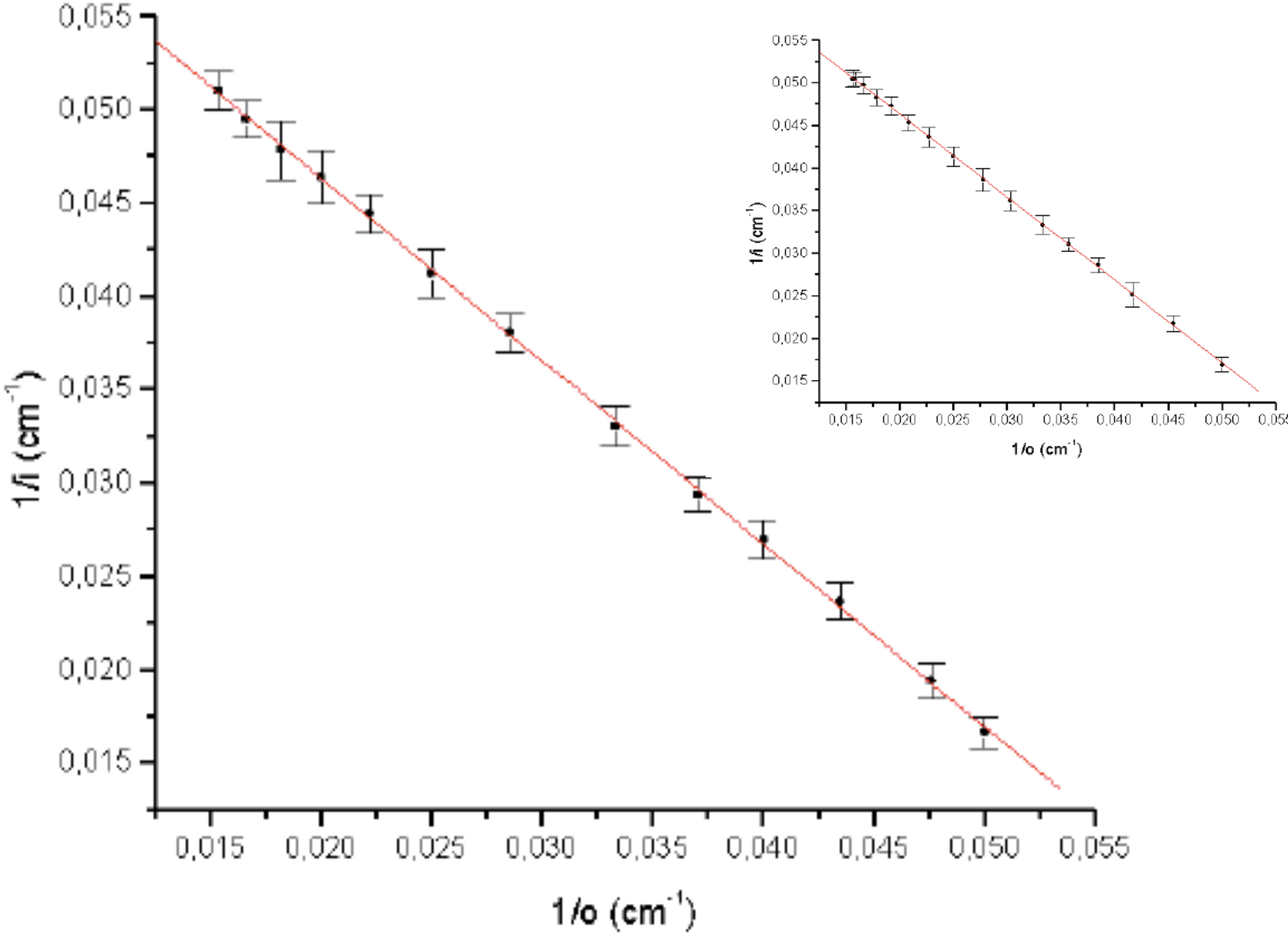


Vários métodos!

- Método gráfico
  - Fazer gráfico de 1/i vs. 1/o e obter o valor da distância focal
  - Fazer o mesmo para a lente divergente, lembrando que a posição da imagem é calculada de forma indireta
  - Lembrar de que a precisão nas medidas de posição nem sempre são iguais a da régua

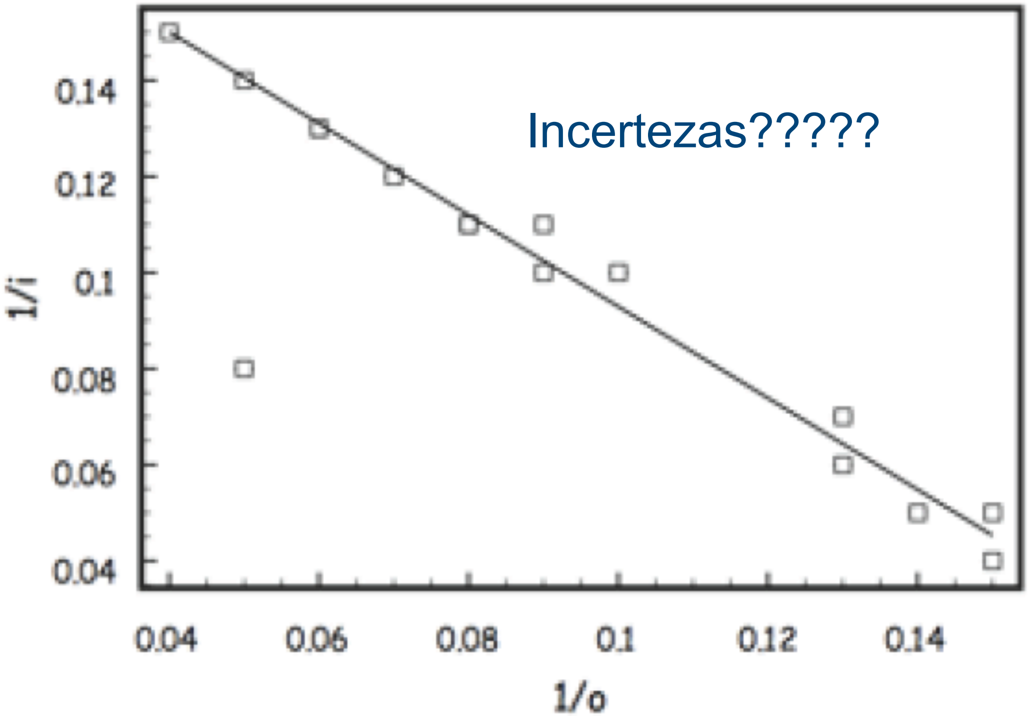


1/i = (0,198 ± 0,004) - (0,067 ± 0,025)*1/o
1/i (1/cm)
0,00
0,02
0,04
0,06
0,08
0,10
0,12
0,14
0,16
0,18
0,02
0,04
0,06
0,08
0,10
0,12
0,14
0,16
0,18
0,20
1/o (1/cm)



Medimos o foco da lente pelo outro lado, para verificarmos se ambos os lados são equivalentes:

Pelo gráfico obtemos $1/f = 0{,}6599(10)$, e $f = 15{,}154(24)$.



Incertezas?????

Figura 1: Ajuste dos dados para a lente conver

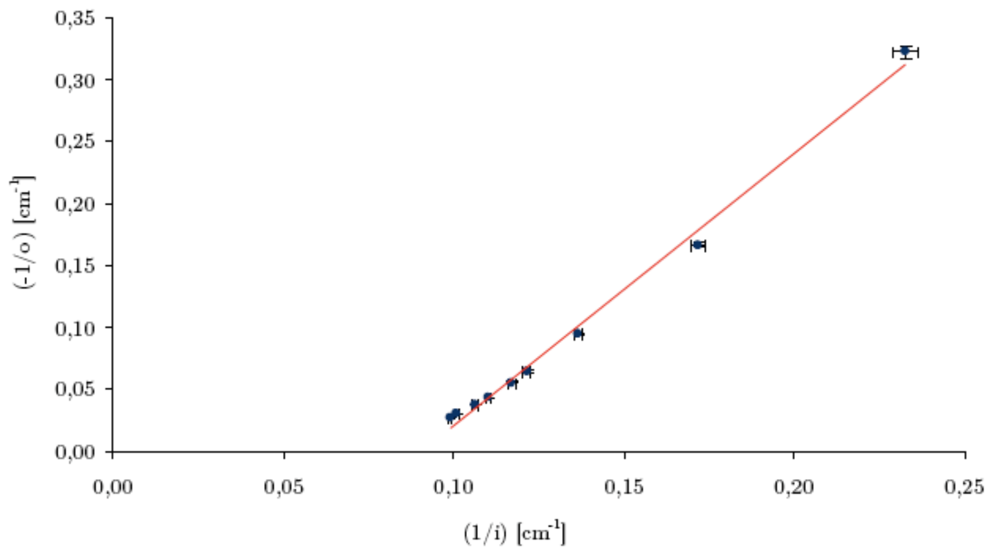
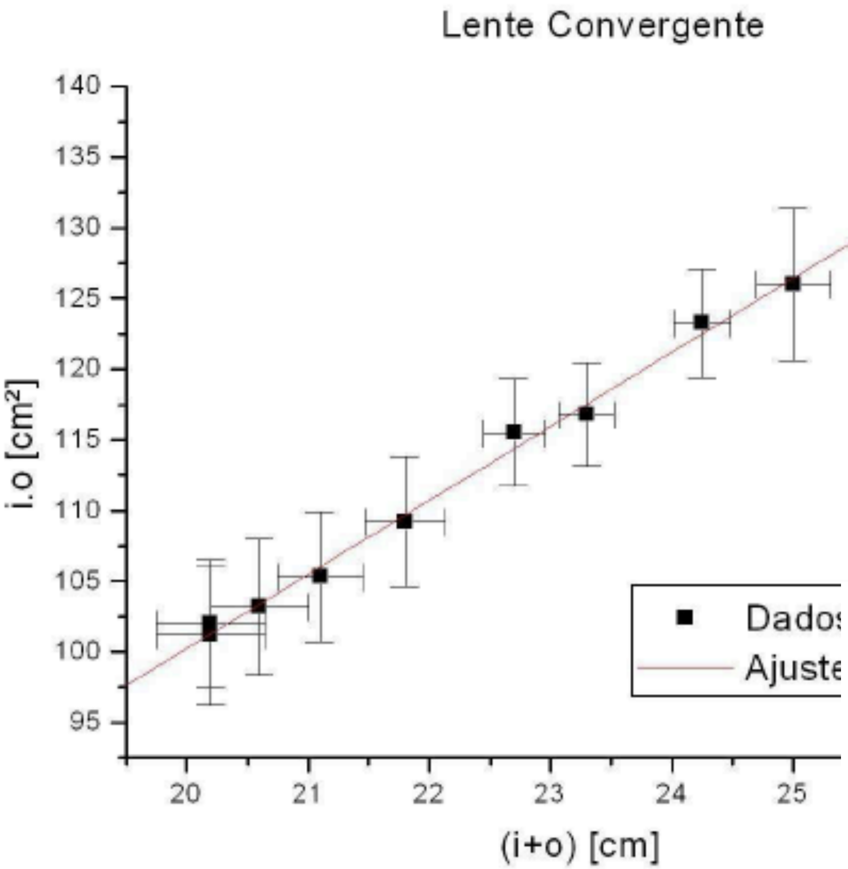
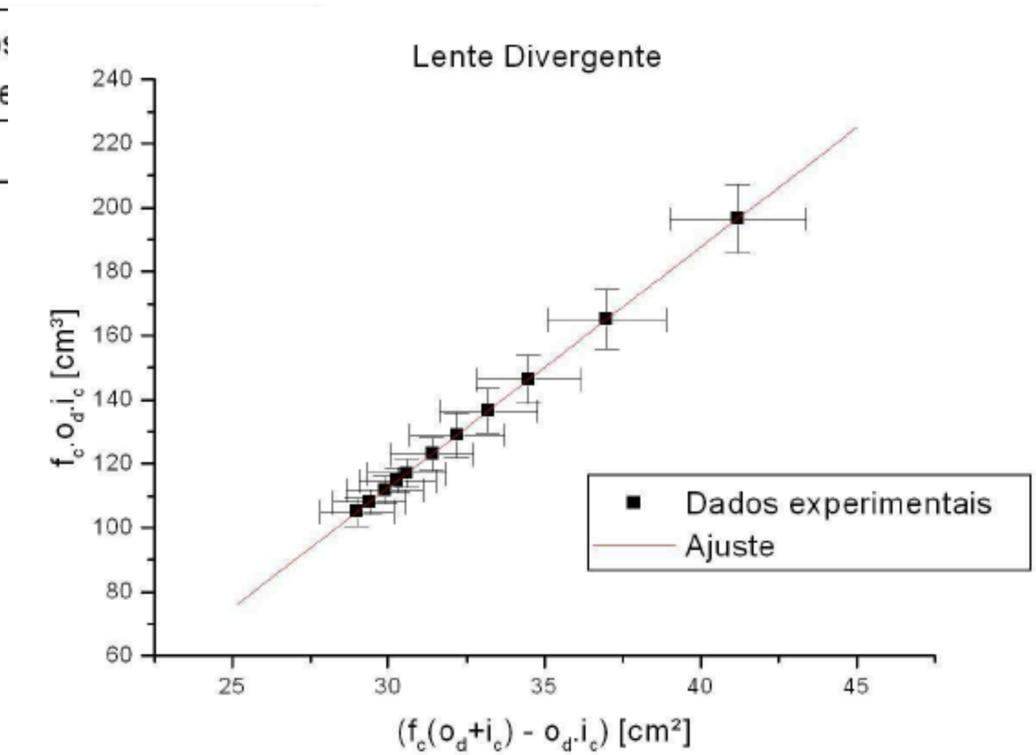


Figura 1.1: Gráfico de $-1/o$ por $1/i$, para a lente divergente.

Fiquem atentos a co-variâncias!!!





Alexandre Su

Vários métodos!

- Métodos estatísticos
  - Mede-se, várias vezes, a posição da imagem.
    - Calcula-se média e desvio padrão
    - Qual a incerteza do foco médio?
  - Que tipo de média calcular?
  - Quantas vezes medir?
  - A amostragem possui vícios? Podemos fazer uma análise estatística simples?

1/o (cm^{-1})	1/i (cm^{-1})	f = $(1/o + 1/i)^{-1}$ (cm)
0,045	0,019	15,632
0,037	0,027	15,556
0,031	0,033	15,510
0,029	0,035	15,504
0,026	0,038	15,578
0,025	0,040	15,498
0,024	0,041	15,514
0,023	0,042	15,529
0,022	0,042	15,598
0,019	0,045	15,656
0,016	0,048	15,687
0,014	0,050	15,713
0,012	0,051	15,819
0,011	0,053	15,748
0,010	0,053	15,874
0,009	0,054	15,877
0,008	0,054	15,989
Foco médio		**15,66**
Desvio padrão da média		**0,04**

Tabela 1. Dados relativos à lente convergente. A distância do

milimetrada, fixou-se a posição do anteparo e do objeto. Mexia-se a lente até que a imagem ficasse focalizada. Repetiu-se esse processo 10 vezes, anotando-se a posição da lente convergente. Fazendo-se a média dos valores obteve-se 119,54 ± 0,26cm para a posição da lente. Como o anteparo estava fixo em 6,00 ± 0,05cm e o objeto fixo em 130,00 ± 0,05cm, obtém-se que a distância do objeto até a lente é de 10,46 ± 0,26cm e a distância da imagem até a lente é de 113,54 ± 0,26cm. Utilizando a fórmula (2) obtém-se para a distância focal da lente convergente o valor 9,58 ± 0,22cm.

Primeiramente trabalhamos com a lente convergente unicamente, variamos a distância da fonte ao anteparo e da lente à esse, de modo que a imagem estivesse sempre nítida. Medímos então essas distâncias, da fonte à lente e da lente ao anteparo. Repetimos o método algumas vezes de modo que obtivémos 20 medidas. Com esses dados calculamos então o valor do foco da lente supondo em primeira aproximação que esta pudesse ser tratada como uma lente delgada e portanto seu foco é dado por 1:

$$f = \left(\frac{1}{p} + \frac{1}{p'}\right)^{-1} \qquad (1)$$

Calculamos então a média dos valores obtidos para o foco e seu desvio padrão, que foi considerado como a incerteza final, uma vez que a incerteza estatística é muito maior que a experimental. Assim, achamos $f = 5,107cm \pm 0,048cm$.

3 ou menos medidas
O Que é o desvio padrão?

imagem no anteparo. Foram tomadas três medidas dessa distância variando a lente convergente num intervalo de 10 cm. Através da Equação 1 foram calculadas as distâncias focais (f) para cada medida.

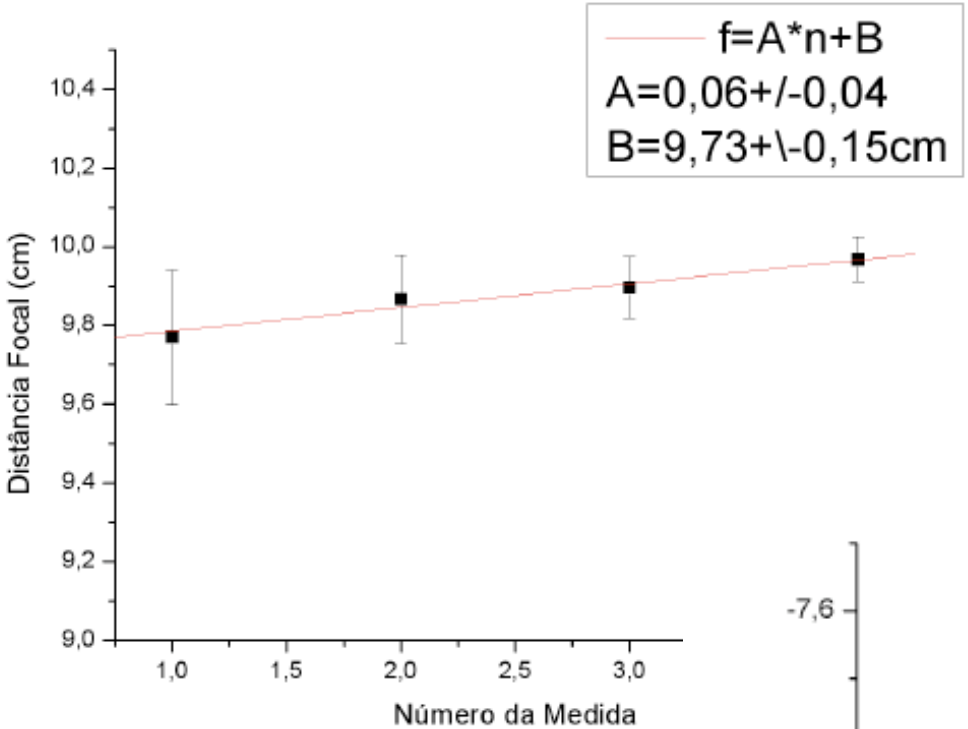
$$\frac{1}{f}=\frac{1}{i}+\frac{1}{o} \quad \textit{(Equação 1)}$$

lex (2008)

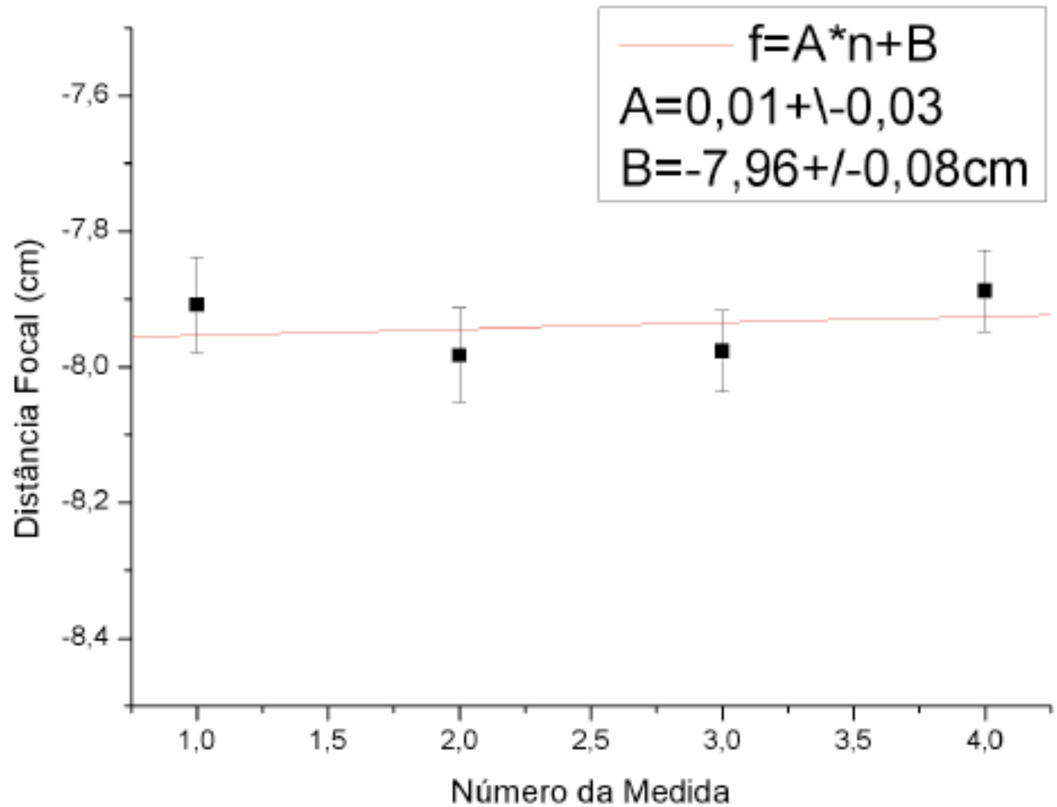
O mesmo processo foi repetido três vezes, variando a distância entre a imagem e a lente e novamente fazendo várias medidas para a determinação da posição na qual a imagem refletida no anteparo ficava melhor focalizada.

Com isso foram obtidos três valores para o foco, compatíveis entre si (a incerteza de cada um estimada a partir do desvio padrão dos valores), e foi calculada a média entre os mesmos para obter o valor final, sendo que o foco foi calculado através da lei de Gauss para lentes delgadas (supondo a lente como sendo delgada):

Média simples ou média ponderada



Tendências nos dados



No caso da lente espessa...

- Uma conseqüência desta matriz de transformação é que:

$$\frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) + \frac{(n-1)^2}{n}\frac{t}{R_1 R_2}$$

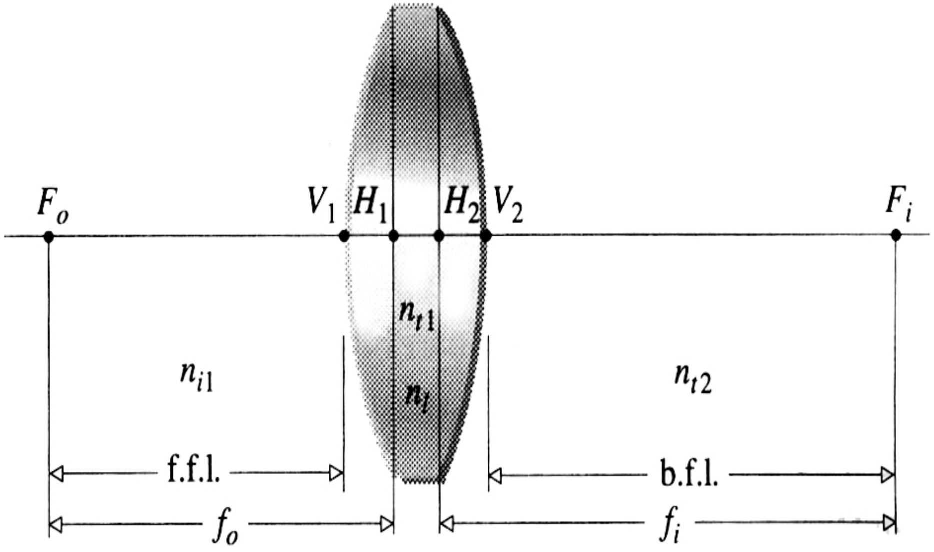
- Denominada equação do fabricante de lentes

No caso da lente espessa...

- E que os planos principais da lente são dados por:

$$H_1 = \frac{t}{n\left(1 + \frac{P_1}{P_2} - t\frac{P_1}{n}\right)}$$

$$H_2 = \frac{t}{n\left(1 + \frac{P_2}{P_1} - t\frac{P_2}{n}\right)}$$



Critérios!

- O que é uma lente delgada?
- Espessura significativa → influi nos resultados
- Como definir os critérios e comparar com o que?
  - Medida dos planos principais
    - Ser “não nulo” significa que a lente não pode ser considerada delgada?

Como visto em (1), os valores de H_1 e H_2 definem a compatibilidade de uma lente como delgada. Com os dados obtidos na experiência, os valores destas grandezas estão na tabela 2, sendo n o índice de refração do meio vítreo da lente.

	Convergente	Divergente
f	$9,73 \pm 0,15$	$7,96 \pm 0,08$
H_1	$0,20 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,01$
H_2	$0,20 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,01$
n	$2,010 \pm 0,015$	$2,000 \pm 0,012$

Tabela 2: Valores obtidos para as grandezas de interesse da experiência.

$$H_1 = H_2 = 0,34373cm \pm 0,00018cm \tag{7}$$

Portanto, vemos que os planos não são compatíveis com o plano central, no qual o valor de H deveria ser compatível com o zero[2]. Essa compatibilidade mostraria que a aproximação por uma lente delgada seria uma ótima

	Lente Convergente	Lente Divergente
H_1	$5,805 \pm 0,0557mm$	$1,016 \pm 0,002mm$
H_2	$5,805 \pm 0,0557mm$	$1,016 \pm 0,002mm$

Tabela 2: Valores de H_1 e H_2 das lentes.

No caso da lente convergente, se compararmos o valor de $H_1 = H_2$ com o raio de curvatura da lente temos que $\frac{H_1=H_2}{R_C} \simeq 0,1$; ou seja, utilizar-se a hipótese de que a lente era delgada é uma aproximação razoável mas não muito boa.

Já no caso da lente divergente, comparando-se os valores de $H_1 = H_2$ com o raio de curvatura da lente temos: $\frac{H_1=H_2}{R_C} \simeq 0,01$, o que já nos indica que a hipótese de a lente ser delgada é um pouco melhor do que no caso da convergente.

O Índice de refração, Raios de curvatura, etc.

Esse cálculo foi feito supondo uma lente simétrica, na qual $R_1 = -R_2$, e supondo n=1,5 [1] (índice de difração do vidro).

é um método de cálculo da distância focal para uma lente delgada. O índice de refração do vidro esta entre 1.4 e 1.7, então adotou-se n=1.55 (valor médio) e considerou Sn = 0.15,

	Convegente	Divergente
t	$(1,085 \pm 0,025)$cm	$(3,84 \pm 0,25)$mm
R_1	$(4,82 \pm 0,11)$cm	$(9,45 \pm 0,05)$cm
R_2	$(4,81 \pm 0,11)$cm	$(9,45) \pm 0,05)$cm

Utilizando-se esses valores, e considerando $n_{vidro} = 1,54$ obteve-se $(4,29 \pm 0,09)$cm para a

Experiência II
Óptica Geométrica e Física

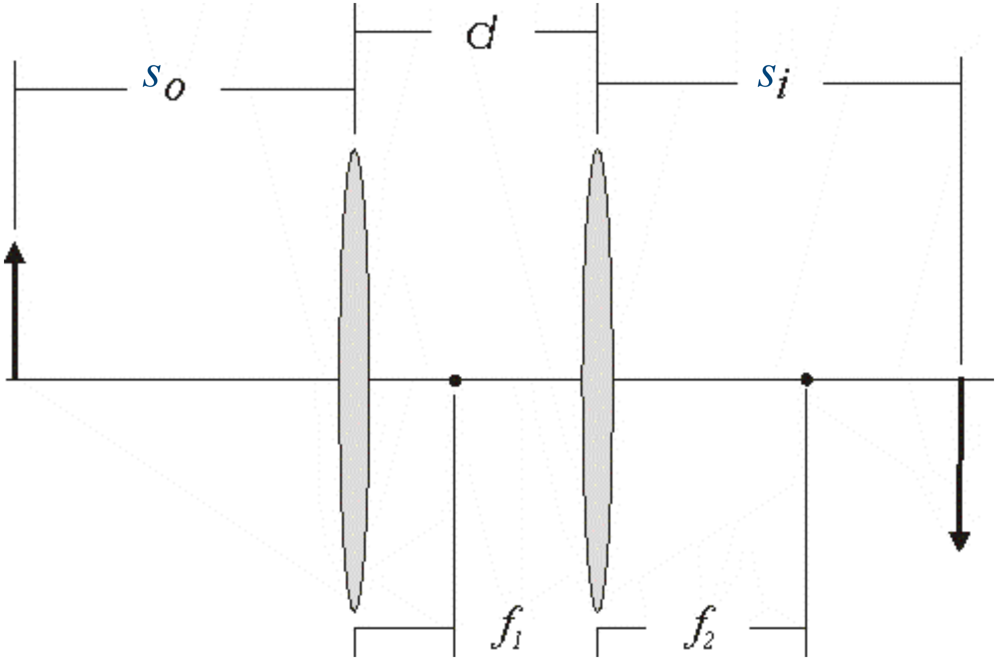
- Objetivos – Estudar alguns fenômenos de óptica física e geométrica
  - Estudo de lentes simples, sistemas de lentes e construção de imagens
  - Interferência e difração
  - Computador óptico
    - Análise de Fourier bi-dimensional
    - Processamento de imagens

Computador óptico
Óptica de Fourier

- Nas próximas semanas iremos estudar processamento de imagens utilizando óptica de Fourier
- Um pré-requisito é ter um feixe de laser de diâmetro de vários mm (20-30 mm)
  - Para incidí-lo sobre o objeto a ser estudado
- Como conseguir um feixe de laser largo e paralelo?

Associação de lentes

- Seja duas lentes de foco f_1 e f_2, separadas de uma distância d.

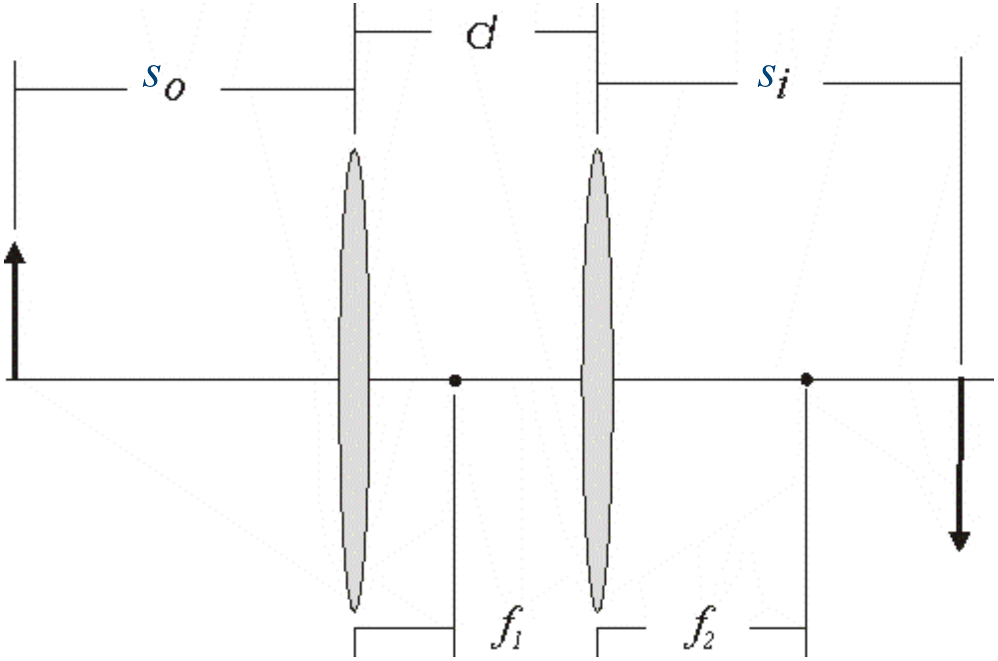


Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

Associação de lentes

$$M = M_{L2\to i}\cdot M_{L2}\cdot M_{L1\to L2}\cdot M_{L1}\cdot M_{o\to L1}$$



Associação de lentes

$$M = M_{L2\to i} \cdot M_{L2} \cdot M_{L1\to L2} \cdot M_{L1} \cdot M_{o\to L1}$$

$$M_{L2\to i} = \begin{pmatrix} 1 & si \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$M_{L2} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$M_{L1\to L2} = \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$M_{L1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$M_{o\to L1} = \begin{pmatrix} 1 & so \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Objetivos da semana

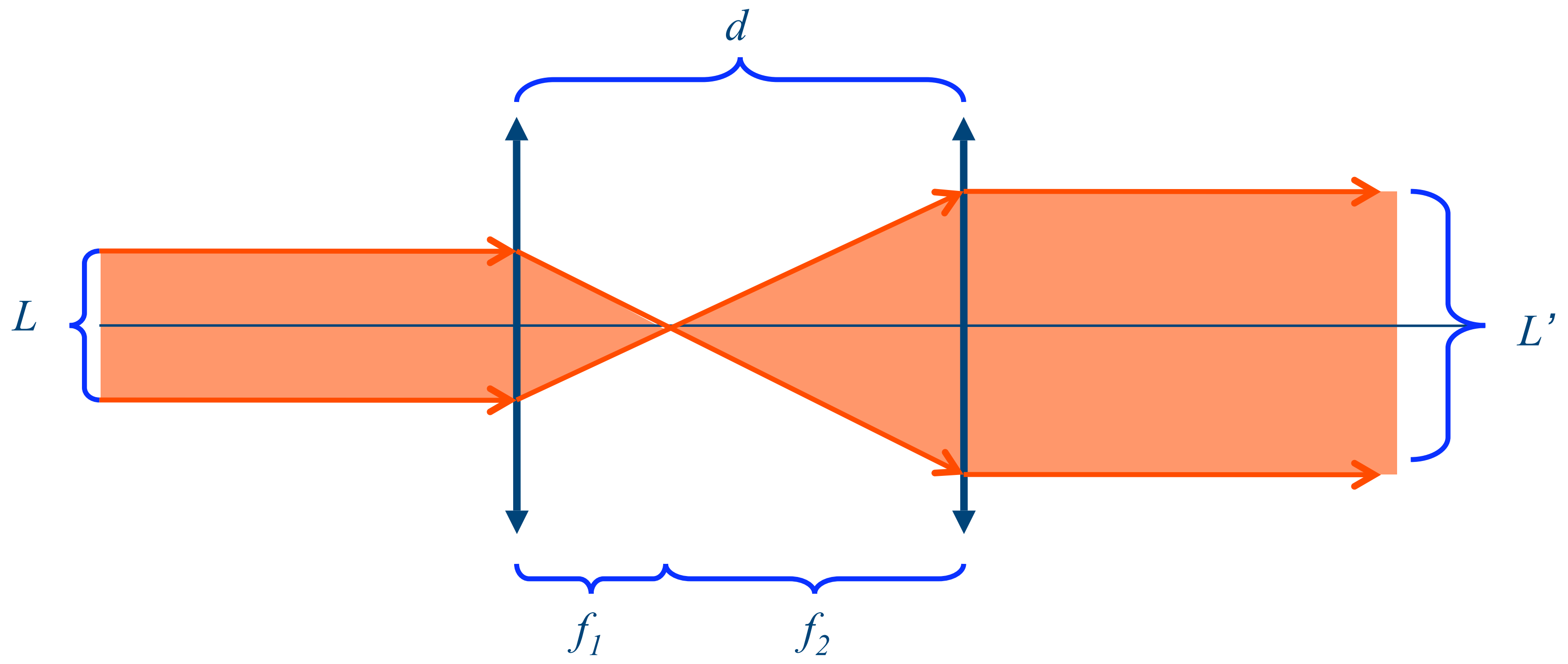
- Construir um sistema para aumentar a seção transversal de um feixe de laser
- Medir a magnificação do sistema
  - Razão entre o diâmetro de saída e o de entrada
- Duas opções
  - Sistema convergente + convergente
  - Sistema divergente + convergente

$$m = \frac{L'}{L}$$

Magnificação do sistema óptico

Objetivos

- Sistema convergente + convergente



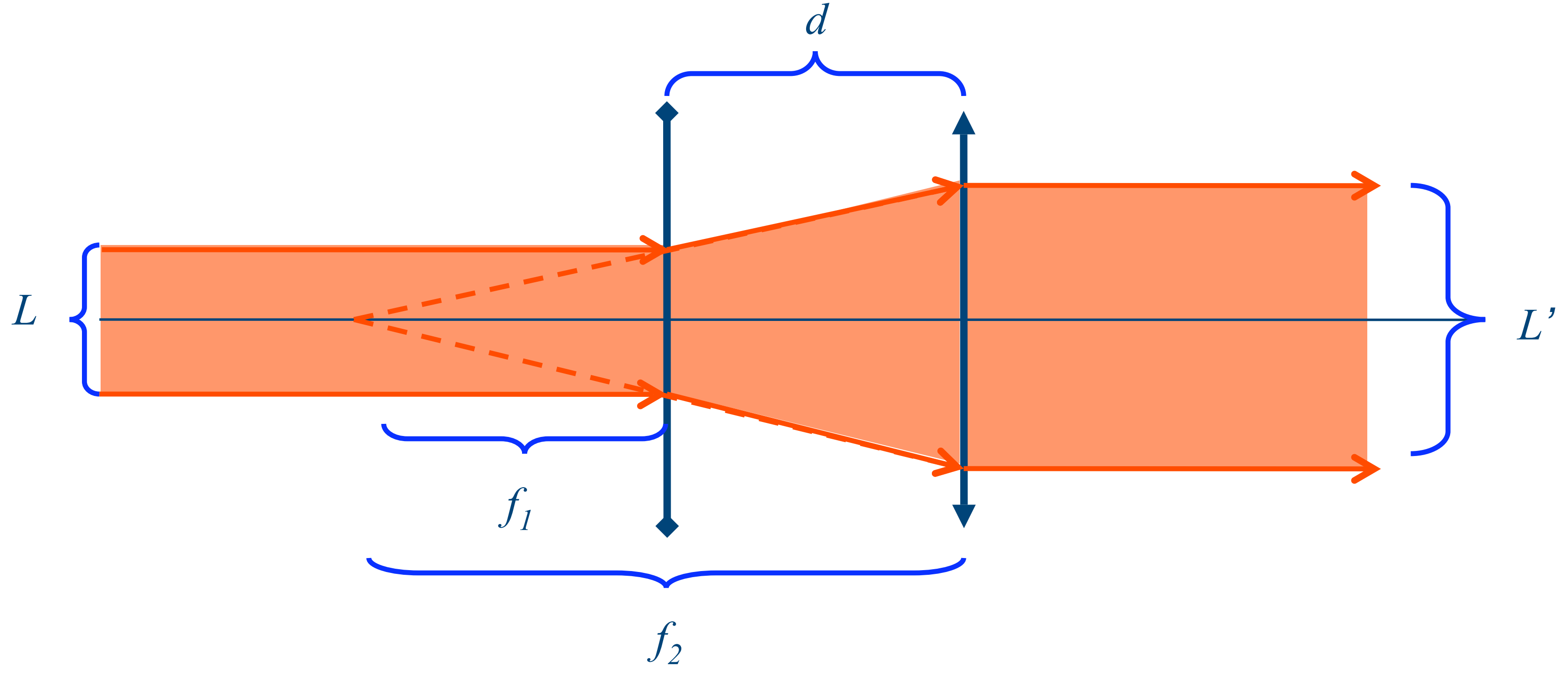
Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

$$m = \frac{L'}{L}$$

Magnificação do sistema óptico

Objetivos

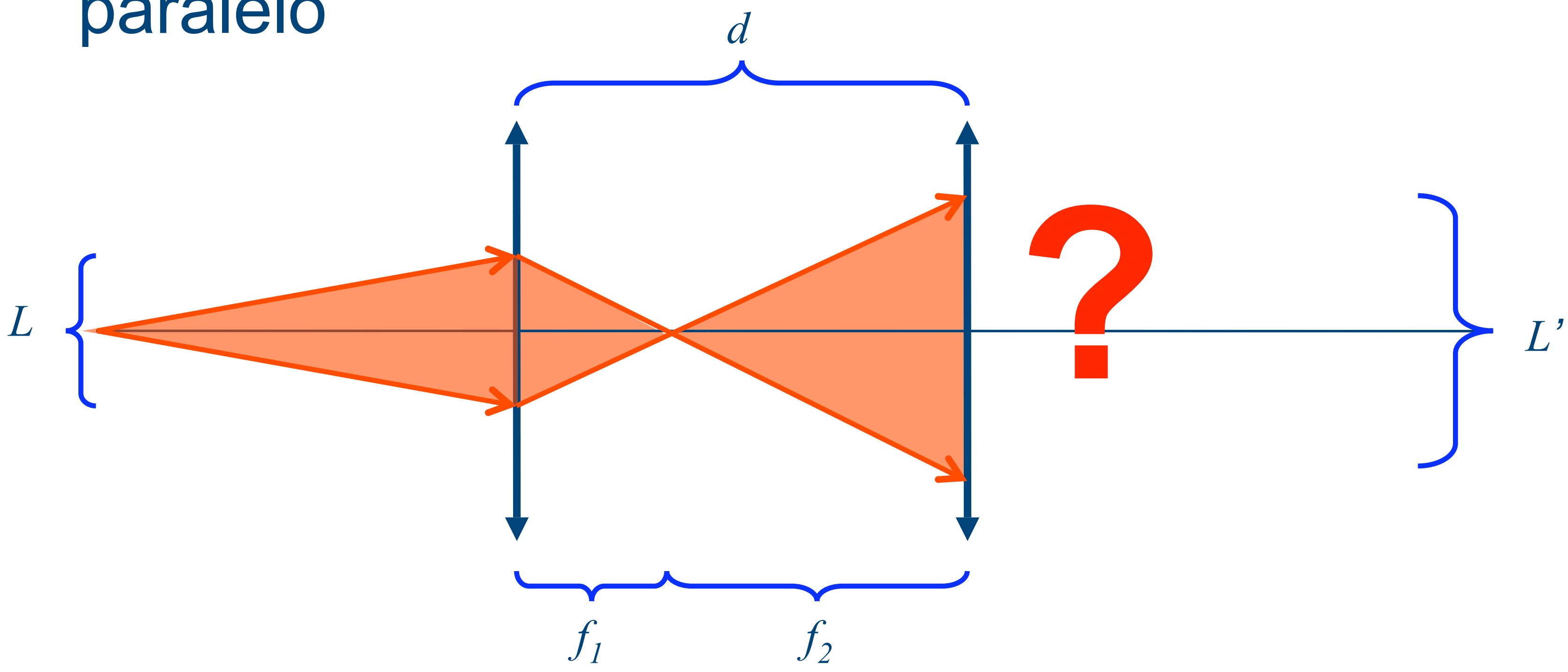
- Sistema divergente + convergente



Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

Problema 1

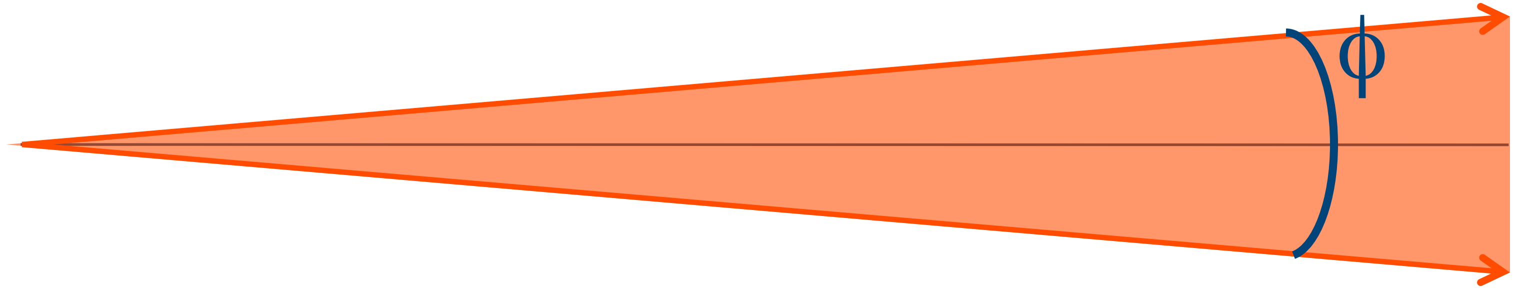
- O que ocorre se o feixe incidente não for paralelo



Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

Divergência de um feixe de laser

- Define-se a divergência como sendo o ângulo de abertura do feixe

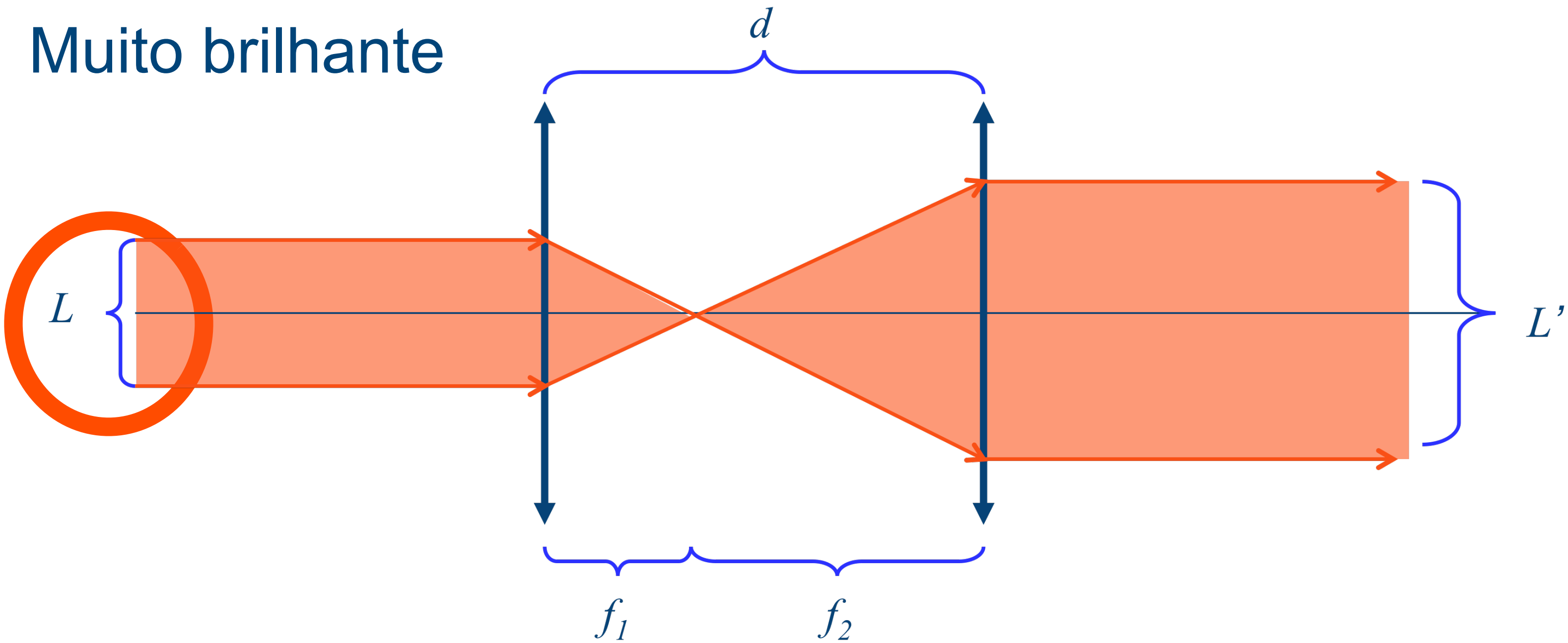


Problema 2

$$m = \frac{L'}{L}$$

Magnificação do sistema óptico

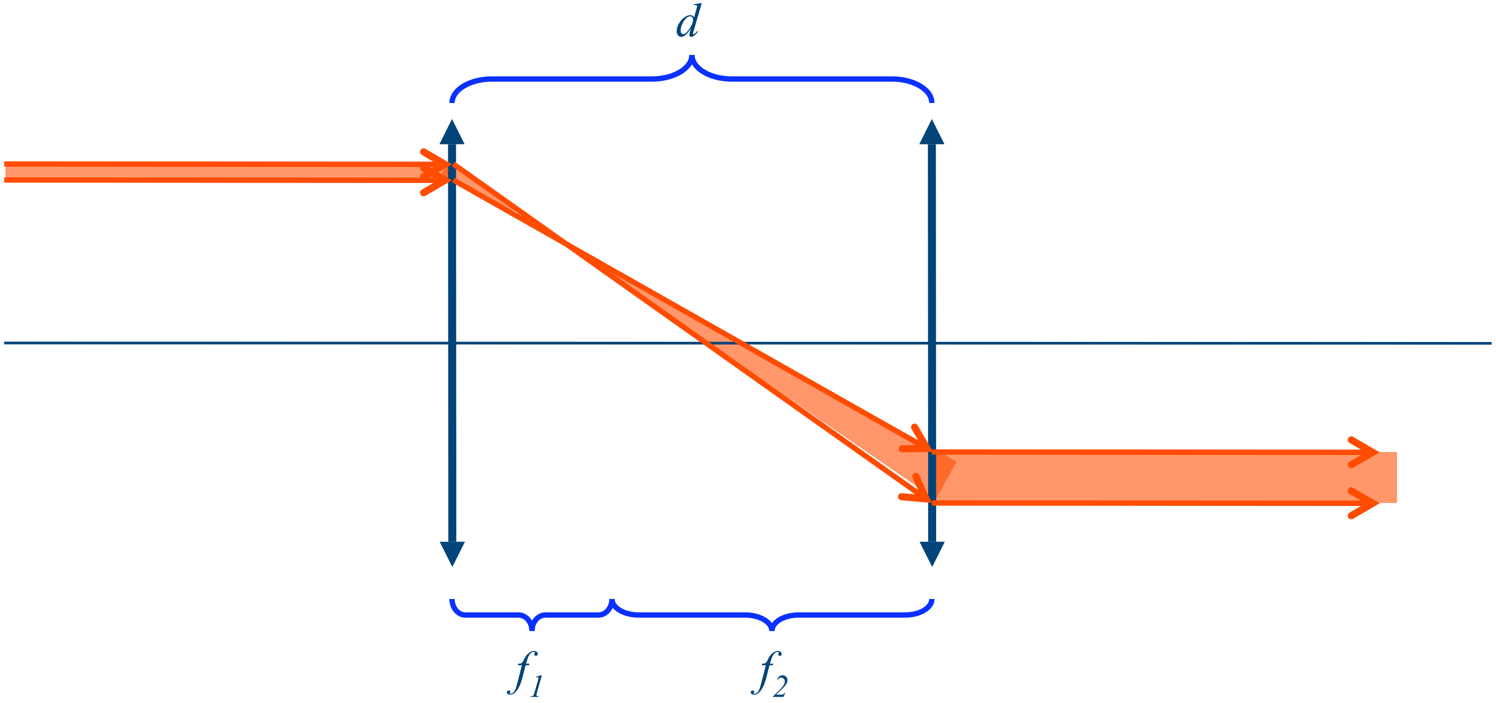
- Medir o diâmetro L' do feixe é até razoável
- Como medir o diâmetro inicial, L, do laser?
  - Laser quase pontual
  - Muito brilhante



Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

A solução

- Tratar o feixe como pontual e fazer medidas fora do eixo óptico

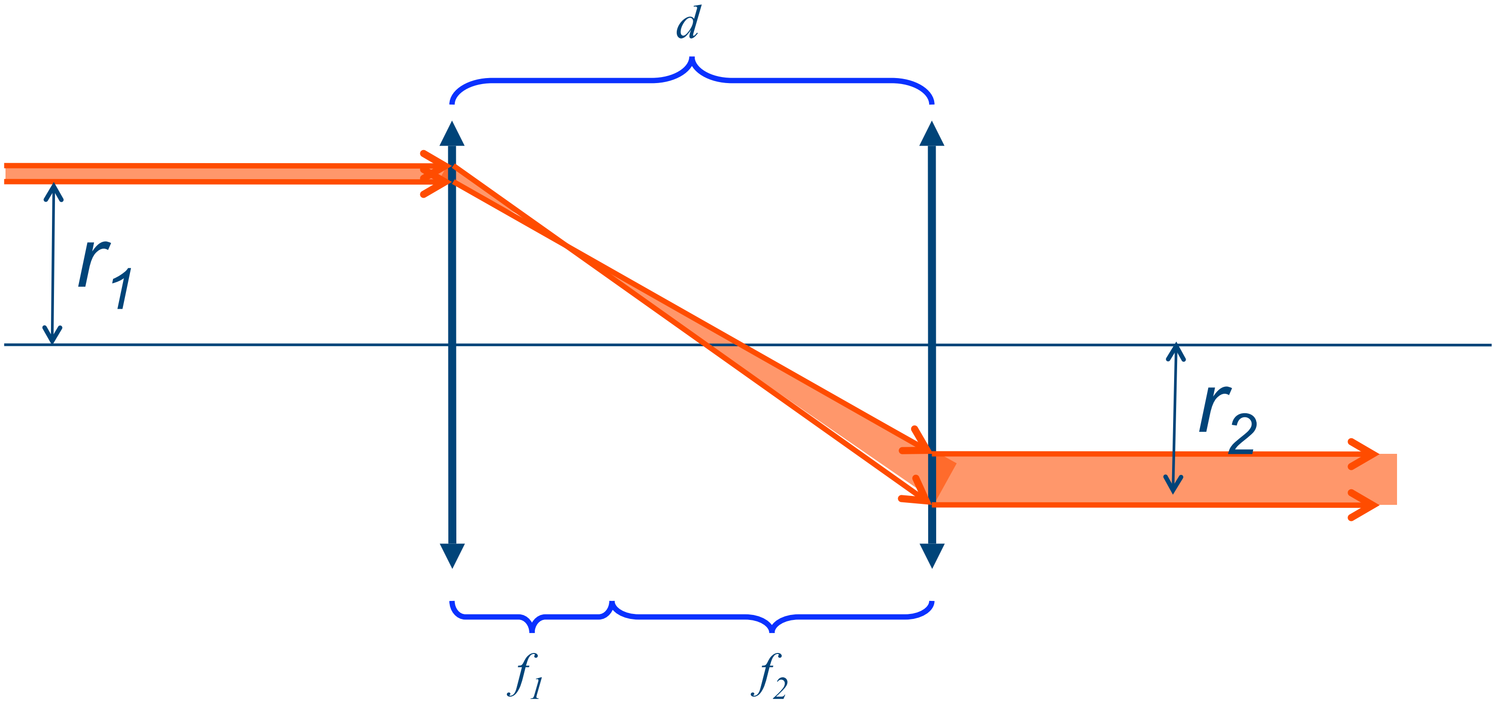


Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

$$m = \frac{L'}{L} = \frac{r_2}{r_1}$$

A solução

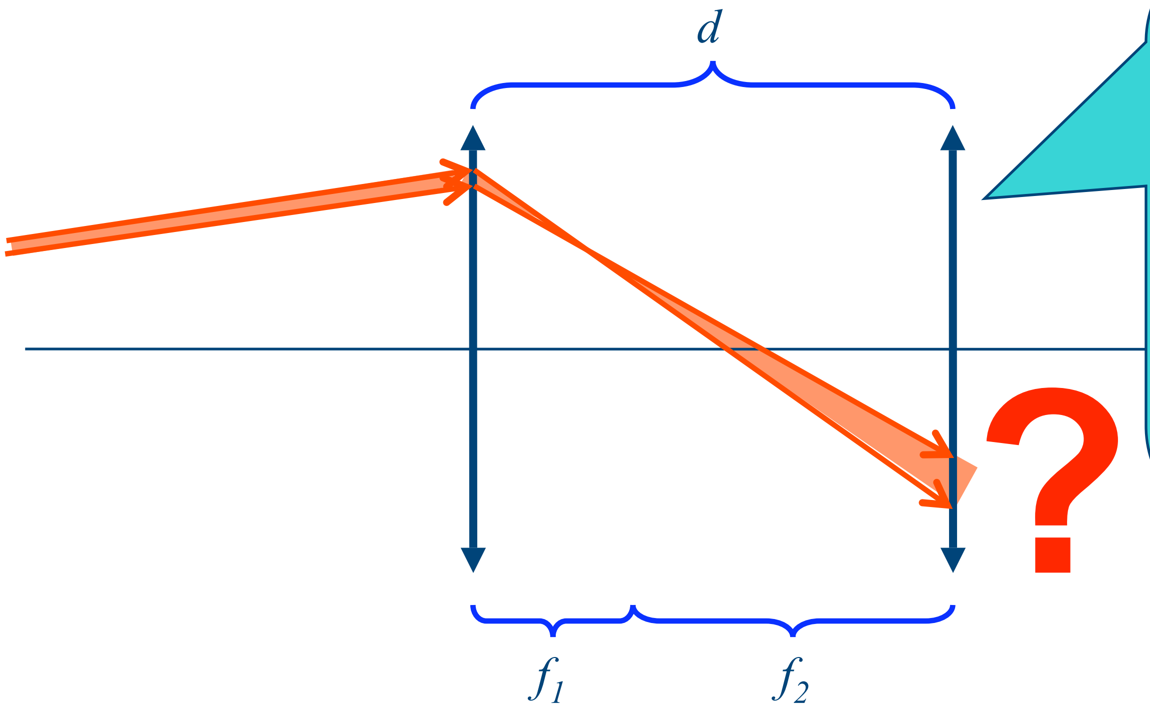
- Em vez de medir os diâmetros, medir os deslocamentos (r_1 e r_2)



Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

Problema 3

- O que ocorre se o feixe incidente não for paralelo ao eixo óptico?



Óptica experimental é complicado porque alinhamento é extremamente importtante.

TOMAR CUIDADO!!!!

Alexandre Suaide, LabFlex (2008)

Tarefas da semana

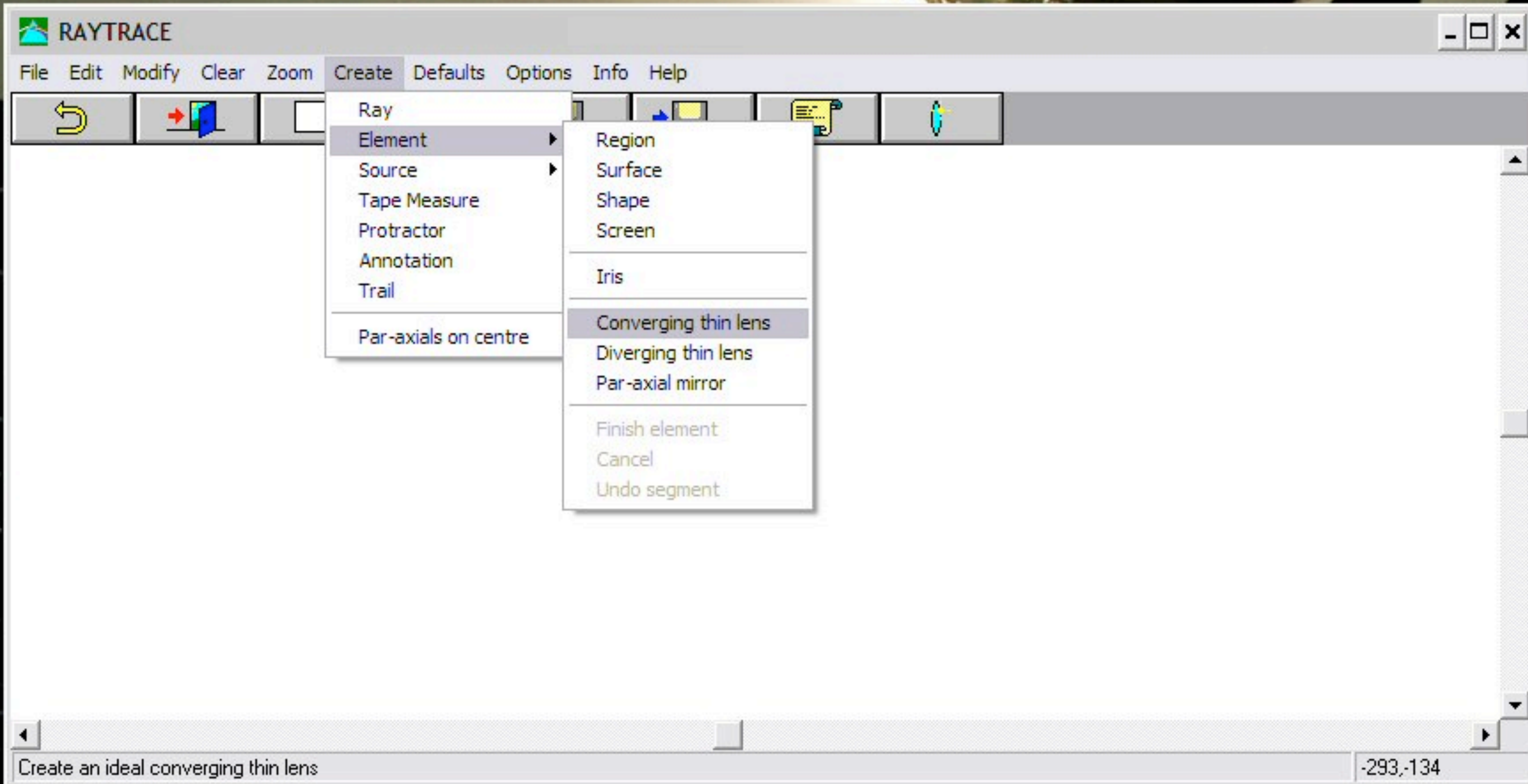
- Montar um sistema óptico de duas lentes
  - C-C ou D-C
  - Distâncias focais das lentes conhecidas
- Qual a distância de separação entre as lentes para que o laser saia paralelo?
  - Medir a divergência do feixe
    - Dica: projetá-lo a uma distância grande
  - Usar método matricial ou raytrace para estimar esta distância

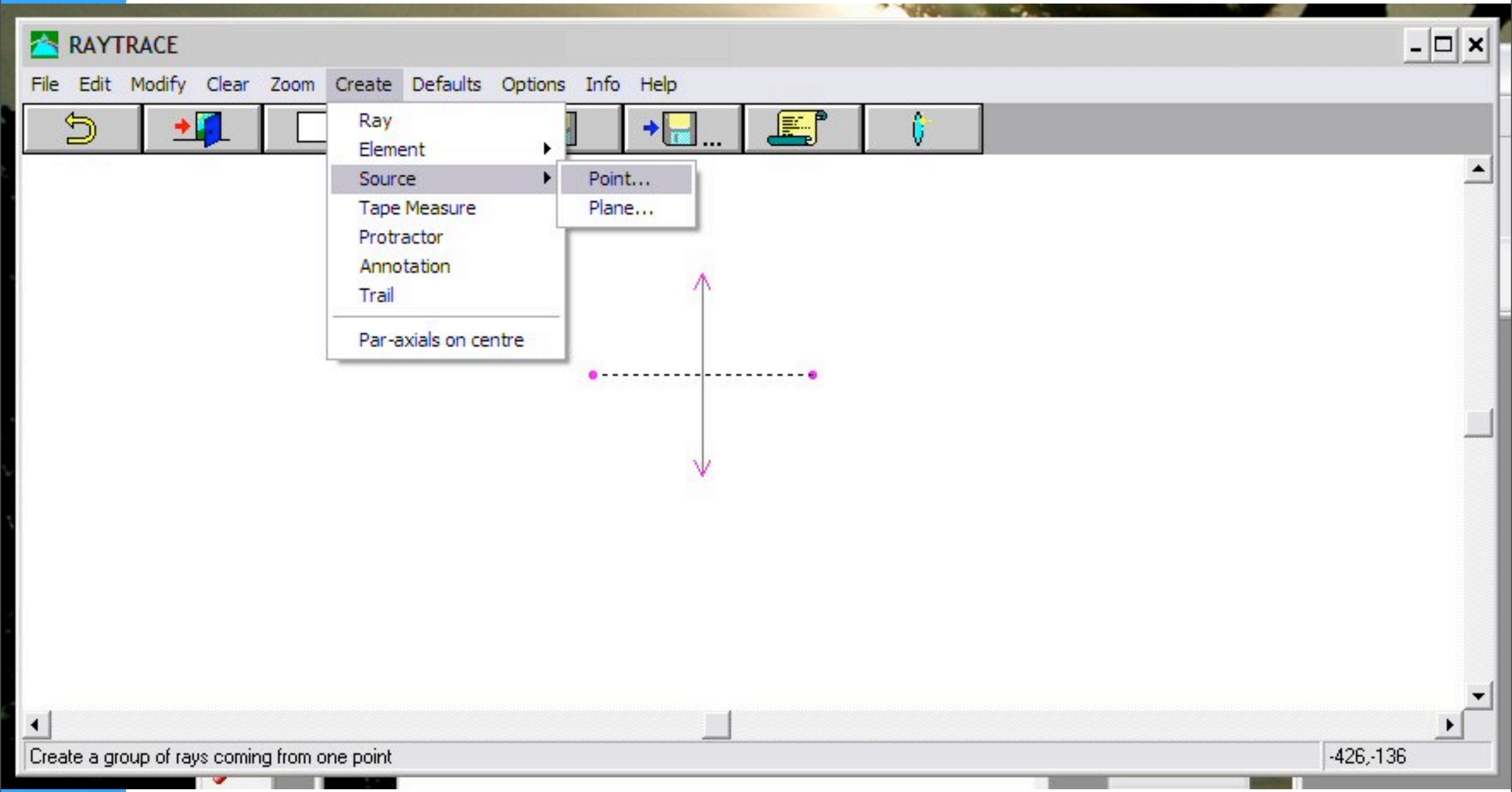
Tarefas da semana

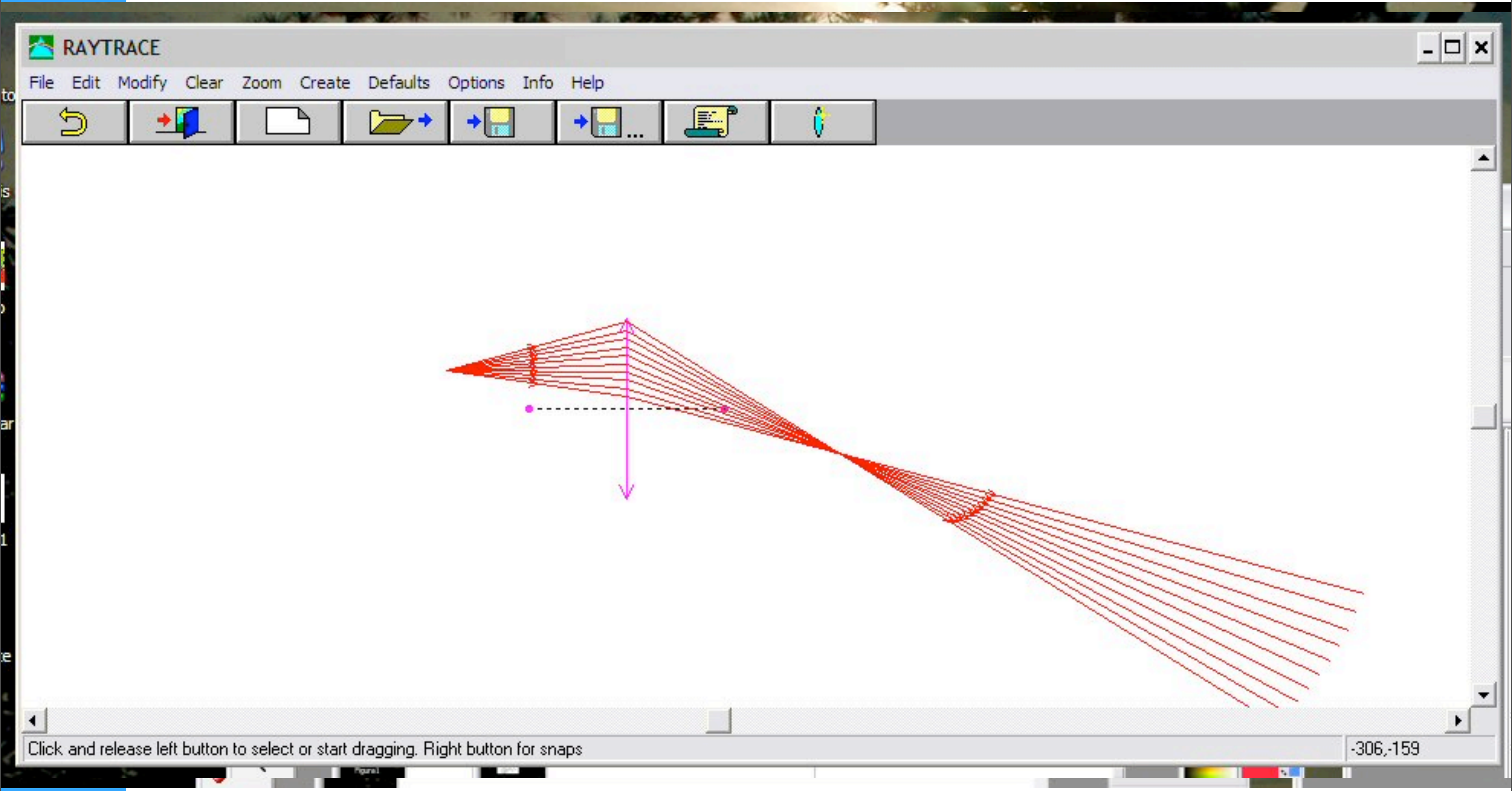
- Medir a magnificação do laser através de medidas de r_1 e r_2.
  - Medir vários valores, apresentá-los de forma apropriada
    - Dica: usar r_1 tanto positivo quanto negativo
  - A magnificação obtida é compatível com o esperado teórico?
    - Dica: usar método matricial ou raytrace
  - Dos valores de r2 e r1 obtidos, o que você pode dizer sobre o alinhamento do seu sistema óptico?

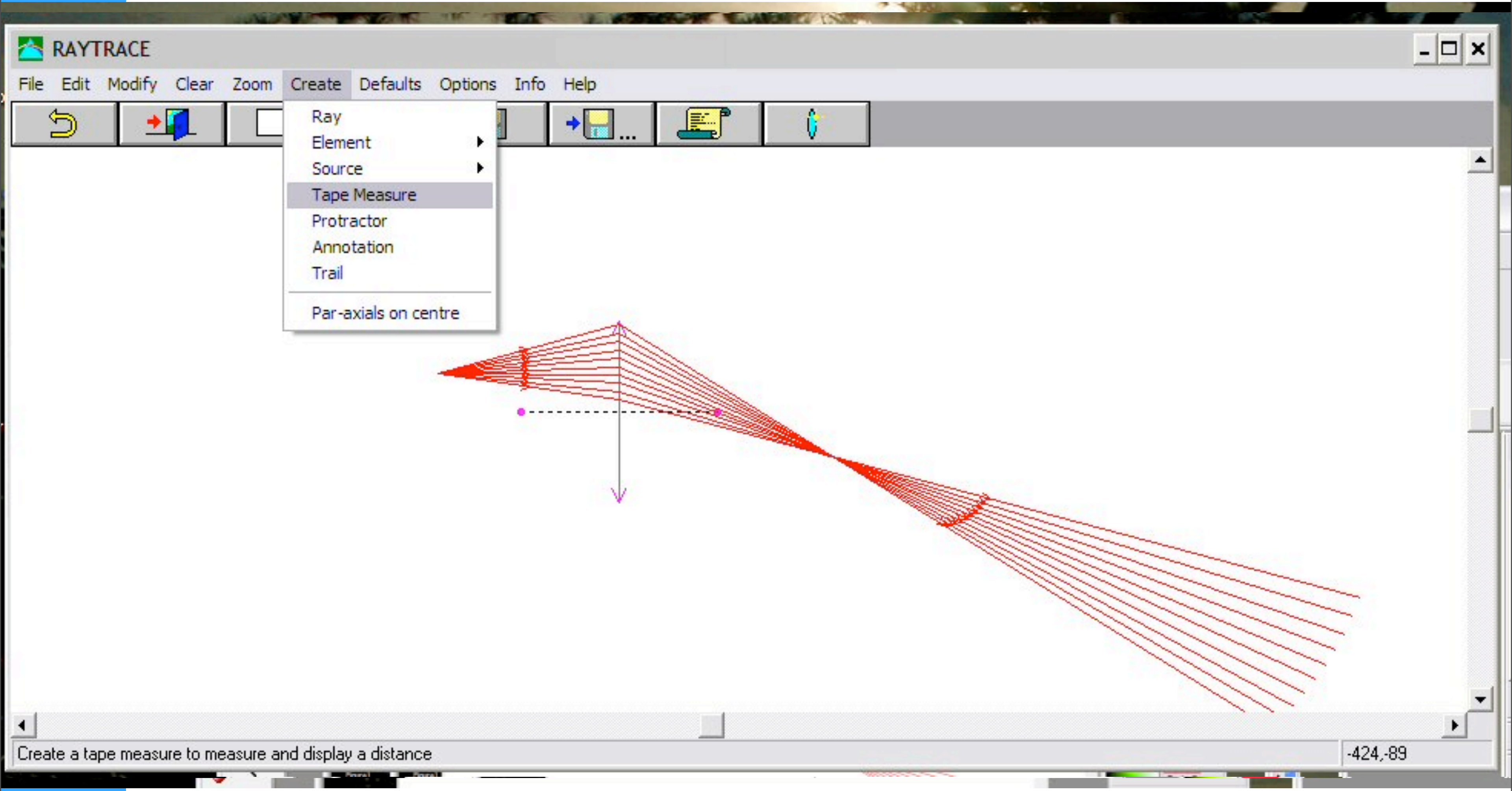
Raytrace

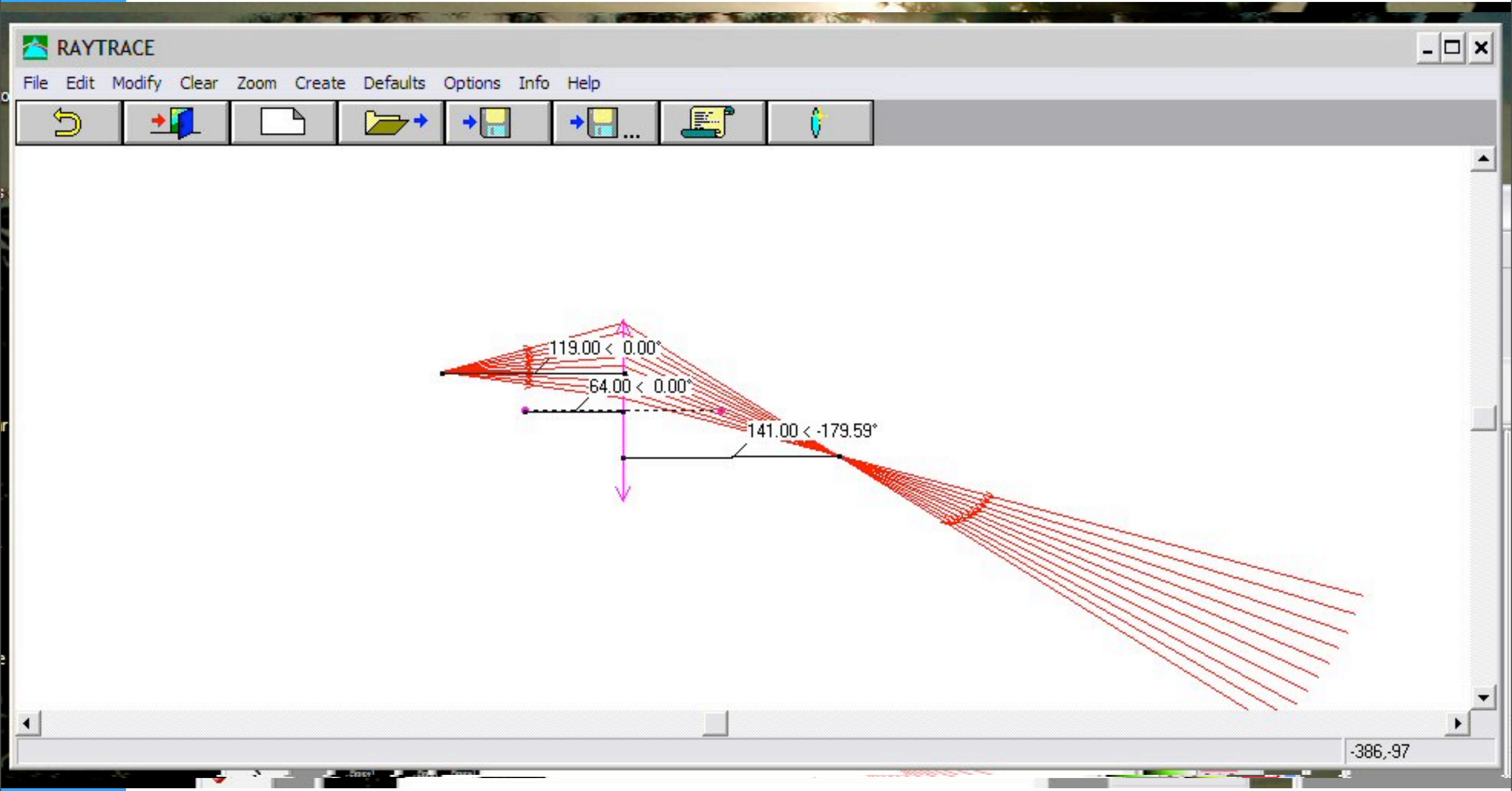
- Programa para simular elementos de óptica geométrica
  - Utiliza métodos matriciais para propagação de raios luminosos
  - Possibilita simular sistemas complexos, considerando os elementos ideais ou reais
    - Lentes delgadas ou espessas


RAYTRACE
File Edit Modify Clear Zoom Create Defaults Options Info Help
Ray
Element
Source
Tape Measure
Protractor
Annotation
Trail
Par-axials on centre
Region
Surface
Shape
Screen
Iris
Converging thin lens
Diverging thin lens
Par-axial mirror
Finish element
Cancel
Undo segment
Create an ideal converging thin lens
-293,-134


RAYTRACE
File Edit Modify Clear Zoom Create Defaults Options Info Help
Ray
Element
Source
Point...
Plane...
Tape Measure
Protractor
Annotation
Trail
Par-axials on centre
Create a group of rays coming from one point
-426,-136


RAYTRACE
File Edit Modify Clear Zoom Create Defaults Options Info Help
Click and release left button to select or start dragging. Right button for snaps
-306,-159


RAYTRACE
File Edit Modify Clear Zoom Create Defaults Options Info Help
Ray
Element
Source
Tape Measure
Protractor
Annotation
Trail
Par-axials on centre
Create a tape measure to measure and display a distance
-424,-89


RAYTRACE
File Edit Modify Clear Zoom Create Defaults Options Info Help
119.00 < 0.00°
64.00 < 0.00°
141.00 < -179.59°
-386,-97

Próxima aula

- Para entender óptica de Fourier e aplicá-la ao computador óptico precisamos entender os fenômenos de interferência e difração
  - Tentem pesquisar sobre o assunto para a próxima aula