

Física Experimental IV

www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex

www.fap.if.usp.br/~hbarbosa

Prof. Antonio Domingues dos Santos

adsantos@if.usp.br

Ramal: 6886

Mário Schemberg, sala 205

Aula 2 – Computador Óptico

Laser + Associação de Lentes

Prof. Leandro Barbosa

lbarbosa@if.usp.br

Ramal: 7157

Ala I, sala 225

Prof. Henrique Barbosa

(coordenador)

hbarbosa@if.usp.br

Ramal: 6647

Basílio, sala 100

Prof. Nelson Carlin

carlin@dfn.if.usp.br

Ramal: 6820

Pelletron

Prof. Paulo Artaxo

artaxo@if.usp.br

Ramal: 7016

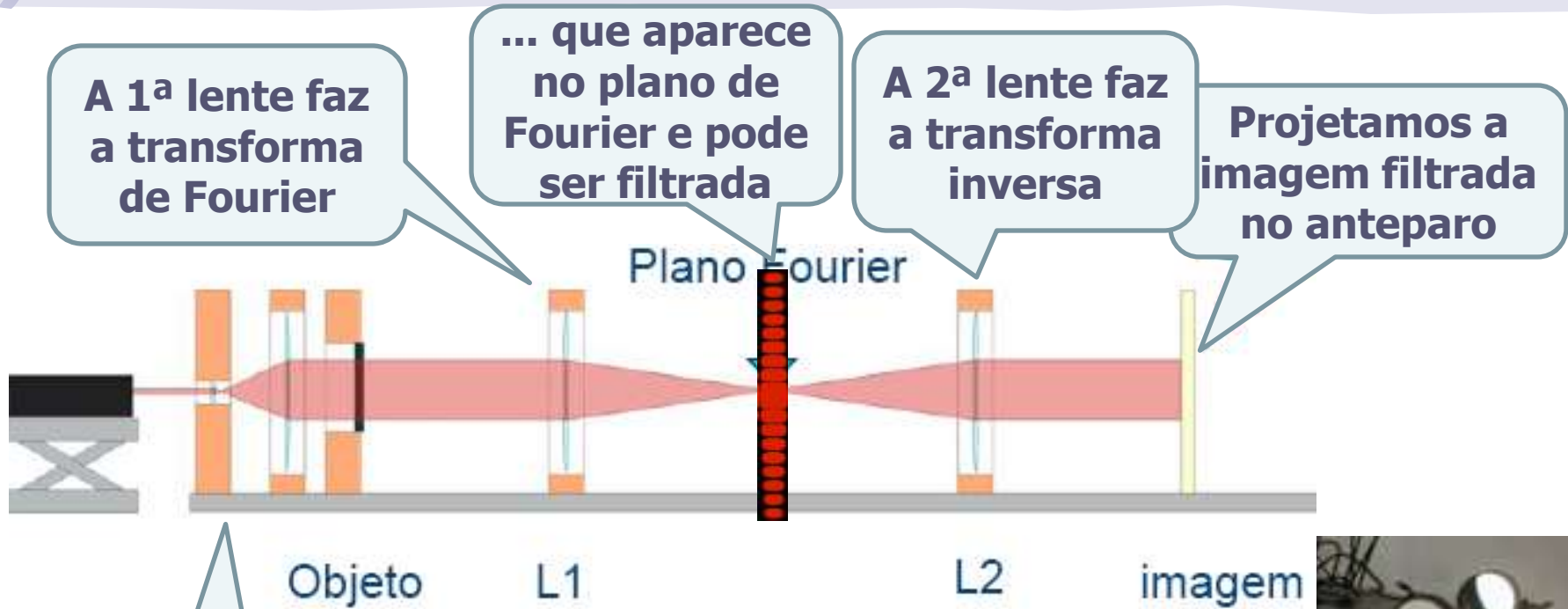
Basílio, sala 101

Computador ótico

- **Computador ótico** é um dispositivo que permite a manipulação de imagem de maneira controlada sem a necessidade de efetuar cálculos complicados.
- Esse dispositivo pode e vai ser construído e estudado no laboratório e vamos, nas próximas aulas, discutir como fazê-lo em detalhe.



Como funciona?



o laser ilumina o objeto

COMPUTADOR ÓTICO



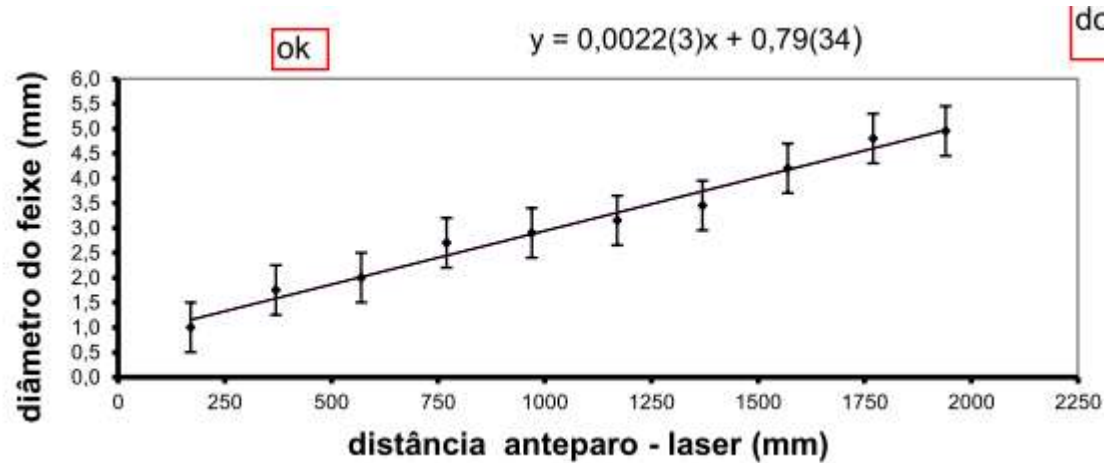
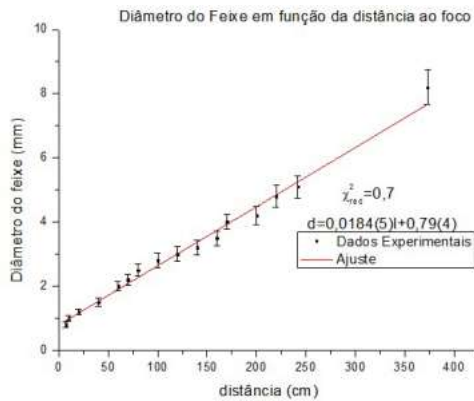
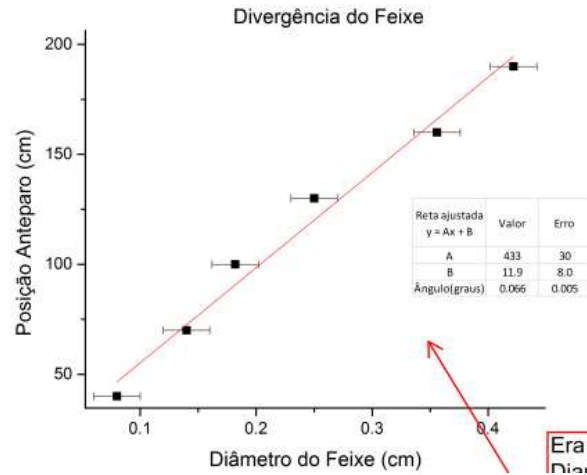
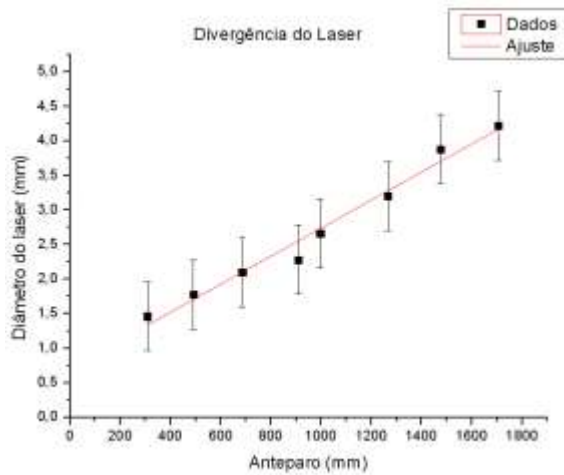
Programação da Exp. 2

- Aula 1: óptica geométrica
 - Medidas com lentes convergente e divergente
- Aula 2: laser
 - Associação de lentes e aumento do diâmetro do laser
- Aula 3: difração
 - Figuras de difração e espectrofotômetro
- Aula 4: transformada de fourier
 - Estudo no plano de fourier
- Aula 5: computador ótico
 - Filtro na transformada de Fourier e recompor a imagem filtrada
- Aula 6: ImageJ
 - Tratamento de imagem no computador

Tarefas 1 – para síntese

- Medir a divergência do feixe
 - Dica: projetá-lo a uma distância grande ou através da medida de **r1** e **r2**.
- Montar um sistema ótico de duas lentes convergentes com distâncias focais conhecidas para aumentar o diâmetro do feixe
 - Experimentalmente, qual a distância entre as lentes para que o feixe saia paralelo? Compare com o valor teórico esperado
 - A previsão teórica está de acordo com a distância medida na bancada? Se não estiver explique porque usando o Raytrace.

Divergência



Divergência

	Min. (mm)		Diverg. (mrad)	
H1	300	1700	20 (1)	1.9
H2	400	1900	66 (5)	2.1
H3	150	3600	1.84 (5)	
H4	200		2.2 (3)	
H5	200	1700	1.11 (6)	2.2 (1)
H6	50	1850	1.05 (14)	2.1 (3)
H7	0	4000	?	
H8	300	1700	2.2 (1)	
H9	300	1500	4.8 (9)	
H10				

Valor não bate com gráfico apresentado

Definição de divergência

Rever...

Tarefas 2 – para síntese

- Medir a magnificação do feixe através das medidas de r_1 e r_2 , ou através dos diâmetros do feixe antes e depois do sistema de lentes:
 - Precisa medir vários valores e apresentá-los de maneira convincente, com erros aceitáveis.
 - Utilize valores de r_1 acima ou abaixo do eixo.
- Demonstre o paralelismo do feixe na saída:
 - pode ser feito com qualquer uma das montagens escolhidas
 - o paralelismo deve ser verificado através de várias medidas ao longo de todo o comprimento do trilho.

Magnificação

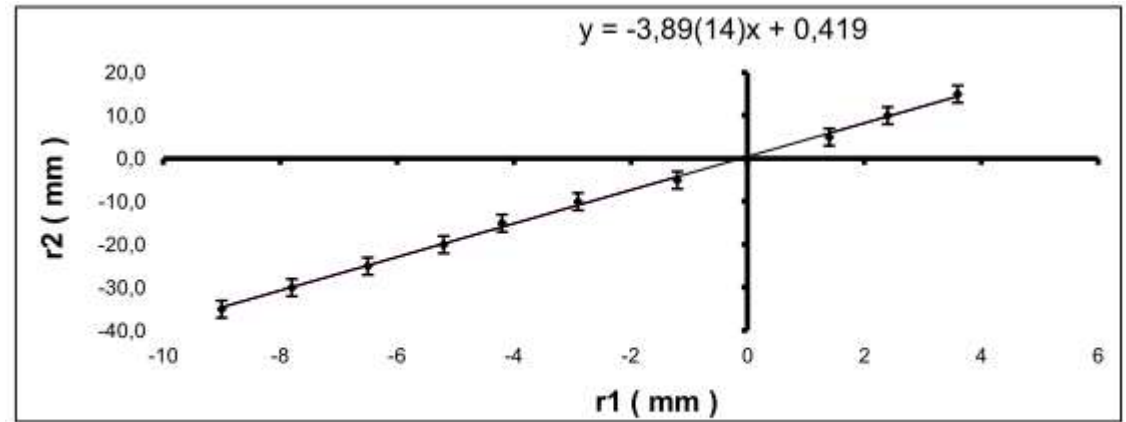
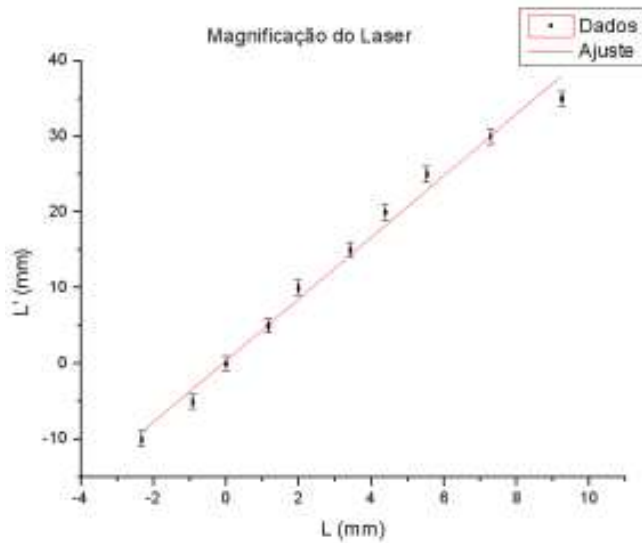
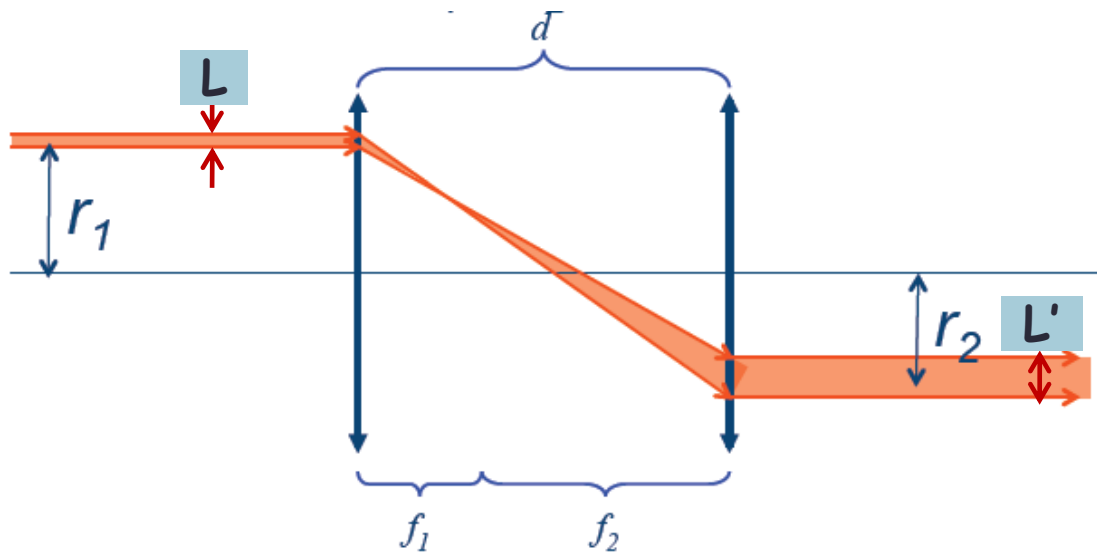
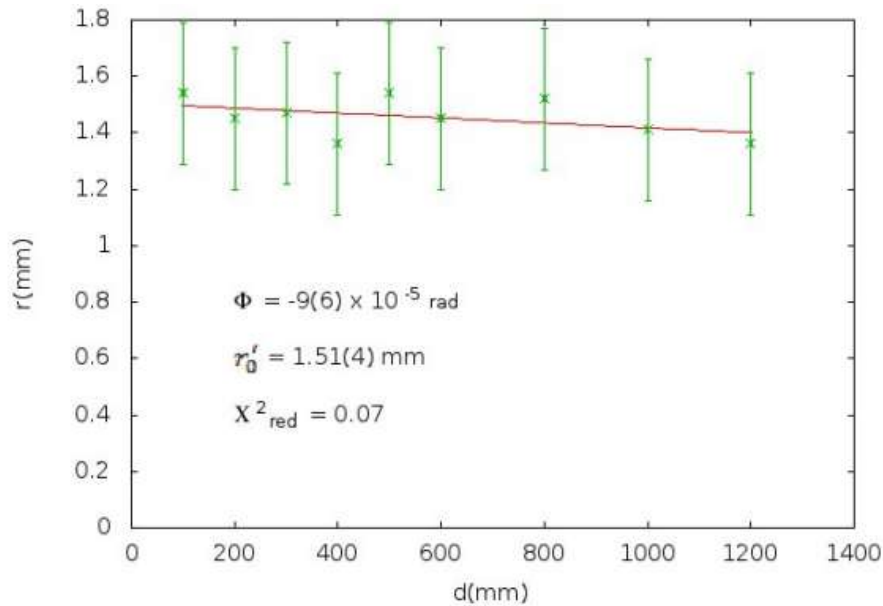


Gráfico 2 – r_2 em função de r_1 . Pontos experimentais e reta do ajuste linear por MMQ.



Magnificação



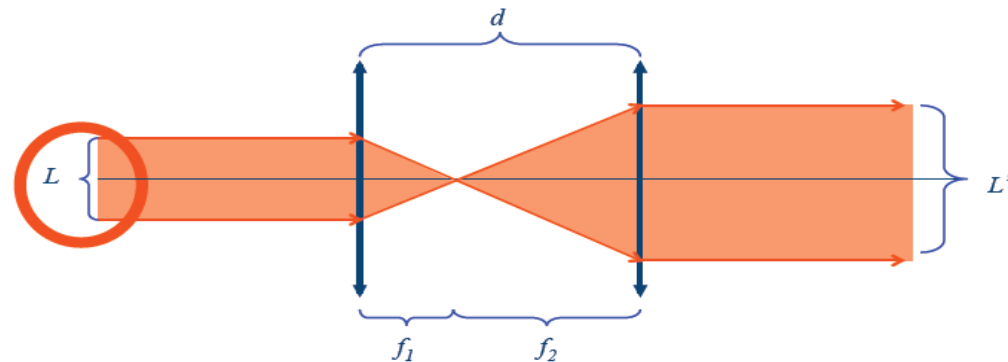
Medimos a magnificação m com a formula:

$$m = \frac{r_o}{r'_o}$$

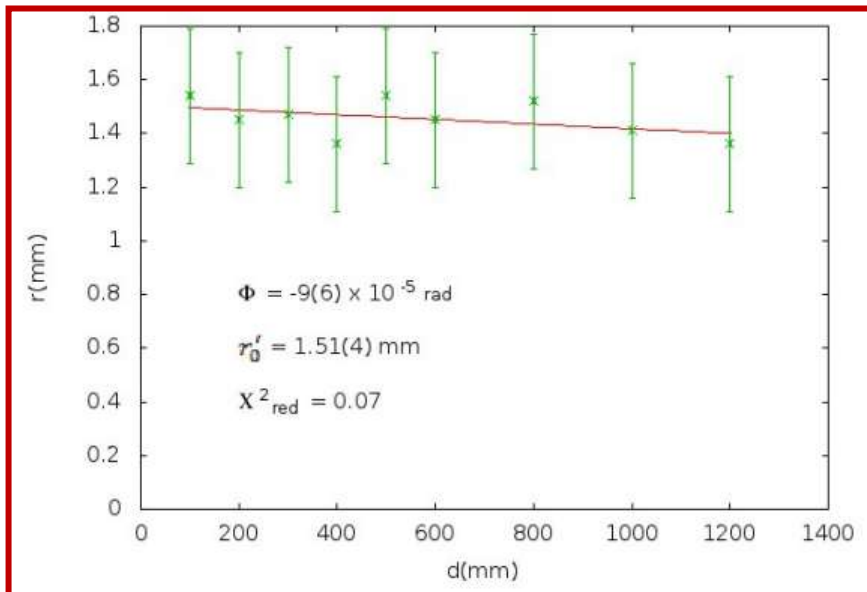
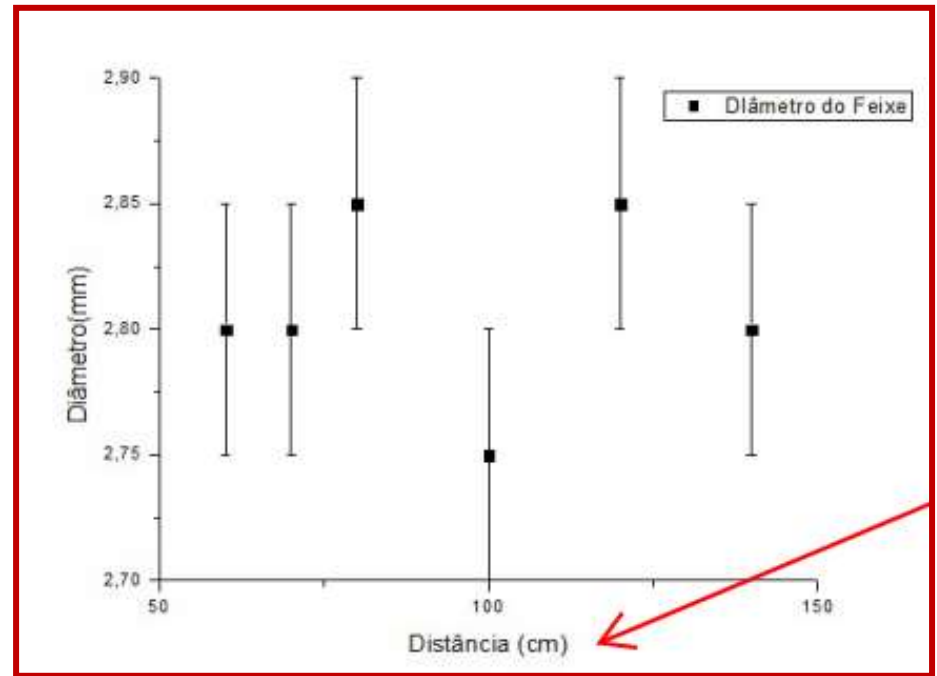
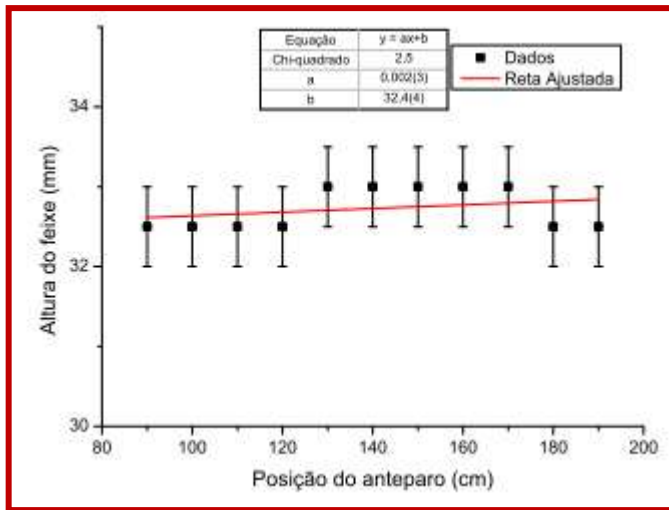
que resultou num $m = 9,4375$

Mas qual era o tamanho inicial do feixe??

- Mesmo que não seja divergente: o laser é muito brilhante (e tem um halo) e o diâmetro é muito pequeno antes do aumento, será que o erro da medida seria aceitável?



Paralelismo



Magnificação: $20/5=4.0$

	F1 (mm)	F2 (mm)	Separa. (mm)	M ()
H1	49 (1)	192 (2)	240 (1)	4.1 (2)
H2	46.6 (5)	189 (2)	258 (2)	4.2 (1)
H3	50	200	206 (2)	3.5 (2)
H4	50	200	250 (2)	3.89 (14)
H5	?	?	260 (?)	9.4375 (?)
H6	50	200	247 (1)	4.02 (3)
H7	50	200	250 (?)	4 (?)
H8	50	200	260 (2)	3.31 (9)
H9	50	200	?	3.04 (3)
H10	Como assumiram que as lentes eram de 5 e 20 cm??			

Tarefas 3 – para relatório

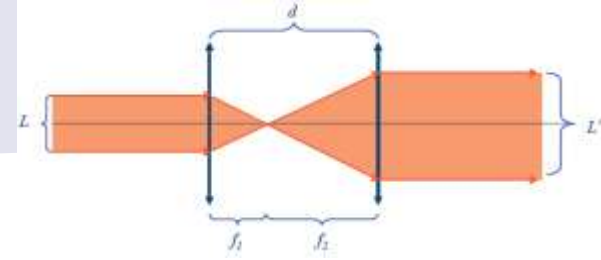
- A magnificação obtida pelo método matricial está de acordo (dentro dos erros experimentais) com a medida na bancada? Discuta.
- Simule, com o programa Raytrace, o sistema de lentes utilizado.
 - Determine os planos principais da associação
 - Determine o foco da associação
 - Compare com os valores esperados pelo método matricial

Tarefas 4 - EXTRA

O laser tem uma divergência, ie $\varphi_1 > 0$, assim:

- Calcule qual a divergência na saída se for usado $\mathbf{d} = \mathbf{f}_1 + \mathbf{f}_2$.
- Calcule usando o método matricial qual deve ser a separação \mathbf{d}' entre as lentes para se ter $\varphi_2 = 0$
 - Discuta se o deslocamento $\mathbf{d}' - \mathbf{d}$ era perceptível/mensurável na montagem de vocês

Método Matricial



- Aplicando o método matricial:

$$\begin{pmatrix} r_2 \\ \phi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & d \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_1 \\ \phi_1 \end{pmatrix}$$

Notem que não era preciso incluir as posições do objeto e da imagem!

- E portanto:

$$r_2 = \left(1 - \frac{d}{f_1}\right) r_1 + d \phi_1$$

$$\phi_2 = \left(\frac{d}{f_1 f_2} - \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2}\right) r_1 + \left(1 - \frac{d}{f_2}\right) \phi_1$$

- $\phi_1 = \phi_2 = 0$ (ou seja $f_{eq} \rightarrow 0$) implica:

$$\left(\frac{d}{f_1 f_2} - \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2}\right) r_1 = 0 \quad \Rightarrow \quad d = f_1 + f_2$$

Aumento do Diâmetro

- Substituindo $d=f_1+f_2$ nas equações para r_2 e ϕ_2 , temos:

$$r_2 = -\frac{f_2}{f_1} r_1 + (f_1 + f_2)\phi_1$$

$$\phi_2 = -\frac{f_1}{f_2} \phi_1$$

Reduz a divergência...

- Como $\phi_1=0$ então temos $\phi_2=0$ e:

$$M = \frac{r_2}{r_1} = -\frac{f_2}{f_1}$$

Aumenta o diâmetro...

E se divergência $\phi_1 \neq 0$

- Neste caso devemos usar a eq. completa:

$$\phi_2 = \left(\frac{d}{f_1 f_2} - \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2} \right) r_1 + \left(1 - \frac{d}{f_2} \right) \phi_1 = 0$$

- Resolvendo a equação para **d**, temos:

$$d = f_2 + \frac{f_1}{1 - f_1 \phi_1 / r_1} \approx f_2 + f_1 \left(1 + f_1 \frac{\phi_1}{r_1} \right)$$

- Ou seja, a correção não é pequena!

$$d \approx 20cm + 5cm * 1.1 = 25.5cm$$

$$M = \frac{-f_2}{f_1} (1 - f_1 \phi_1 / r_1) \approx \frac{-f_2}{f_1} * 0.9 = 3.6$$

$$10^{-1} \Leftarrow \begin{cases} f_1 = 5cm \\ \phi_1 = 2mrad \\ r_1 = 1mm \end{cases}$$