

Data de realização:
23-3-2022

Maria Helena Machado PLB Grupo 6 Data de preparação:
20-3-2022

Estudo da formação de imagem com lentes finas.

2ª série - TFA

→ Objetivos

- Estudar a formação de imagens por lentes finas;
- Observar o efeito da abertura esférica longitudinal;
- Analisar dados em graficos com funções não lineares;
- Familiarizar-se com o conceito de ampliações de imagem.

→ Proposta

1-

1- Colocar a lâmpada de Reuter, um difusor, uma transparência (objeto) e um alvo sobre o banco de ótica;

Importante!! → Manter espaço entre a lâmpada e o difusor, para que este não se detorce.

2- Medir o objeto (horizontal e vertical);

3- Colocar uma lente convergente (+12 ou +15) no separador e ajustar a posição.

4- Medir distâncias transparência-lente (S_0), transparência-alvo (D), lente-alvo (s) e as dimensões do objeto.

5- Procurar outra posição da lente que obtenha imagem invertida \neq , sem alterar as posições do alvo e da transparência. Repetir e registrar as medições anteriores.

6- Repetir para outras distâncias transparência-alvo (D);

7- Calcular a distância focal da lente:

7.1. Traçar gráfico $1/s$ em função de $1/S_0$ e determinar f .

7.2. Traçar o gráfico de D em função de S_0 , determinar f .

Maria Helena Machado

- 7.3. Estimar as incertezas de f .
 7.4. Obter a ampliação transversal da imagem.
 8. Colocar a lente 10^+ a 15 cm do objeto, deslocando o alvo até obter uma imagem nítida. Registrar o valor.
 colocar a máscara e repetir o ponto anterior.
 (1º a que deixa passar a luz pelo centro.
 2º a que deixa passar a luz pelos bordos.
 9. Comparar a incerteza de f a partir de uma única linha da tabela com a obtida pelos gráficos.

Montagem experimental: S:A

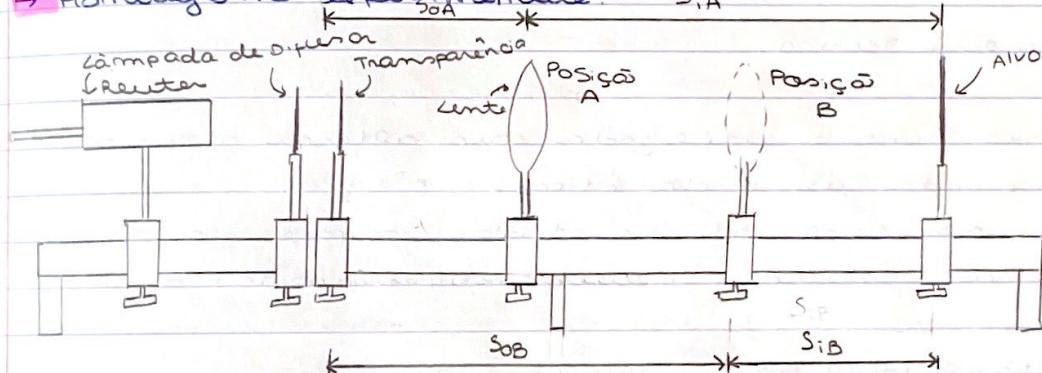


Figura 1. Distâncias objeto e imagem nas duas posições da lente.

Esquema da determinação experimental da distância focal de uma lente convergente

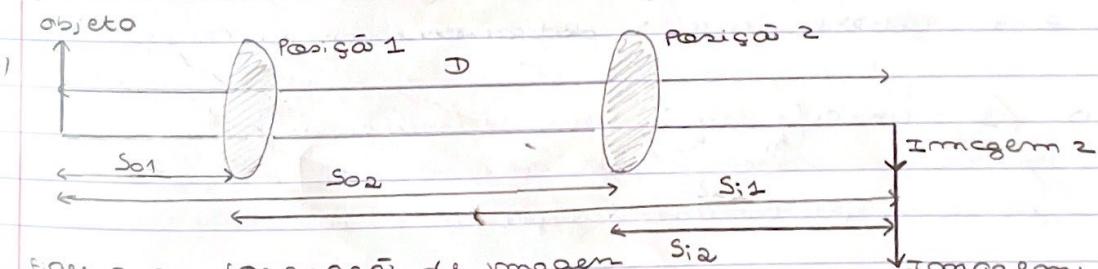


Figura 2. Formação de imagens para duas posições da lente convergente.

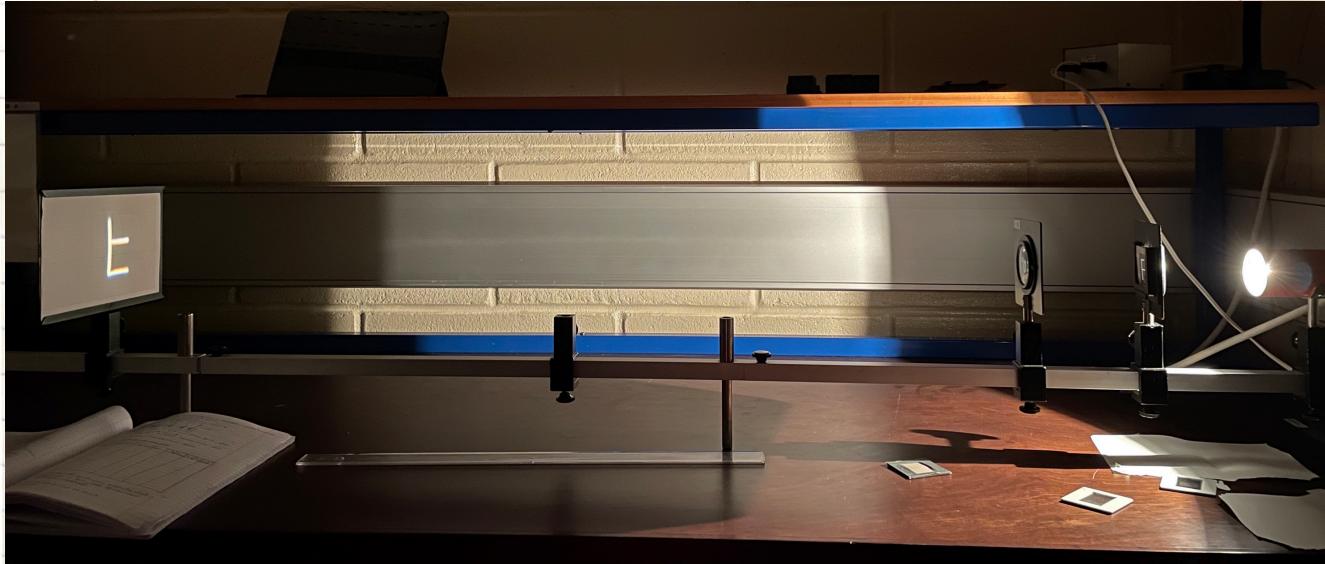


Imagen experimental 1

1 → Análise Teórica.

Uma lente é utilizada para alterar a curvatura das frentes de onda ótica.

Os raios ópticos não refratados nas faces da lente, podem convergir (focagem) num ponto ou divergir.

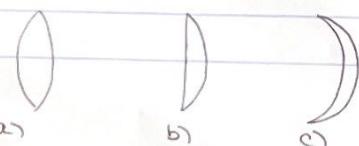
Consideremos uma lente simples, num meio de refracção n emitido por duas superfícies esféricas de raios R_1 e R_2 , centradas em c_1 e c_2 (respectivamente).

Aplicando as leis de Snell, desprezando a espessura da lente ($d \gg R_1$ e R_2) e considerando $n < (R_1, e R_2)$, obtemos:

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

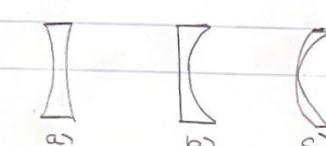
potência da lente (unidade é dioptra).

- $f > 0$ (lente convergente)



- a) bi-concava figura 3
- b) plano-concava
- c) menisco-concava

- $f < 0$ (lente divergente)



- a) Bi-côncava figura 4
- b) plano-côncava
- c) menisco-côncava

equação conjugação objeto-imagem:

equações da associação de lentes (considerando deus lentes finitas)

$$(3) \quad \frac{1}{f_{eq}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

utilizando as equações de conjugação e as
relações de geometria obtémos:

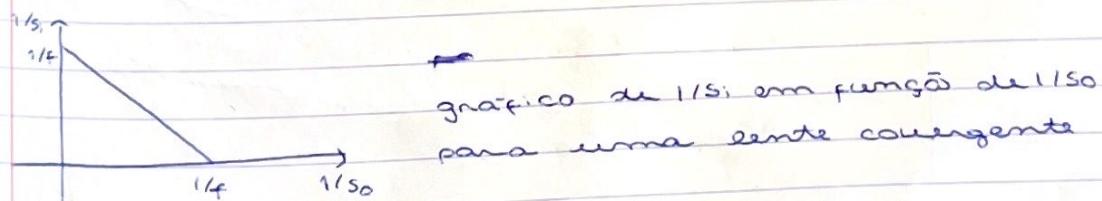
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{S_i} + \frac{1}{S_0} - \frac{S_0 + S_i}{S_0 S_i}$$

o que permite ordenar

$$(Af)^2 = \left(1 + \frac{2S_0}{D}\right)^2 \Delta S_0^2 + \left(\frac{S_0^2}{D^2}\right)^2 \Delta D^2$$

$$(\Delta f)^2 = \left[\left(\frac{\Delta S_i}{S_i} \right)^2 + \left(\frac{\Delta S_o}{S_o} \right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D} \right)^2 \right] f^2$$

Assim, a distância focal poderá ser determinada a partir de uma simples medição S_0 e S_1 .



Uma outra forma però trazar o gráfico desempunçal de

5. Este gráfico dará origem a uma parábola:

D - distância da transparência ao alv

$$D = \frac{S_{1,50}}{D} \quad \text{and} \quad D = -\frac{S_0^2}{f - S_0}$$

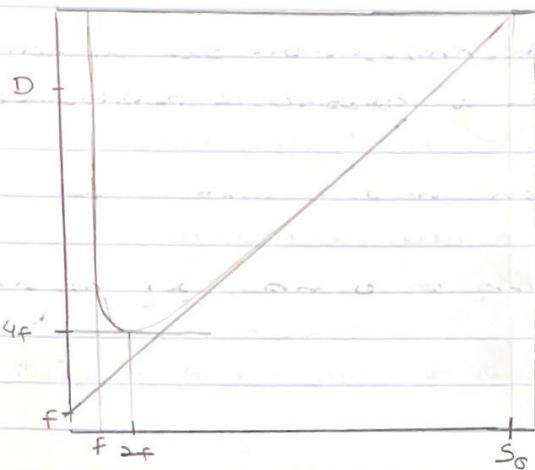


Figura 5 - D em função de S_o para uma lente convergente

A partir do gráfico é possível obter 4 de quatro formas distintas

- Uma das assintotas à curva intersecta o eixo das abscissas no ponto $S_o = f$
- A outra assintota intersecta o eixo das ordenadas no ponto $D = f$.
- O mínimo da curva tem por ordenadas $4f'$ e abscissa $2f$.

Importante!! \Rightarrow Deverem ser determinados vários pontos na região de $S_o > 2f$, para que seja possível definir convenientemente o mínimo da curva.

→ Expressões

$$(\Delta f)^2 = \left[\left(\frac{\Delta s_i}{s_i} \right)^2 + \left(\frac{\Delta s_o}{s_o} \right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D} \right)^2 \right] f^2$$

$$\cdot f = \frac{s_i s_o}{D}$$

$$\cdot f = s_o - \frac{s_o^2}{D}$$

$$\cdot f = s_i - \frac{s_i^2}{D}$$

→ voos de aula

Optamos por não utilizar o óptico, uma vez que limitava a passagem deles, o que impossibilita a visualização do objeto.

Aumentamos de igual forma a altura e a $\frac{1}{So}$ do objeto.

Como medimos os centros de重心, os valores dão sempre a incerteza da espessura do óptico, das lentes e do objeto.

→ Análise de dados

Tabela 1 - Lente convergente +15

Posição	D ($\pm 0,05$) cm	S_o ($\pm 0,05$) cm	$\frac{1}{S_o}$ ($\pm 0,000004$) cm $^{-1}$	S_i ($\pm 0,05$) cm	$\frac{1}{S_i}$ ($\pm 0,000004$) cm $^{-1}$	2h ($\pm 0,05$) cm	2h' ($\pm 0,05$) cm	M_r ($\pm 0,03$)	$f = \frac{S_i S_o}{D}$ ($\pm 0,04$) cm	$f = S_o - \frac{S_o^2}{D}$ ($\pm 0,07$) cm	$f = S_i - \frac{S_i^2}{D}$ ($\pm 0,13$) cm
A	121,20	14,30	0,069930	106,90	0,009355	2,30	8,70	7,48	12,61	12,61	12,61
A	121,30	12,10	0,082645	109,20	0,009158		7,30	9,02	10,89	10,89	10,89
A	121,10	11,00	0,090909	110,10	0,009083		6,10	10,01	10,00	10,00	10,00
A	121,00	9,00	0,111111	112,00	0,008929		5,20	12,44	8,33	8,33	8,33
A	87,70	16,00	0,062500	72,10	0,013870		10,40	4,51	13,15	13,08	12,83
A	87,70	70,20	0,014245	17,20	0,058140		0,55	0,25	13,77	14,01	13,83
A	70,95	17,80	0,056180	53,20	0,018797		6,60	2,99	13,35	13,33	13,31
A	70,95	52,20	0,019157	18,80	0,053191		0,75	0,36	13,83	13,79	13,82
A	120,70	15,50	0,064516	105,20	0,009506		8,50	6,79	13,51	13,51	13,51
B	50,50	24,75	0,040404	25,80	0,038760		3,50	1,04	12,64	12,62	12,62
B	57,30	20,40	0,049020	37,10	0,026954		4,10	1,82	13,21	13,14	13,08
B	57,30	36,20	0,027624	21,50	0,046512		1,30	0,59	13,58	13,33	13,43
B	65,40	40,00	0,025000	25,40	0,039370		1,20	0,64	15,54	15,54	15,54
B	65,50	27,10	0,036900	38,40	0,026042		3,40	1,42	15,89	15,89	15,89
B	65,00	22,50	0,044444	42,50	0,023529		4,10	1,89	14,71	14,71	14,71
B	65,60	39,20	0,025510	26,40	0,037879		3,40	0,67	15,78	15,78	15,78
B	65,90	53,50	0,018692	12,40	0,080645		1,80	0,23	10,07	10,07	10,07
Médias (s/ pontos duvidosos)							2,34	13,97	13,95	13,95	13,92

Gráfico 1 - $1/S_i$ em função de $1/S_o$ (c/ ajuste)

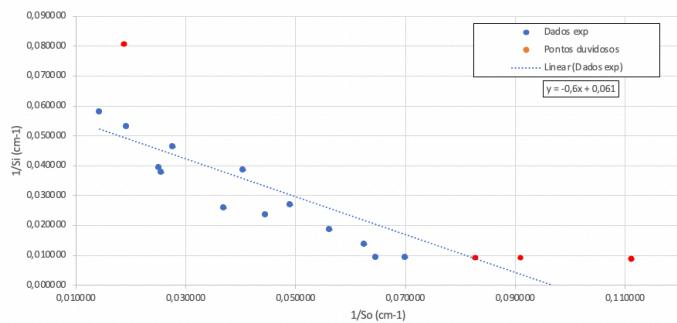


Gráfico 2 - $1/S_i$ em função de $1/S_o$ (c/ ajuste)

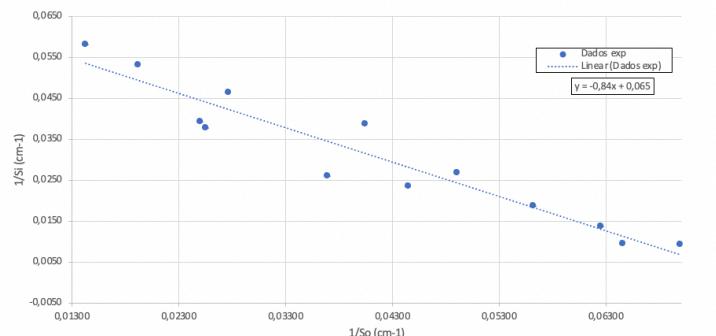


Tabela 2 de ajuste

m	-0,6	0,061	b
sm	0,1	0,006	sb
r ²	0,7	0,01	sy

Tabela 4- Linha ajuste gráfico 2

0,00684
0,01307
0,05348
0,01836
0,04937
0,01138
0,03157
0,02436
0,04227
0,04447
0,03451
0,02819
0,04404
0,06541

tabela 3 de ajuste

m	-0,84	0,065	b
sm	0,08	0,004	sb
r ²	0,91	0,005	sy

Nota: Os dados a vermelho da tabela 1 foram considerados desvalidos, correspondendo aos pontos marcados a vermelho nos graficos.
De forma a tornar o

Rita Helo Lechhal

várias experimentais mais próximas do real, estes valores não foram tidos em consideração no cálculo experimental.

2- No gráficos 1 e 2 foram colocados bairros de erro com um valor fixo de $0,00004 \text{ cm}^{-1}$.

- Tendo agora equação de ajuste os gráfico 2 excluindo os pontos duvidosos - lhe chamar $g(x) = -0,84x + 0,065$

Teoricamente, o valor da declive deveria ser -1 , pelo que o nosso resultado foi satisfatório

- $\frac{1}{f}$ pode ser calculado pela intersecção do gráfico $g(x)$ com os eixos coordenados:

$$\left\{ \begin{array}{l} g(x) = 0,065410 \xrightarrow{+0,00002 \text{ cm}^{-1}} = \frac{1}{f} \rightarrow f = 15,29 (\pm 0,08) \text{ cm} \\ g(x) = 0 \Rightarrow -0,84x + 0,065 = 0 \Rightarrow x = 0,07810 \xrightarrow{-0,00002 \text{ cm}^{-1}} \end{array} \right.$$

$$f = \frac{15,29 + 12,80}{2} = 14,05 (\pm 0,08) \text{ cm}$$

$$f = 12,80 (\pm 0,08) \text{ cm}$$

- É possível afirmar que os valores diferem em $2,49 \text{ cm}$, uma diferença um pouco elevada e contudo ainda assim que ~~existem~~ que os nossos valores são uma aproximação satisfatória. Esta diferença deve-se ao desvio originado pelas formas como a experiência foi realizada, levando a desvios de possíveis erros experimentais.

Comparativamente aos valores de ~~f~~ obtidos ~~na análise gráfica~~ ~~13,94 \pm 0,08~~, concluímos que os valores por nós obtidos não bastante ~~14,05 (\pm 0,08) cm~~ próximos, pelo que os ~~nossos~~ resultados são relativamente precisos.

Gráfico 4 - D em função de So (c/ ajuste)

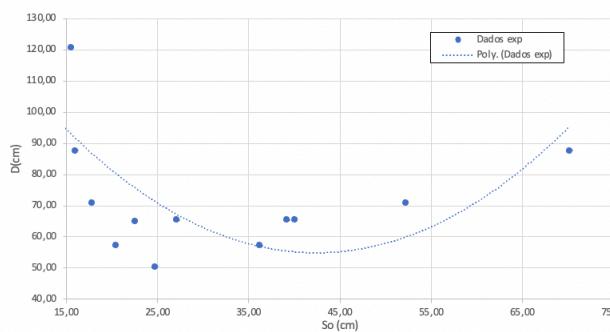
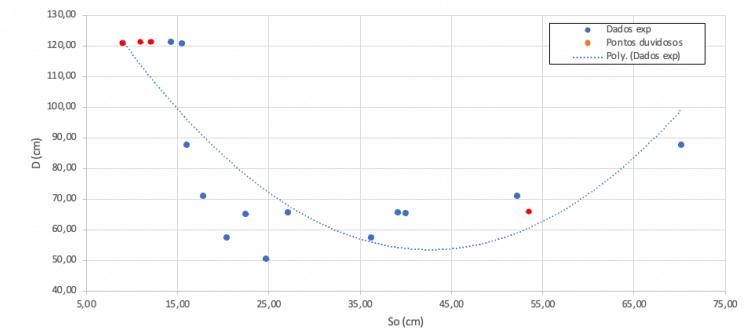


Gráfico 3 - D em função de So (c/ ajuste)



nos gráficos 3, 4, 5 se foram colocados bairros de erro com um valor fixo igual a $\pm 0,05 \text{ cm}$. (incerteza de D), com o seu valor extremamente redondizado, estes não são verdadeiros.

Ramalho Lobo

Gráfico 6 - D(So) aproximação para obter assíntotas

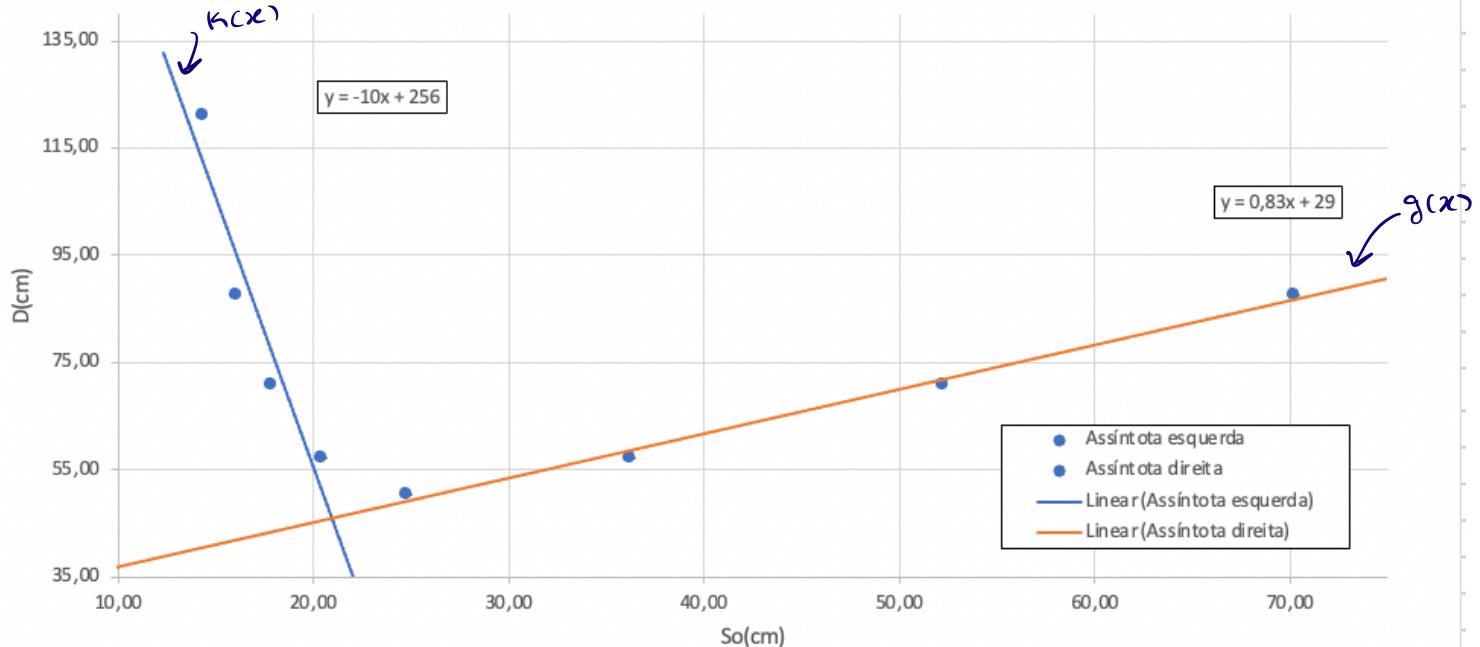


Tabela 6 - Assíntota Esquerda

m	-10	257	b
sm	2	39	sb
r^2	0,91	10	sy

Tabela 7 - Assíntota Direita

m	0,83	29	b
sm	0,05	2	sb
r^2	0,993	2	sy

⚠️ foram colocados valores de menor tezo

- De acordo com o gráfico 6 e tabelas 6 e 7 é possível obter uma regressão linear para a assíntota esquerda ($k(x)$) e assíntota direita ($g(x)$), estudemos agora os pontos onde estes interceptam os eixos coordenados.

$$g(x) \approx y = -10,060x + 256,6$$

$g(x)$ intercepta $y = 0$

$$g(x) = 0$$

$$\Rightarrow -10,060x = -256,6$$

$$\Rightarrow x = (25,6 \pm 2) \text{ cm} \rightarrow F$$

$$\text{Logo: } \frac{1}{f} = (0,0392 \pm 0,0004) \text{ cm}$$

$$k(x) \approx y = 0,829x + 28,62$$

$k(x)$ intercepta $x = 0$

$$k(x) = (28,62 \pm 0,05) \text{ cm}$$

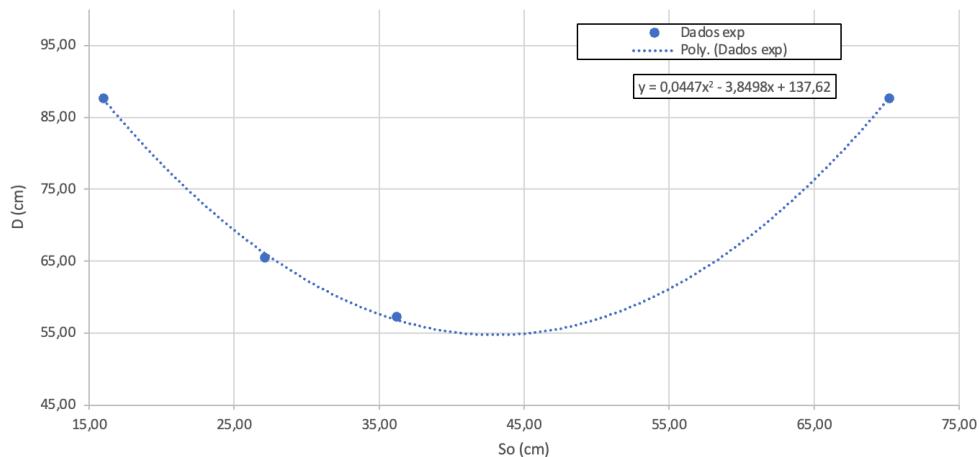
$$\frac{1}{f} = (0,03494 \pm 0,0003 \times 10^{-2}) \text{ cm}$$

Karen Belchior

• os valores obtidos para f por este método não muito afastados - aproximadamente o dobro - dos obtidos pelo método anterior.

Dado que temos conhecimento que a lente de convergência é +15, ^{Tomaremos os valores} podemos ~~estimar~~ calcularmos ~~corretamente~~ os valores anteriamente calculados como os mais próximos da real. $\rightarrow (15,25 \text{ cm} \text{ e } 12,80 \text{ cm}) (\pm 0,08) \text{ cm}$

Gráfico 5 - D(S₀) aproximação para obter mínimo (c/ajuste)



Denominando a função de ajuste obtida no Gráfico 5 como $f(x)$, podemos obter o mínimo de coordenadas (x_f, y_f) a partir de $g'(x)$ consultar figura 5.

$$g(x) = 0,0447x^2 - 3,8498x + 137,62$$

$$g'(x) = 0,0894x - 3,8498$$

$$g'(x) = 0 \Rightarrow x = 43,06$$

$$g(43,06) = 54,73 \text{ cm}$$

Temos então um mínimo de aproximadamente $(43,06; 54,73)$, cuja abscissa corresponde a x_f e cuja ordenada corresponde a y_f logo;

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{f} = \frac{3}{43,06} = 0,04645 \text{ cm}^{-1} \rightarrow f = (21,53 \pm 0,08) \text{ cm} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{f} = \frac{4}{54,73} = 0,07308 \text{ cm}^{-1} \rightarrow f = (13,68 \pm 0,08) \text{ cm} \end{array} \right.$$

os valores obtidos não são muito diferentes entre si.

o valor estimado através da ordenada ($13,68\text{cm}$) encontra-se dentro do previsto, nem tanto quanto o calculado na tabela 1 ($13,94 \pm 0,08\text{cm}$). No entanto, o valor calculado da oscissa ^{do minimo} difere bastante do valor da tabela 1.

Embora não saibamos com precisão a origem desta diferença, é possível que esta tenha sido originada ~~depois~~ durante a realização experimental.

→ Dióptria 50 - análise da luz à volta de um certo

Devido à falta de tempo durante a realização experimental e à nossa preocupação em repetir algumas medições na dióptria 15 (possuímos erros em alguns valores), o nosso grupo não ~~conseguiu~~ conseguiu captar registos fotográficos para esta parte da atividade experimental. Contudo, foi ainda possível captar alguns registos fotográficos.



Imagen exp. 2 - a luz passa pela zona lateral

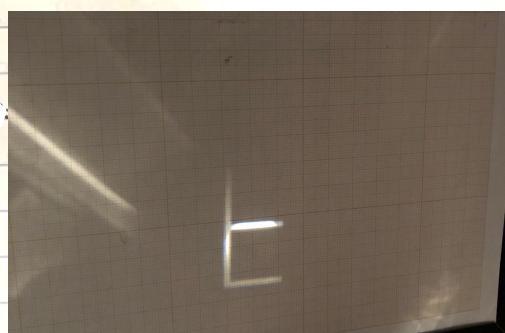


Imagen exp 3 - a luz passa pela zona central

Pela imagem exp 2 e pela imagem exp 3 é possível reparar que a imagem como o filtro que apenas permite a luz passar pela zona lateral é uma imagem mais definida do que a imagem como o filtro que apenas permite a luz passar pela zona central.

→ incertezas:

$$\circ f = \frac{s_i s_o}{D} \Rightarrow$$

$$\Delta f = \left[f^2 \left(\frac{\Delta s_i}{s_i} \right)^2 + \left(\frac{\Delta s_o}{s_o} \right)^2 + \left(\frac{\Delta D}{D} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 0,04 \text{ cm}$$

$$\circ f = s_o - \frac{s_o^2}{D}$$

$$\Delta f = \left[\left(1 + \frac{2s_o}{D} \right)^2 \Delta s_o^2 + \left(\frac{s_o^2}{D^2} \right)^2 \Delta D^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 0,07 \text{ cm}$$

$$\circ f = s_i + \frac{s_i^2}{D}$$

$$\Delta f = \left[\left(1 + \frac{2s_i}{D} \right)^2 \Delta s_i^2 + \left(\frac{s_i^2}{D^2} \right)^2 \Delta D^2 \right]^{\frac{1}{2}} = 0,13 \text{ cm}$$

$$\Delta s_i = \Delta s_o = \Delta D = 0,05 \text{ cm}$$

$$D = 87,70 \text{ cm}$$

$$s_o = 16,00 \text{ cm}$$

$$s_i = 72,10 \text{ cm}$$

→ Através das incertezas de f obtidas graficamente.

temos:

Através do gráfico

$$\pm \left(\frac{1}{s_o} \right)$$

$$\Delta f = 5 \text{ mm} = 0,10 \text{ cm}$$

Através do gráfico

$$D(s_o)$$

obtidos através do mínimos

obtidos através das assentatas para excel.

2 cm na assimetria esquerda
0,05 cm na assimetria direita

incerteza obtida pelos assentamentos feitos manualmente
 $\Delta f = 2,5 \text{ cm}$ (valor de incerteza mais elevada).

Exel da
a incerteza da assintata esquerda difere em
bastante da assintata a direita, sendo o da
assintata esquerda
~~somente~~ bastante elevados. ($2,28 \text{ cm}$)

do gráfico, a assintata direita apresenta
uma menor incerteza associada ao desvio,
isto que os valores das distâncias focalizadas
também são mais próximos da realidade que os
obtidos pela assintata esquerda.

Portanto
apressadias, consideramos que a incerteza
associada às assintatas de exel não deve
ser considerada, já que só foram utilizados
4 pontos para obter o ajuste.

→ Análise

• Ao usar uma lente biconvexa a imagem
de objetos (f) foi invertida, como se é de esperar
nella teoria.

• Analisando os gráficos $\frac{1}{S_i} \left(\frac{1}{S_o} \right)$ e $D(S_o)$ obtivemos
diferentes valores para $\frac{1}{f}$ (potência da lente)
através da interseção do ajuste linear
do gráfico com os eixos ($\text{em } \frac{1}{S_i} \left(\frac{1}{S_o} \right)$) e através das
assintatas e mínimos ($D(S_o)$).

Os resultados obtidos foram $\frac{1}{f} = 0,06541 \frac{\text{cm}^{-1}}{\text{cm}^{-1}}$ ($f = 15,29 \pm 0,08 \text{ cm}$)
e $\frac{1}{f} = 0,07810 \frac{\text{cm}^{-1}}{\text{cm}^{-1}}$ ($f = 12,80 \pm 0,08 \text{ cm}$) no caso do gráfico $\frac{1}{S_i} \left(\frac{1}{S_o} \right)$
 $\frac{1}{f} = 0,04645 \frac{\text{cm}^{-1}}{\text{cm}^{-1}}$ ($f = 21,53 \pm 0,08 \text{ cm}$) e $\frac{1}{f} = 0,07308 \frac{\text{cm}^{-1}}{\text{cm}^{-1}}$ ($f = 13,68 \pm 0,08 \text{ cm}$)
pelo método da determinação do mínimo.

$\frac{1}{f} = 0,03920 \frac{\text{cm}^{-1}}{\text{cm}^{-1}}$ ($f = 25 \pm 2 \text{ cm}$) e $\frac{1}{f} = 0,03494 \frac{\text{cm}^{-1}}{\text{cm}^{-1}}$
($f = 28,62 \pm 0,05 \text{ cm}$) pela análise das assintatas de
 $D(S_o)$ obtidas por exel.

• Dados os elevados valores obtidos para a
potência da lente pelos assintatas em
Exel de $D(S_o)$, consideramos melhor
descartá-las, uma vez que todos os outros valores
com exceção de uma distância focal $(21,53 \text{ cm})$
seus mínimos, foram próximos entre si.

Assim, realizando a média de f entre os 4 valores a considerar, obtémos uma $f = 15,82 \text{ cm}^{\pm 0,08}$ e potência de lente de $L = 0,06319 \text{ cm}^{-1}$, para a lente de dispersão +15. Isso, o valor obtido por nós experimentalmente (descartando os valores obtidos pelos assentados) é bastante semelhante ao real, apresentando um erro de ~~aprox.~~ $5,5\%$.

→ conclusão

Como ambas as lentes usadas nesta atividade experimental eram biconvexas e portanto convergentes a imagem de objetos pela lente foi invertida. Além disso, dependendo das distâncias transparência (área e distância lente) a focal de ampliação pode ser menor que 1 (dimensões da imagem são menores que as dimensões originais) ou superior ou igual a 1 (dimensões da imagem são maiores ou iguais a 1).

Quanto à lente biconvexa +15 o valor obtido experimentalmente para a distância focal foi $f = 15,82 \text{ cm}$ o que equivale a uma potência de lente $L = 0,06319 \text{ cm}^{-1}$. Tirando os resultados obtidos pela aproximação a assentados por excel do gráfico D(S) e os resultados obtidos pelos diferentes métodos para f e L foram relativamente precisos.

No longo da experiência decidimos aumentar a nossa gama experimental (retiramos os dados dos dados), o que nos permite eliminar aqueles que consideravamoos duvidosos (marcados a vermelho na tabela 1), o que interfere bastante para obtermos positiva no resultado experimental, que se tornou mais preciso e perto da realidade.