

# Física Experimental IV – FAP214

[www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex](http://www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex)

[www.fap.if.usp.br/~hbarbosa](http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa)

## Aula 4, Experiência 2

### Ótica de Fourier e

### Computador Ótico

# Atividades da Semana – Parte 1

- Fotografe figuras de difração para os seguintes objetos:
  - fendas simples (pelo menos duas fendas)
  - fenda dupla (pelo menos duas fendas)
  - fio de cabelo
  - todos os objetos na linha superior do slide de fendas
- Discuta os resultados obtidos.
  - Para as fendas simples e duplas tente relacionar, qualitativamente, as figuras observadas com as dimensões dos objetos.
  - Tente identificar a forma geométrica dos objetos na linha superior do slide de fendas a partir das figuras de difração observadas.

# Difração Qualitativa

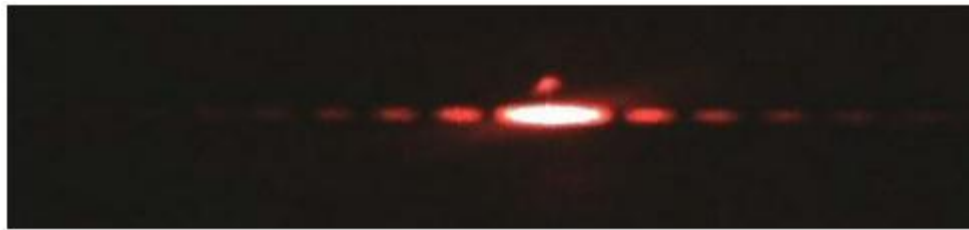


Figura 1 – Figura de difração da fenda simples estreita.

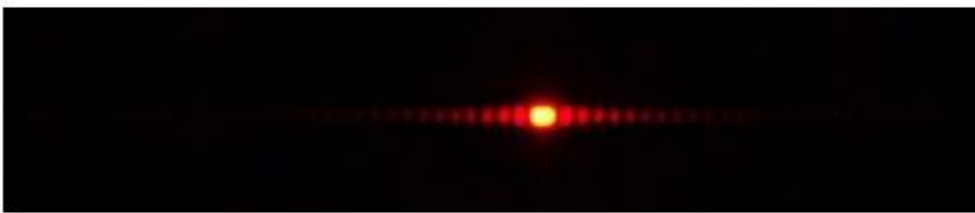


Figura 2 – figura de difração da fenda simples larga.

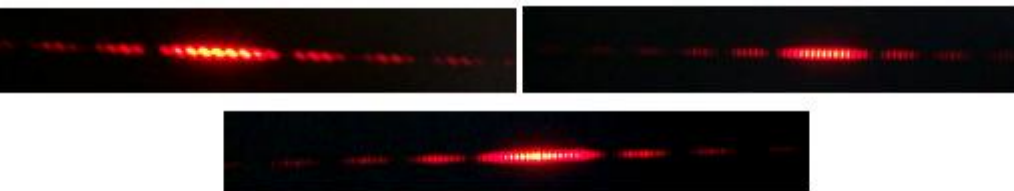


Figura 3 – figura de difração da fenda dupla estreita.



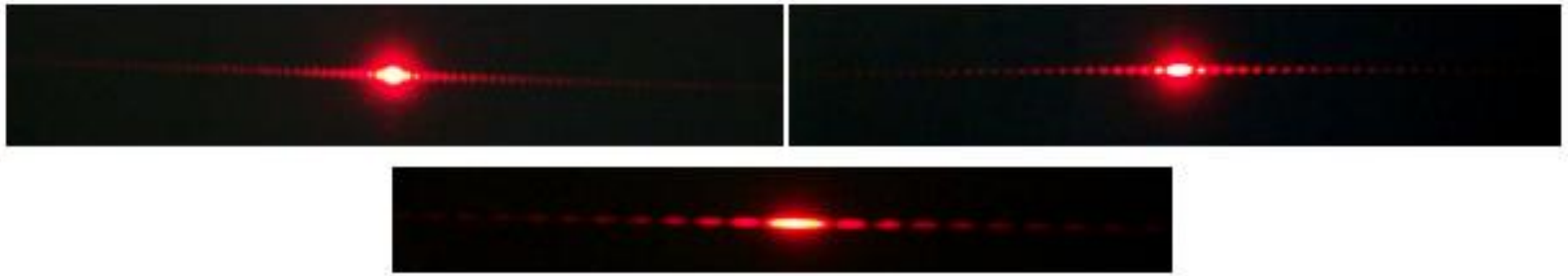
Figura 4 – figura de difração da fenda dupla média.



Figura 5 – figura de difração da fenda dupla larga.

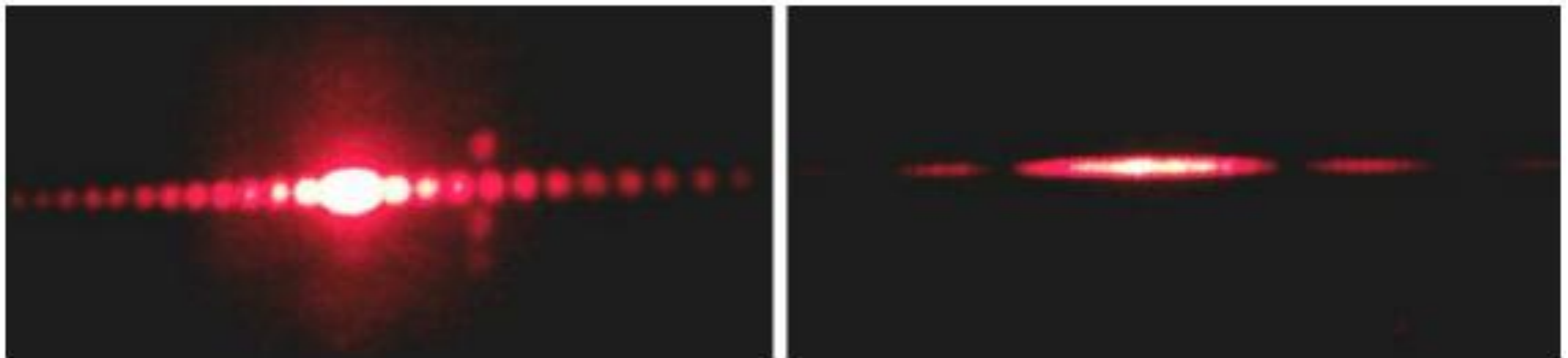
Quanto menor a fenda,  
mais espalhada a difração.

# Interpretação invertida...



**Figura 4:** Fotos das imagens de difração para fenda simples pequena, média e grande, respectivamente.

Quanto maior a fenda, mais espalhada a difração !?!



**Figura 5:** figura de difração para duas fendas simples distintas, a primeira com abertura menor que a segunda.

# Fenda Simples: **Intensidade**

- A intensidade para o caso da fenda simples também apresenta mínimos:

$$I = I_0 \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2, \quad \beta = \pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta$$

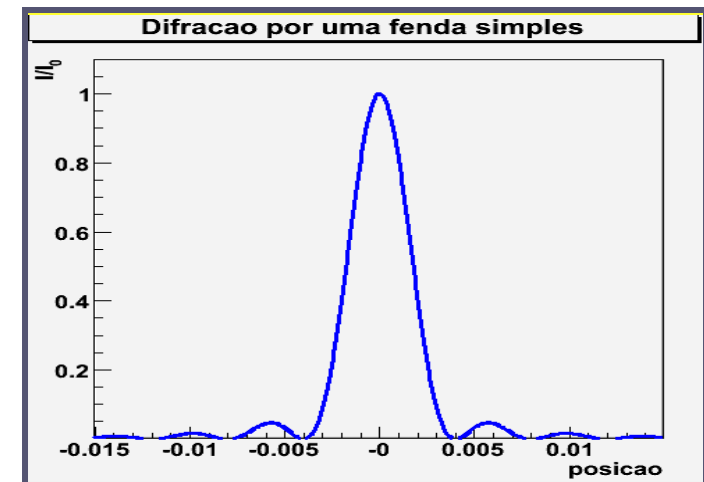
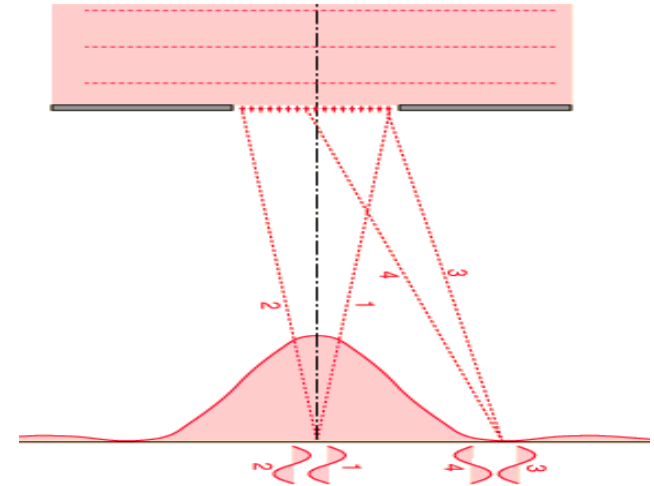
- Que ocorrem quando:  
 $\sin \beta = 0 \Rightarrow \beta = \pm m\pi, m = 0, 1, 2, 3, \dots$

- Ou seja:

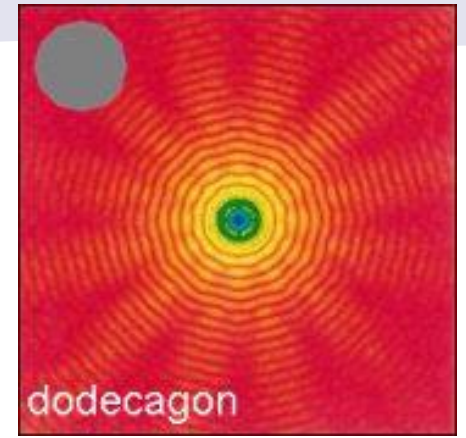
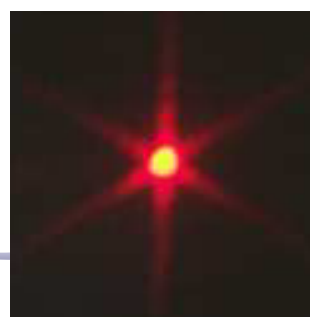
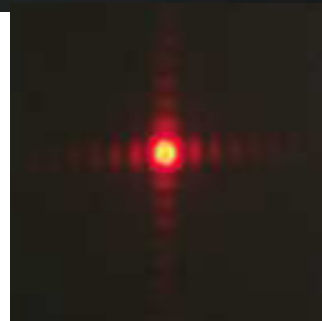
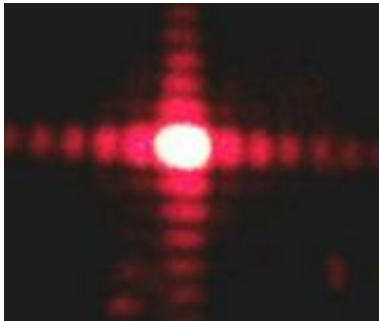
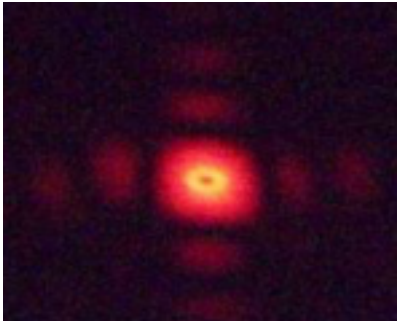
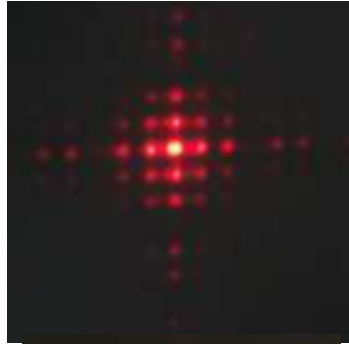
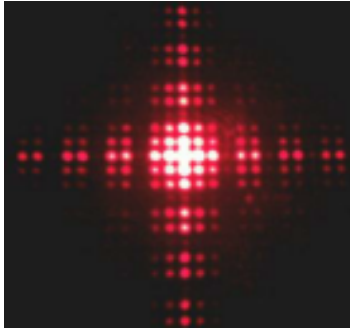
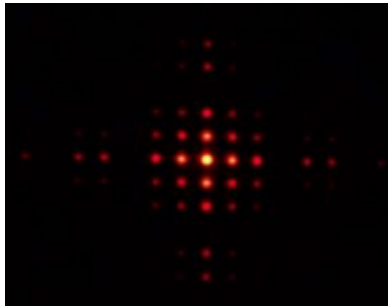
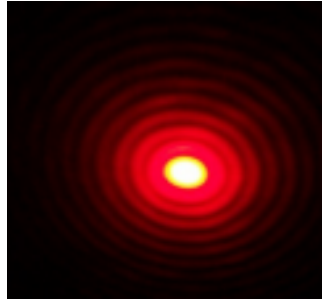
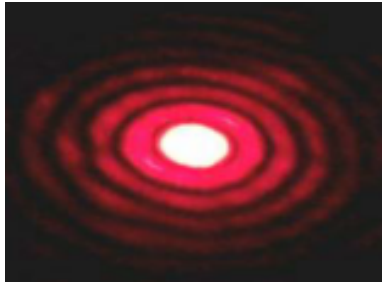
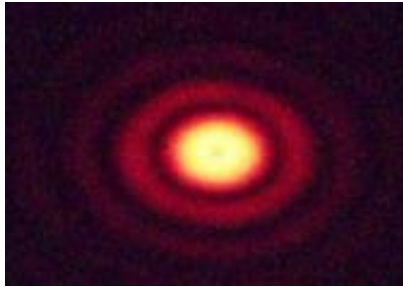
$$d \sin \theta = \pm m\lambda, m = 1, 2, 3, \dots$$

- Para  $m=0$  temos um máximo pois:

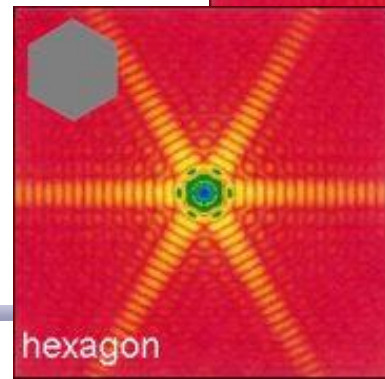
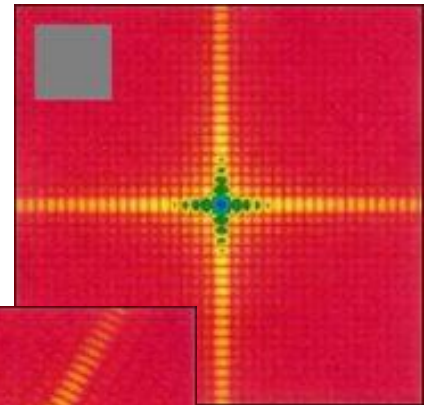
$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1$$



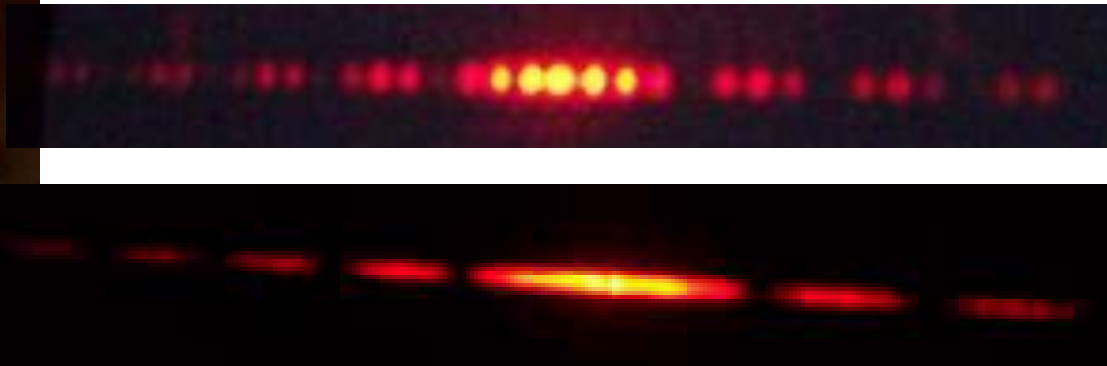
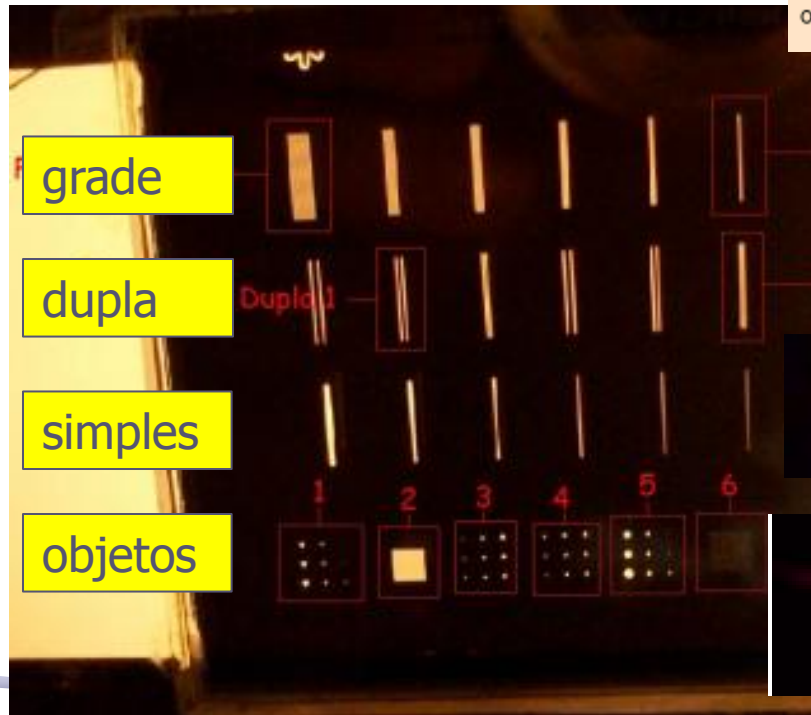
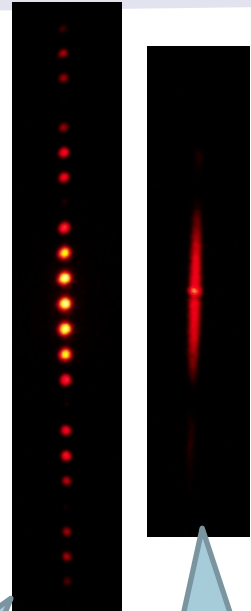
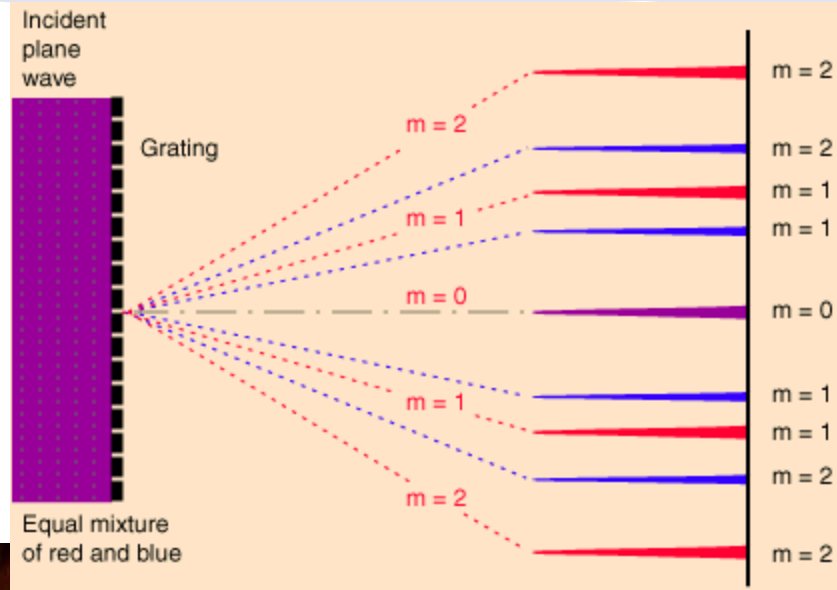
# Outras figuras



Rede de difração



# Confusão entre Fenda e Grade



# Atividades da Semana – Parte 2

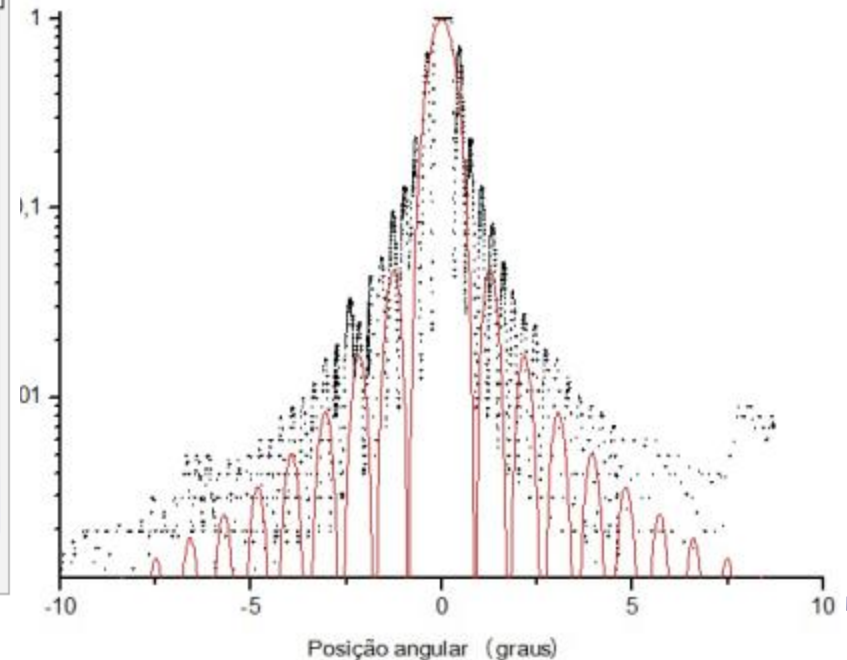
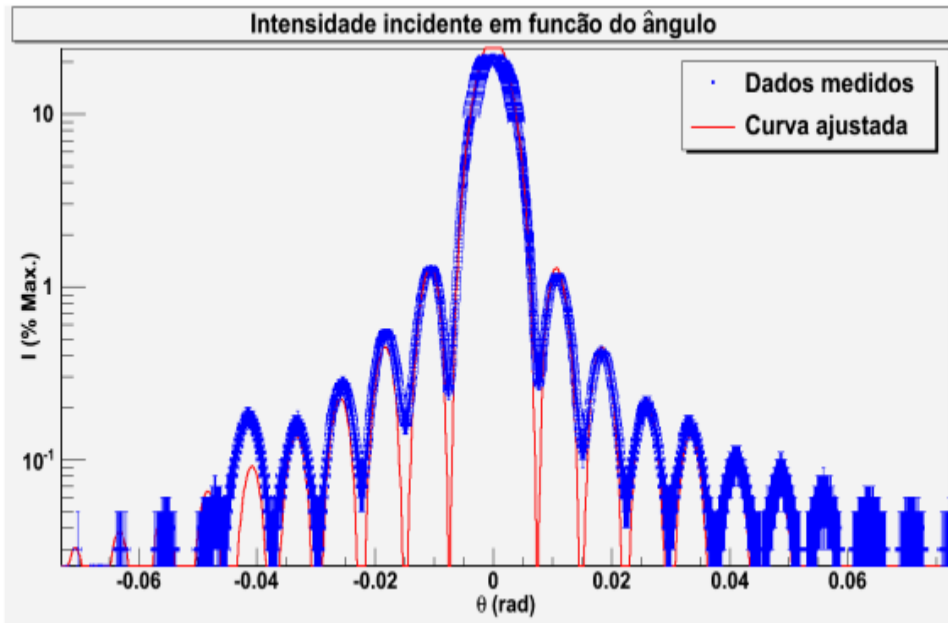
- Estudar a difração de uma fenda simples.
  - Medir o espectro de difração desta fenda
    - Lembre-se que queremos uma fenda específica
  - Ajustar a curva teórica aos dados, utilizando mínimos quadrados.
    - A curva teórica descreve bem os dados? Há alguma discrepância? O que poderia explicar eventuais discrepâncias? Descreva os resultados.
      - Dica: Compare detalhadamente os dados com teoria.
  - Caso a função teórica seja insuficiente para explicar os dados obtidos, discuta modificações nessa função (por exemplo, limitações impostas pelo arranjo experimental) e obtenha uma função mais realista que possa explicar os dados obtidos.



# Espectro

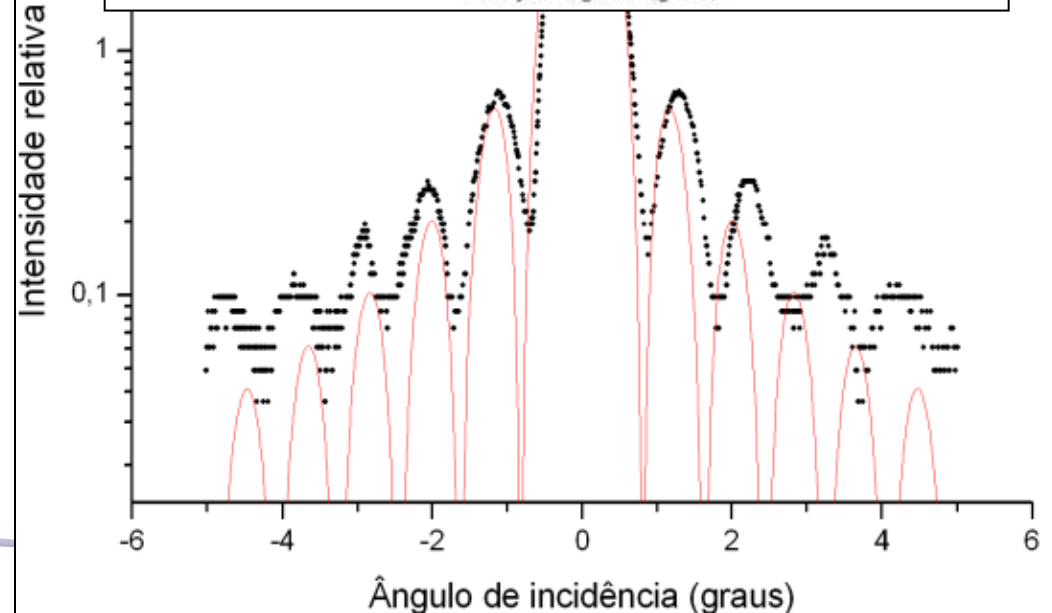
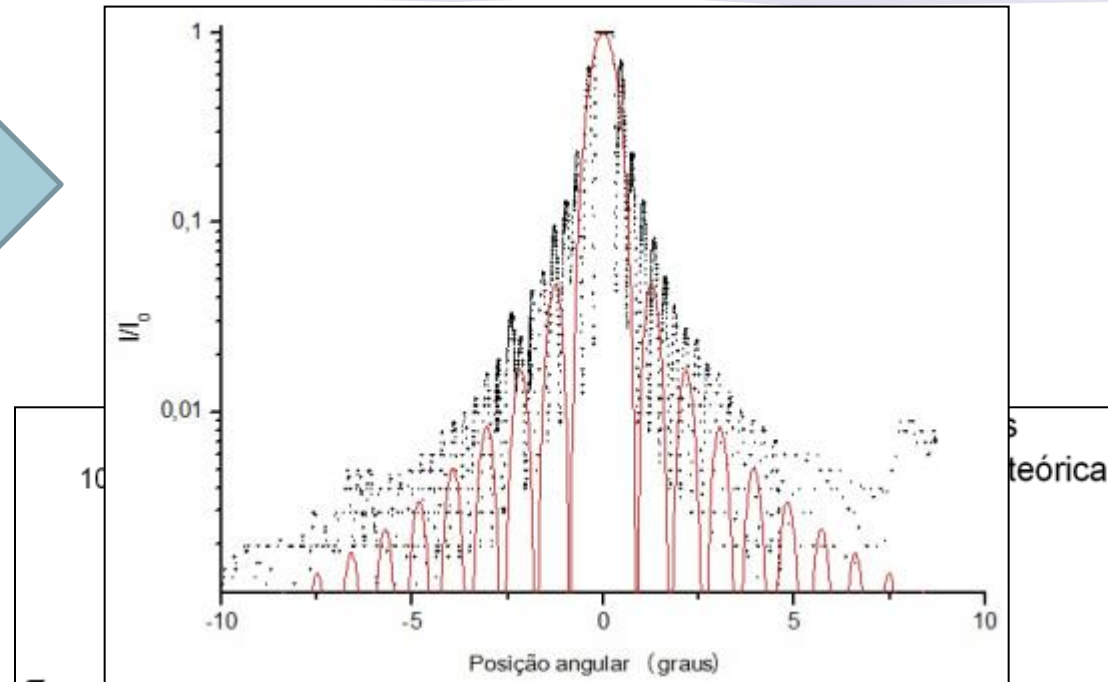
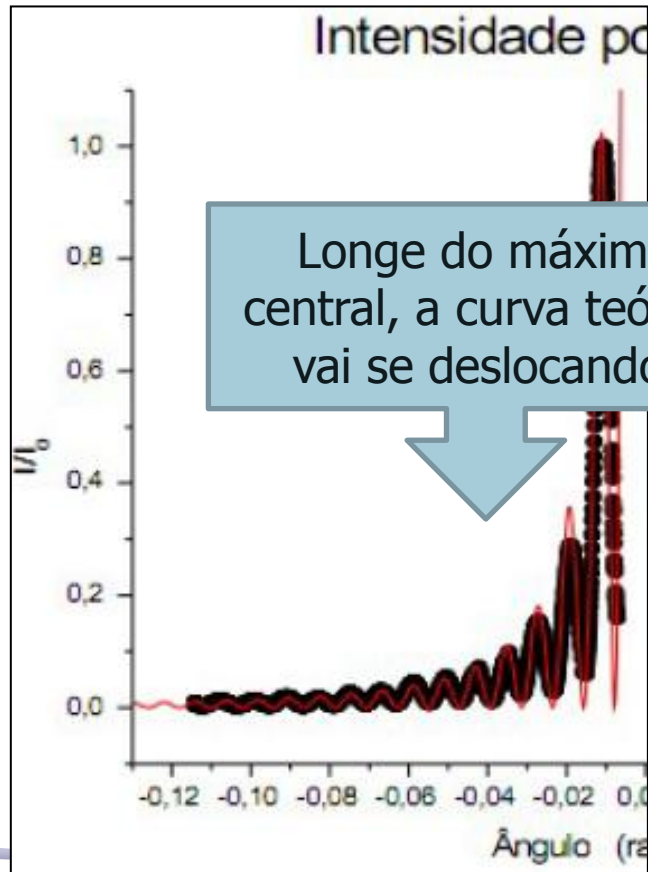
As seguintes observações são relevantes:

- O gráfico é uma junção de dois conjuntos de dados: Um deles obtido com ganho (do sensor ótico) a 10x (na região longe do centro) e outro obtido com ganho a 1x (na região do pico central, que estava saturando com 10x de ganho). Por essa razão, essa região possui uma incerteza dez vezes maior.
- As incertezas usadas são 0,09 grau no ângulo (conforme manual da PASCO, fabricante do DataStudio) e 1 na intensidade (conforme programa ScienceWorkshop da PASCO).
- O ajuste está ruim (só é bom em termos qualitativos, pois indica corretamente a posição aproximada dos picos), mas acredita-se que isso se deve a



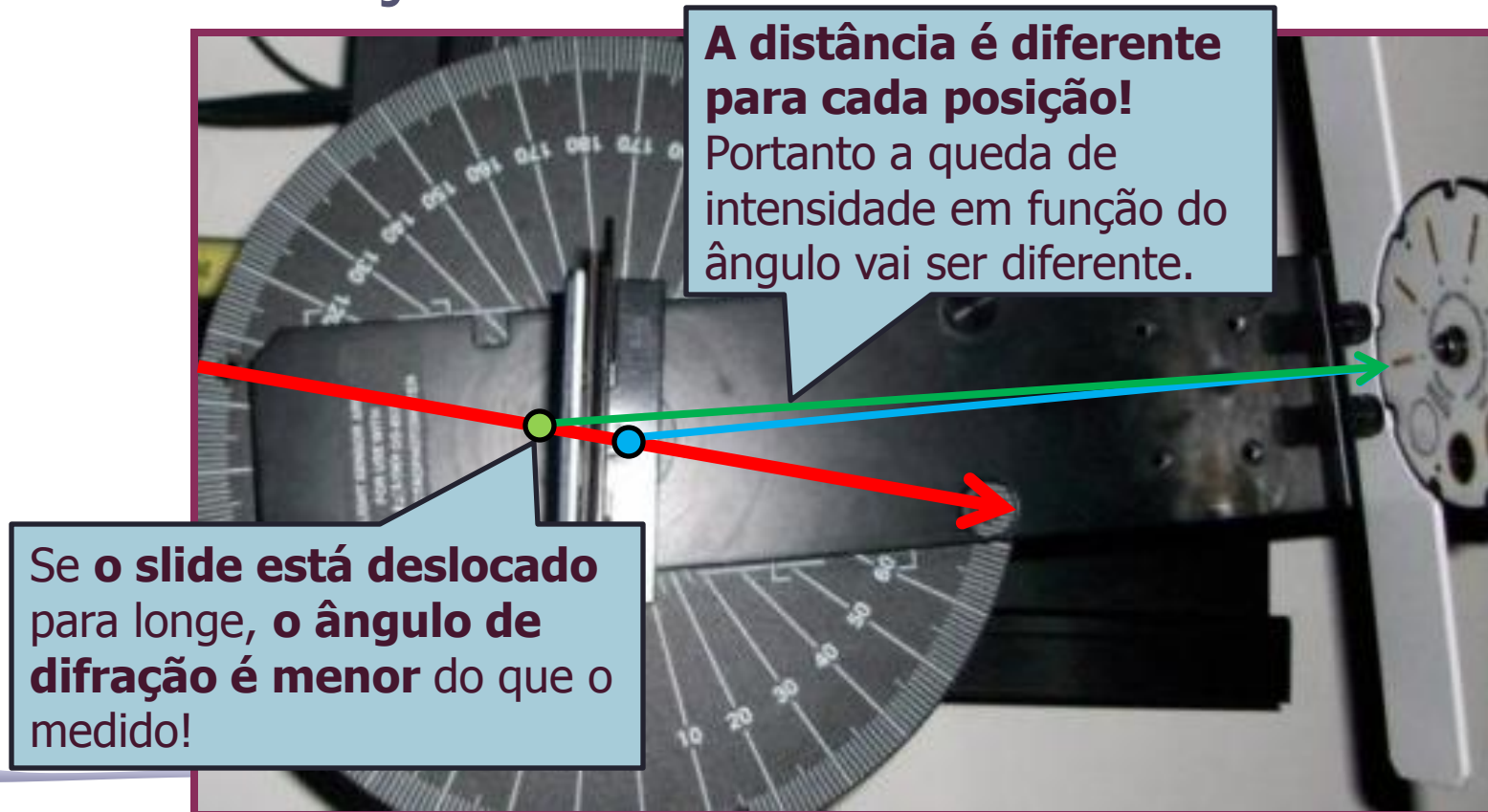
# Este Ajuste Está Bom ?

Os máximos parecem ser bem ajustados, mas a curva teórica se anula nos mínimos, o que não acontece com os dados!



# A posição do slide

- Um dos problemas é que o slide não está colocado bem no centro do prato. Neste caso, o ângulo medido não corresponde ao ângulo da difração!



# A posição do slide

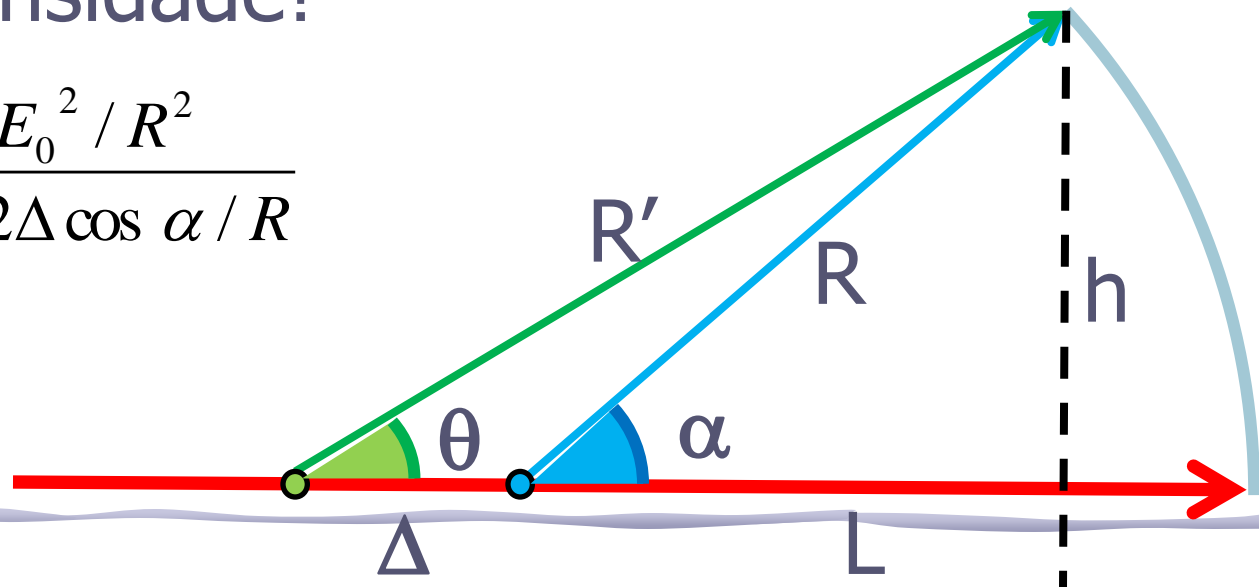
- A difração é dada por:  $I = I_0 \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2$ ,  $\beta = \pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta$

- Mas o ângulo medido não é o da difração!

$$\begin{cases} R \sin \alpha = h \\ R \cos \alpha = L \end{cases} \Rightarrow \tan \theta = \frac{R \sin \alpha}{R \cos \alpha + \Delta}$$

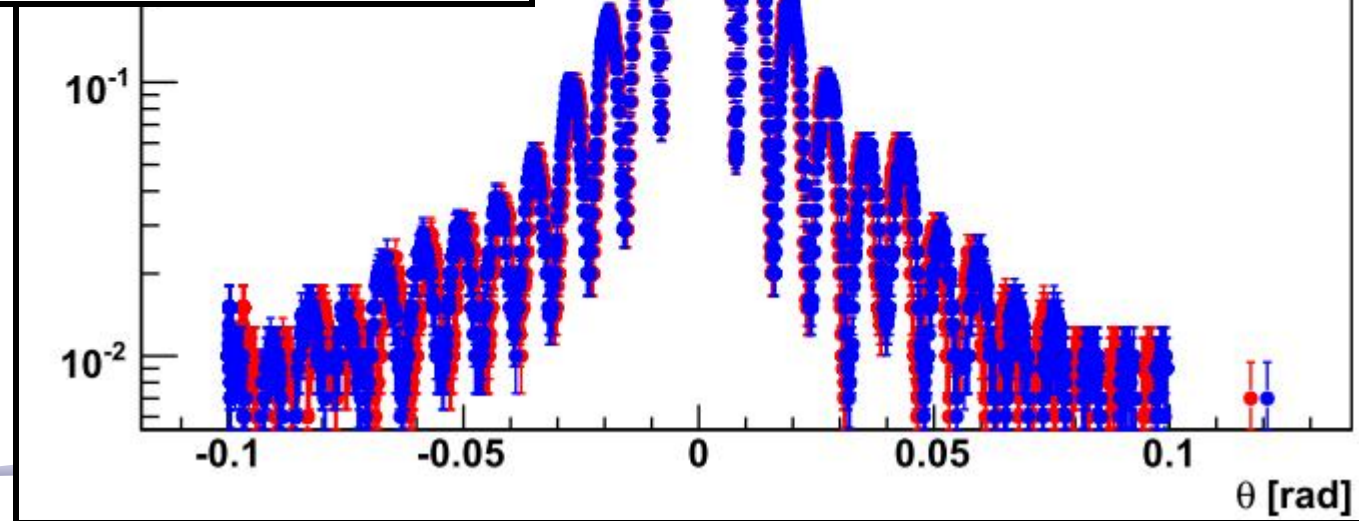
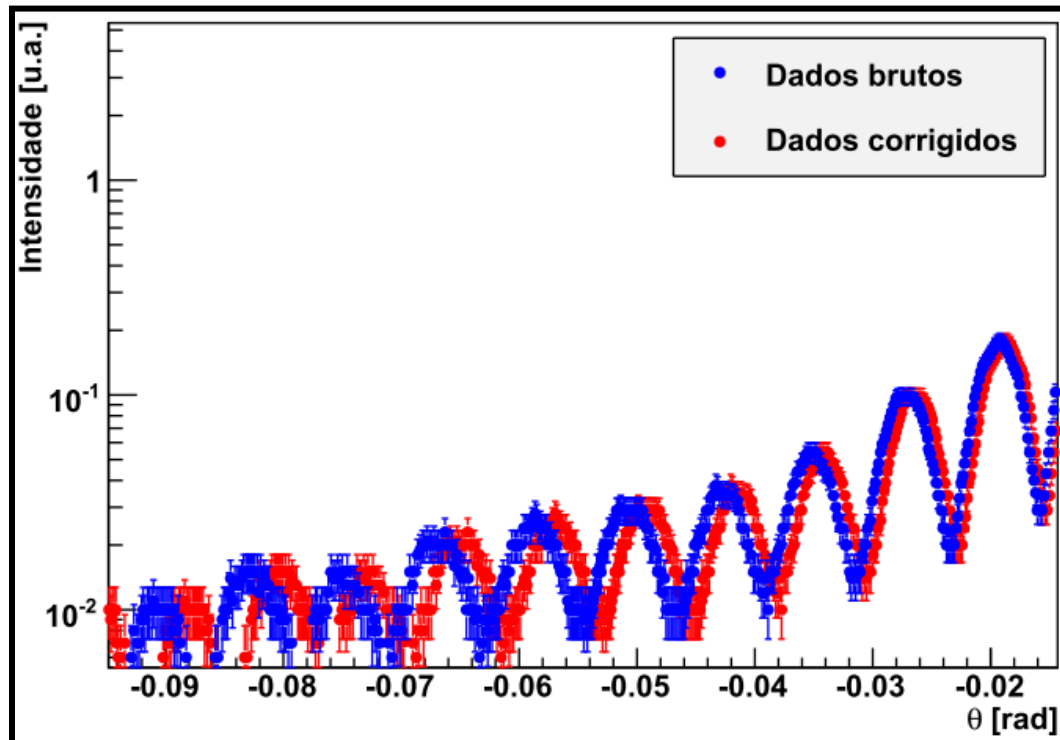
- E nem a intensidade!

$$I_{med} = \frac{E_0^2}{R'^2} \approx \frac{E_0^2 / R^2}{1 + 2\Delta \cos \alpha / R}$$



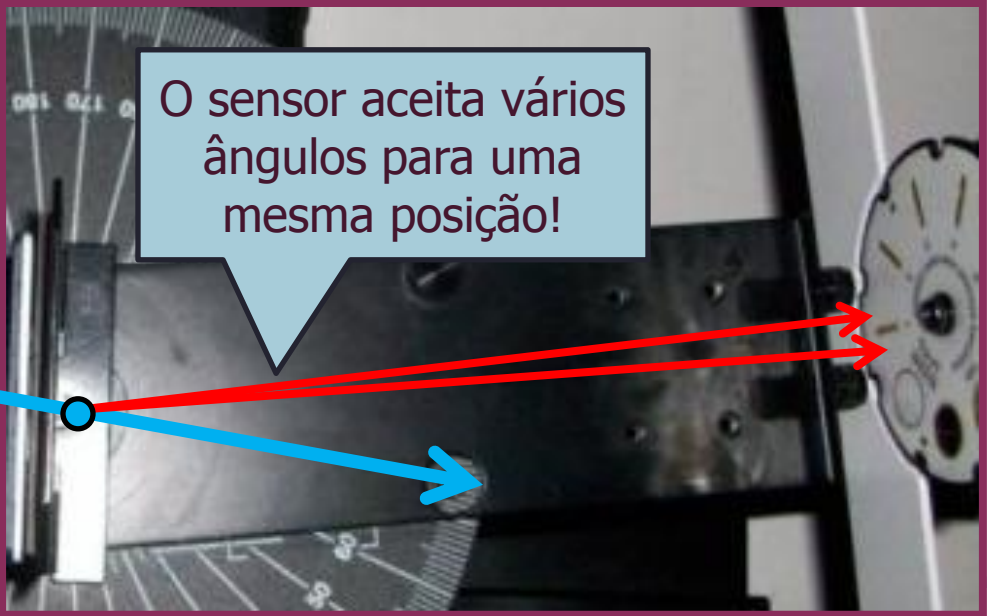
# Corrigindo a Posição do Slide

A correção é pequena e mais importante para grandes ângulos.




# Abertura do Sensor de Luz

- Um outro problema é que o sensor de luz tem uma abertura angular finita. Usamos a fenda mais estreita mas ainda assim estamos integrando sobre uma pequena abertura.



O sensor aceita vários ângulos para uma mesma posição!

A close-up photograph of a light sensor assembly. A ruler is visible in the background. A blue dot is marked on a vertical white strip. Two red arrows originate from this dot and point towards the sensor's lens area. A blue arrow points from the same dot towards the left. The sensor housing is black and has some markings on it.

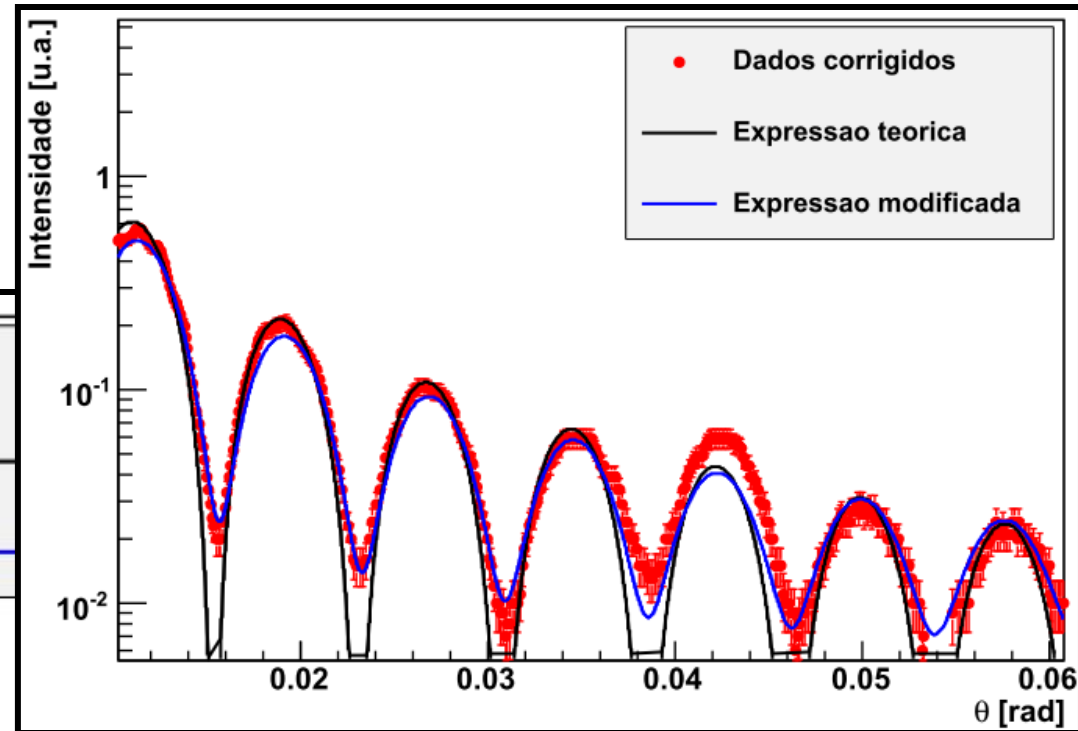
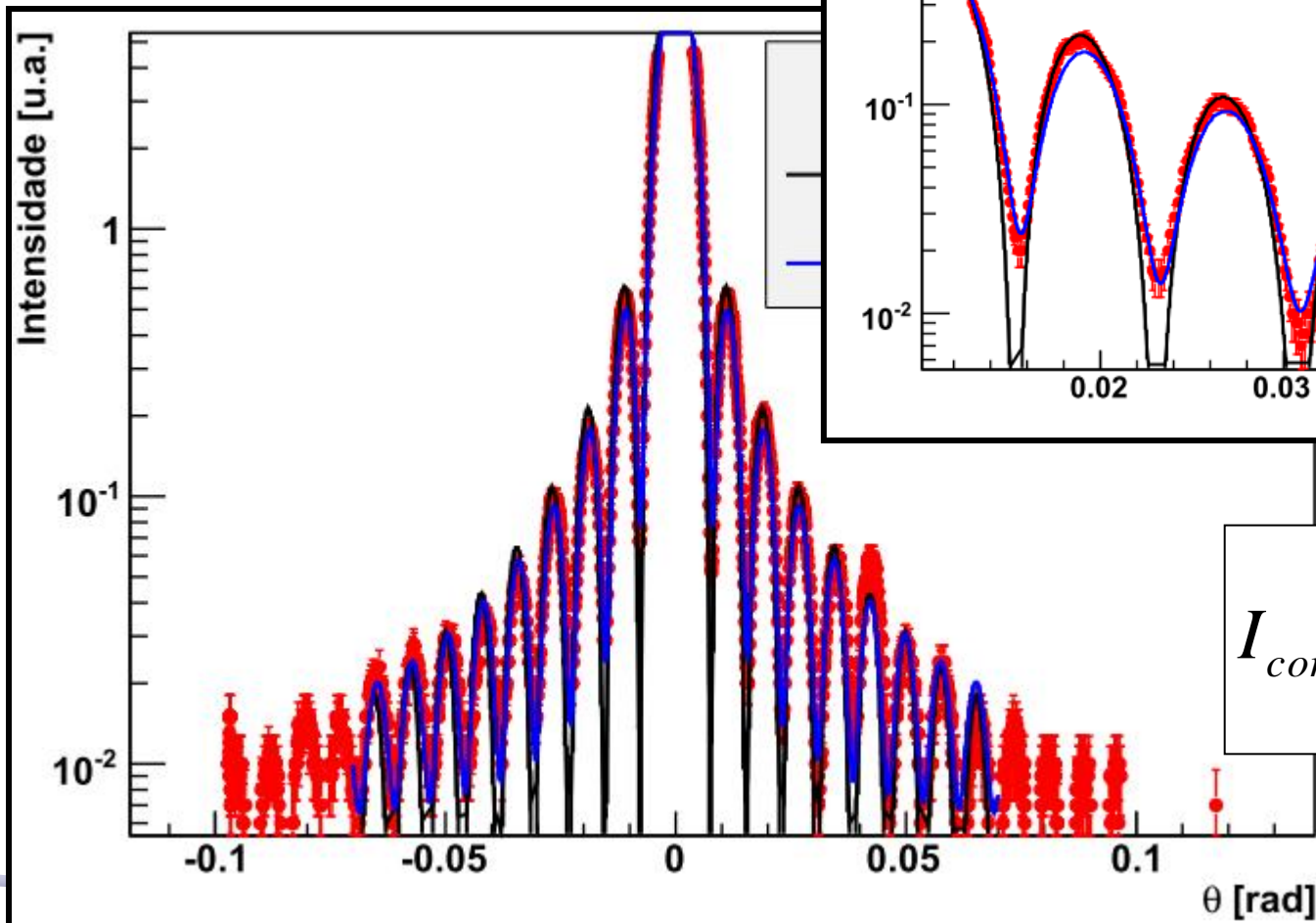


Mesmo a fenda estreita tem uma abertura diferente de zero!

A top-down view of a light sensor. It is a circular component with a black outer ring and a white inner surface. There are several gold-colored pins or contacts around the perimeter. A narrow slit is visible in the center. The text 'SERVO 2' and 'S-8534' are printed on the white surface.

# Corrigindo a Abertura do Sensor

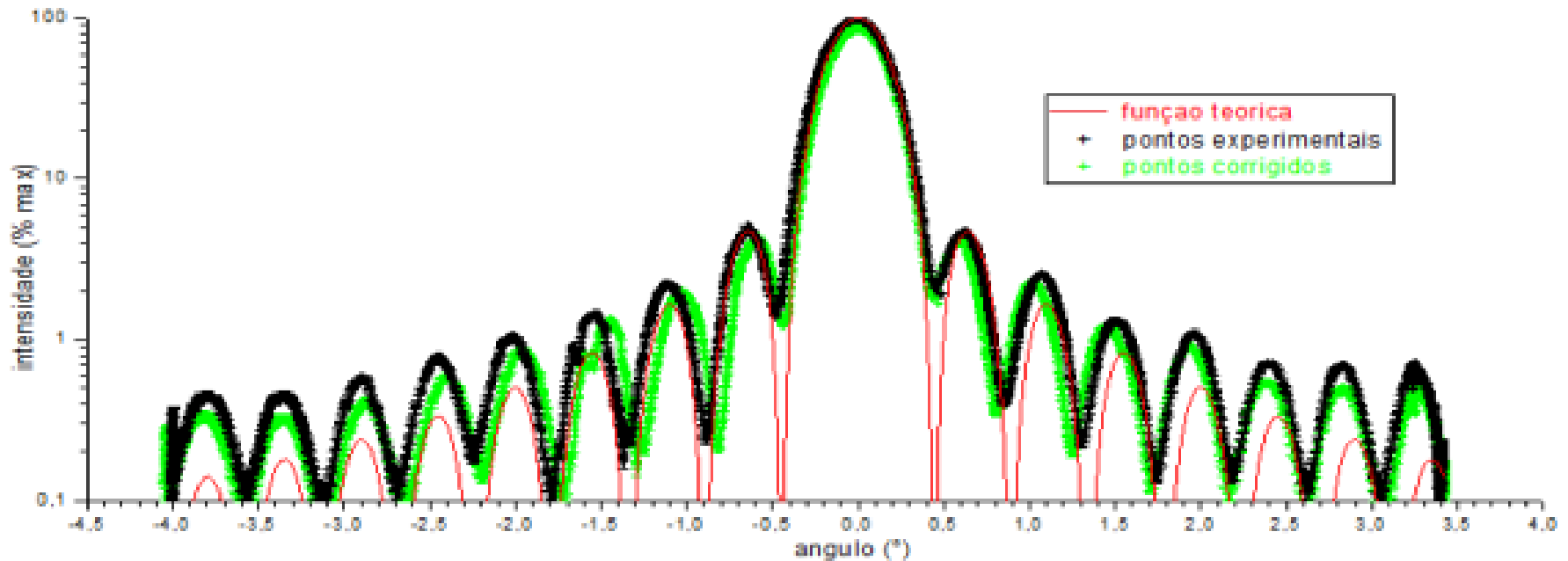
Como o sensor tem uma abertura não pontual, a intensidade nunca é zero.



$$I_{corr}(\theta) = \int_{\theta-\Delta}^{\theta+\Delta} I(\theta') d\theta'$$

# Um dos grupos fez!

intensidade. Aplicando a correção (2) nos dados obtidos, foi possível traçar o gráfico a seguir, na figura 4, em escala de log para melhor comparação, dos dados corrigidos com os dados experimentais, além da previsão teórica. Foi selecionado apenas uma região do gráfico para melhor visualização.

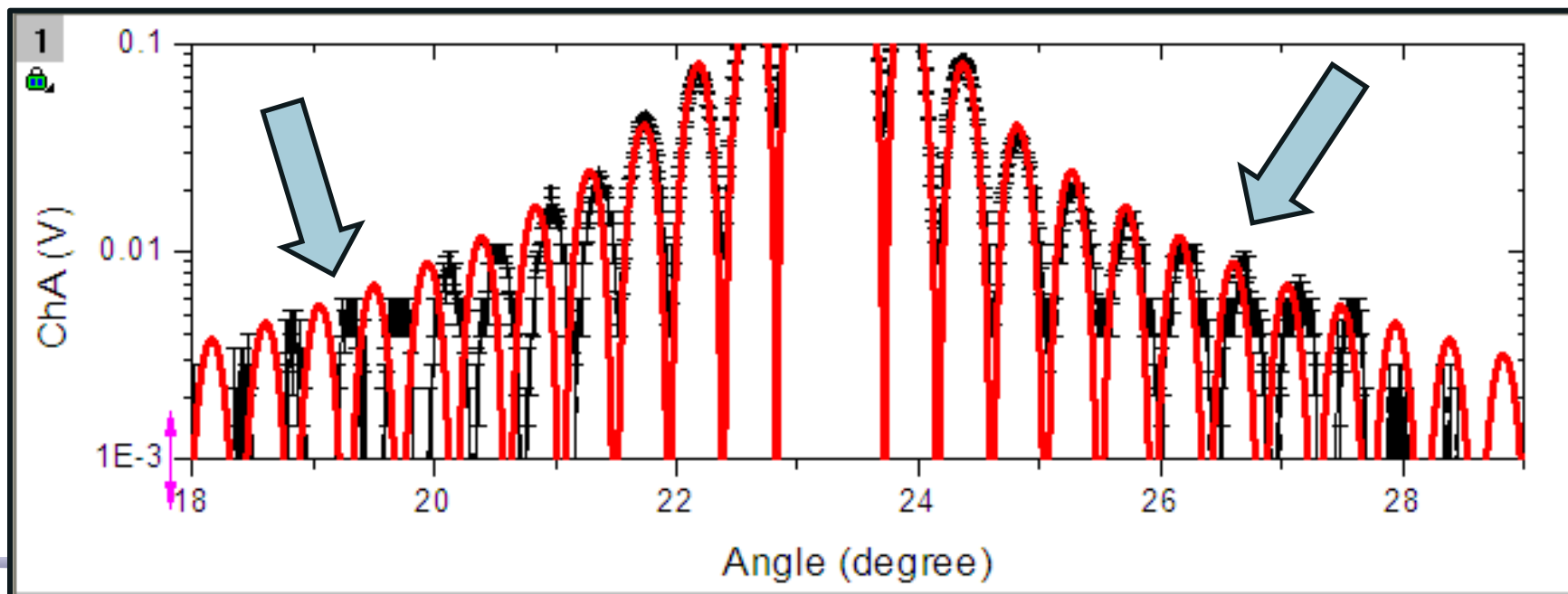


**Figura 4:** gráfico em escala logarítmica da intensidade em função do ângulo para os valores medidos, corrigidos e previstos teoricamente, com as incertezas dadas pela figura 3.



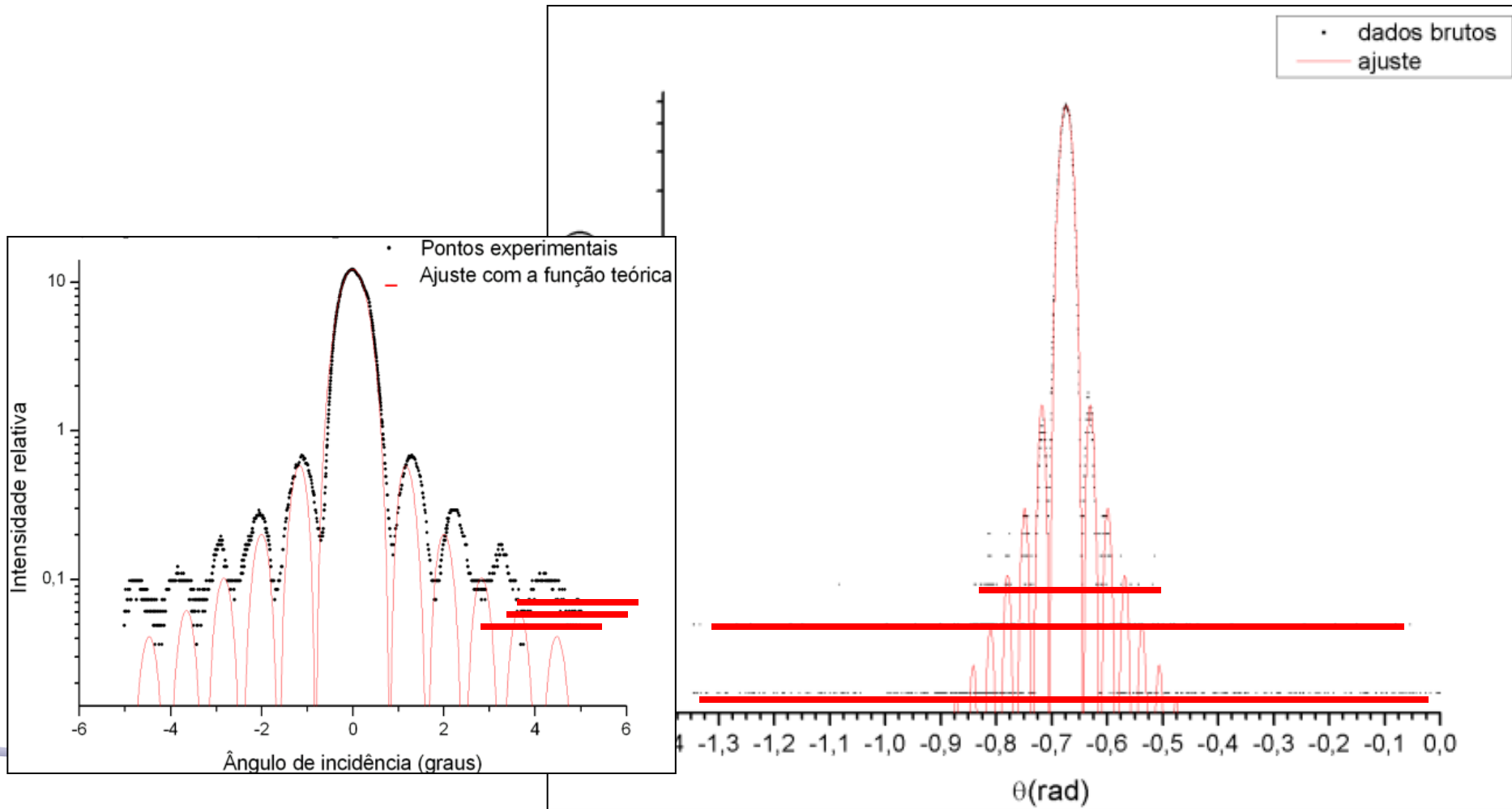
# Alinhamento

- Há ainda o problema de alinhar o slide com o laser. Se o ângulo não for  $90^\circ$ , a figura de difração vai ficar mais apertada de uma lado e mais solta do outro lado.



# Outro problema

- Resolução do DataStudio: era preciso combinar 1x, 10x e 100x



# Largura da Fenda

|     | $\lambda$ (nm) | Largura da fenda  | Fresnel                   |
|-----|----------------|---|---------------------------|
| H01 | 633            | 35.0 (13) $\mu\text{m}$   | $1.72 (5) \times 10^{-8}$ |
| H02 | 630            | 0.082 (3) mm  |                           |
| H03 | 628            | 89.32 (3) $\mu\text{m}$   |                           |
| H04 | 628            |   |                           |
| H05 | 632.8          | 7.68 (41) $\times 10^{-5}$ m (prob.)<br>80.3 (6) $\mu\text{m}$ (ajuste) |                           |
| H06 | 633.2 (25)     | 0,08498 (34) mm   |                           |

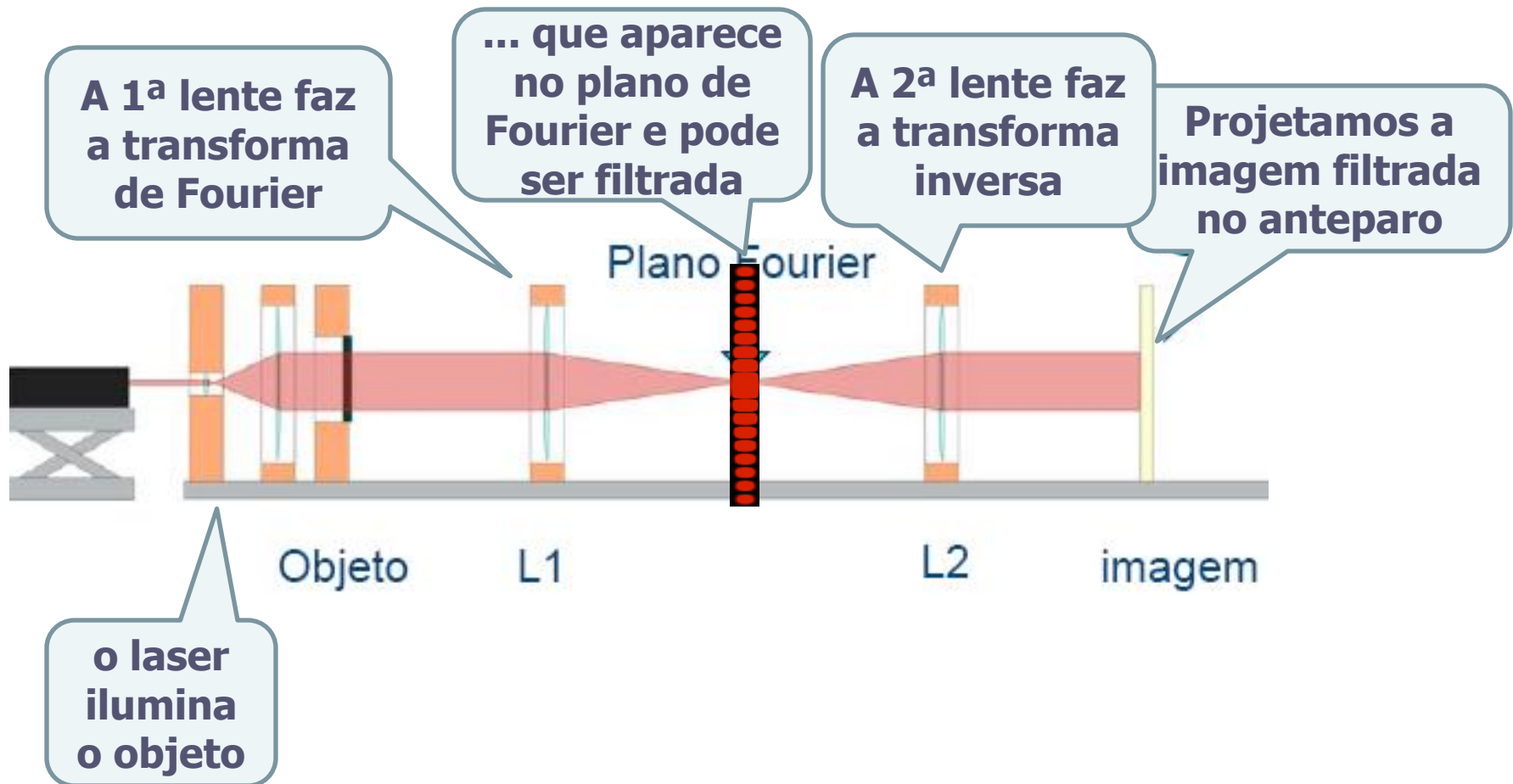
# Computador Óptico



# Computador Ótico



# Computador Ótico



# Construção ...

- Primeiramente precisamos iluminar o objeto de forma uniforme
  - Qualquer luz esta ok?
- Precisamos ser capazes de, experimentalmente, obter a transformada de Fourier deste objeto
- Precisamos criar filtros que atuem de forma diferente em cada componente da T.F.
- Precisamos reconstruir a imagem a partir das componentes já filtradas

# Difração e transformada de Fourier

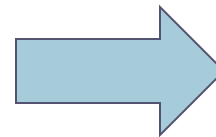
- A figura de difração está relacionada à transformada de Fourier do objeto iluminado

$$\hat{E}(\vec{R}) = \frac{e^{jkR}}{R} \int E_0(x, y) e^{-j(k_x x + k_y y)} dx dy$$

- A intensidade luminosa em uma dada posição está relacionada às intensidades para cada frequência espacial

$$\hat{E}(\vec{R}) \rightarrow E(R_x, R_y) \rightarrow E(k_x, k_y)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \begin{cases} k_x = k \sin \theta \cos \phi \\ k_y = k \sin \theta \sin \phi \end{cases}$$





# Generalizando ainda mais

- Para uma onda plana incidente,  $E_0(x,y)$  é constante (semana passada).
- Além disso, uma onda qualquer pode ser decomposta numa soma de ondas planas.
  - Então já consideramos todos os casos possíveis?
- Não! E se a abertura **não** for uma fenda? E se houver uma **lente** ou um **objeto opaco** que modifiquem **a amplitude** ou **a fase** de  $E(x,y)$  em cada ponto?

# Generalizando ainda mais

- Se houver uma lente, o que interessa é o campo transformado por ela, ou seja:

$$E_0(x, y) \xRightarrow{\text{LENTE}} \varepsilon(x, y)$$

A função da abertura é o campo incidente transformado pelo objeto/fenda/lente/etc onde ocorre a difração.

- A distribuição de campo elétrico na figura de difração de Fraunhofer é a transformada de Fourier da distribuição do campo elétrico na abertura.

$$\hat{E}(k_x, k_y) = \iint \varepsilon(x, y) e^{-j(k_x x + k_y y)} dx dy$$

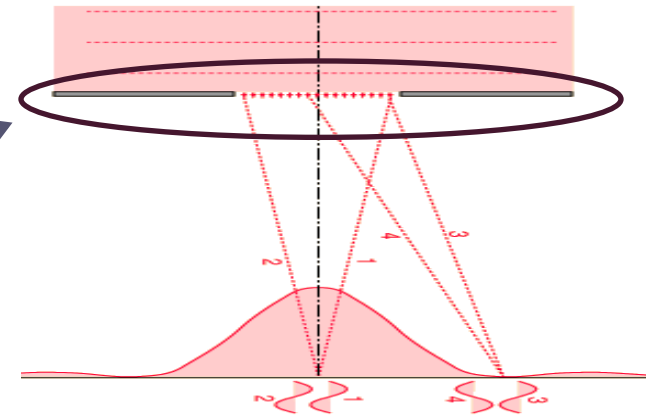
$$\varepsilon(x, y) = \frac{1}{2\pi} \iint E(k_x, k_y) e^{j(k_x x + k_y y)} dk_x dk_y$$

# Exemplo: Fenda Simples

- Na fenda simples, temos apenas 1D

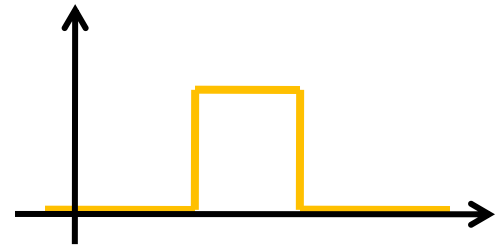
$$\hat{E}(k_x) = \int \varepsilon(x) e^{-jk_x x} dx$$

$$\varepsilon(x) = \frac{1}{2\pi} \int E(k) e^{jk_x x} dk$$



- A função da abertura é a onda quadrada!

$$\varepsilon(x) = \begin{cases} E_0, & \text{se } |x| < \frac{d}{2} \\ 0, & \text{se } |x| > \frac{d}{2} \end{cases}$$



# Exemplo: Fenda Simples

- Vamos fazer a integral da onda quadrada:

$$\hat{E}(k) = \int \varepsilon(x) e^{-jk_x x} dx = E_0 \int_{-d/2}^{d/2} e^{-jk_x x} dx = E_0 \left[ \frac{e^{-jk_x x}}{-jk_x} \right]_{-d/2}^{d/2}$$

- Lembrando da notação complexa para o seno:

$$\hat{E}(k) = \frac{E_0}{k_x} \frac{(e^{+jk_x d/2} - e^{-jk_x d/2})}{j} = 2 \frac{E_0}{k_x} \sin(k_x d / 2)$$

- Multiplicando e dividindo por ***d***, temos:

$$\hat{E}(k) = E_0 d \frac{\sin(k_x d / 2)}{k_x d / 2}$$

Revisão! Vimos isso semana passada...

# Exemplo: Fenda Simples

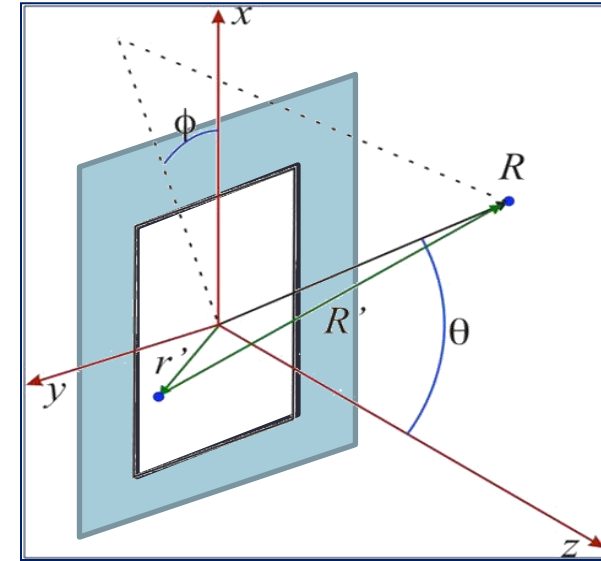
- O  $k_x$  era uma mistura dos ângulos com o número de onda:

$$k_x = k \sin(\theta) \cos(\phi)$$

- Como só temos 1 dimensão:

$$k_x = k \sin(\theta) = \frac{2\pi}{\lambda} \sin(\theta)$$

- E o campo elétrico fica dado por:



$$\hat{E}(k) = E_0 d \frac{\sin \beta}{\beta}, \quad \beta = \frac{k_x d}{2} = \pi \frac{d}{\lambda} \sin(\theta)$$

A intensidade depende da largura da fenda

$$\Rightarrow I = I_0 \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2$$

Exatamente o que tínhamos antes!

# Exemplo: T.F.

- Será que a posição e a intensidade dos máximos são o que esperamos?

$$I = I_0 \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2, \quad \beta = \pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta$$

- Para os máximos SECUNDÁRIOS,  $\sin(\beta) = \pm 1$

$$\sin \beta = 1 \Rightarrow \beta = \pm(2m+1) \frac{\pi}{2}, m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

$$\pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta = \pm(2m+1) \frac{\pi}{2}$$

- E as posições são:

$$\Rightarrow \sin \theta_{\max} = \pm \frac{\lambda}{2d}, \pm 3 \frac{\lambda}{2d}, \pm 5 \frac{\lambda}{2d}, \dots$$

Lembram da T.F. da onda quadrada ??

# Exemplo: T.F.

- A intensidade é:

$$I = I_0 \left( \frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2$$

- Portanto os máximos SECUNDÁRIOS ficam:

$$I(\theta_{\max}) = \frac{I_0}{\beta^2} = \frac{1}{(2m+1)^2} \frac{4I_0}{\pi^2} = 1 \frac{4I_0}{\pi^2}, \frac{1}{9} \frac{4I_0}{\pi^2}, \frac{1}{25} \frac{4I_0}{\pi^2}, \dots$$

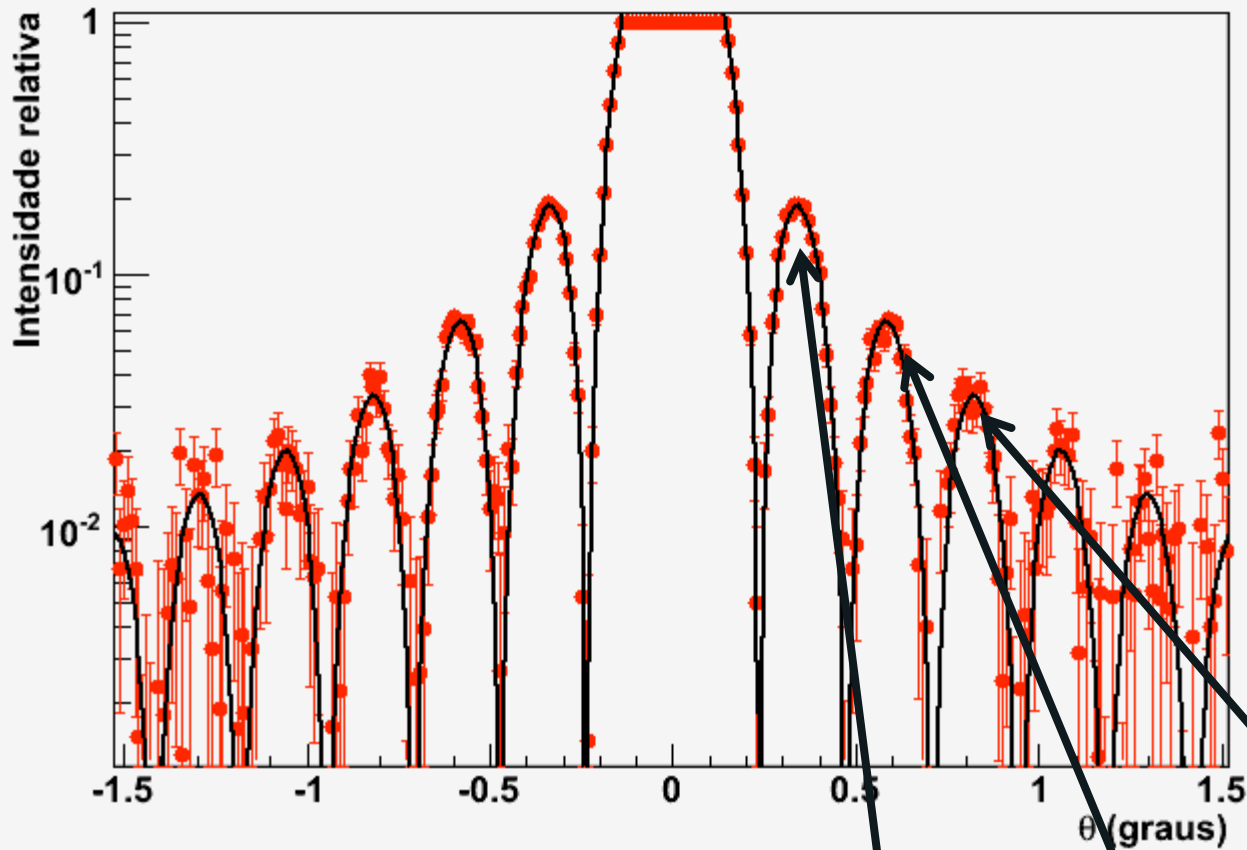
- Assim, o campo elétrico é:

$$|\hat{E}| = \sqrt{I} \Rightarrow \frac{|\hat{E}|}{\sqrt{\frac{4I_0}{\pi^2}}} = 1, \frac{1}{3}, \frac{1}{5}, \dots$$

Lembram da T.F. da onda quadrada ??

# Exemplo: T.F.

Difracao de uma fenda simples



$$V(t) = V_0 \left[ \frac{4}{\pi} \sin(\omega t) + \frac{4}{3\pi} \sin(3\omega t) + \frac{4}{5\pi} \sin(5\omega t) + \dots \right]$$



# Difração x Computador óptico

- A condição de Fraunhofer estará satisfeita se o anteparo estiver a uma distância muito grande em comparação às dimensões da abertura. No caso das fendas utilizadas no experimento anterior esse é o caso:
  - A nossa bancada é suficientemente longa se comparado às dimensões das fendas utilizadas ( $\mu\text{m}$ )
- Mas no caso de objetos maiores, não é possível observar a figura de difração de Fraunhofer, pois o comprimento de onda é pequeno e a bancada é curta.

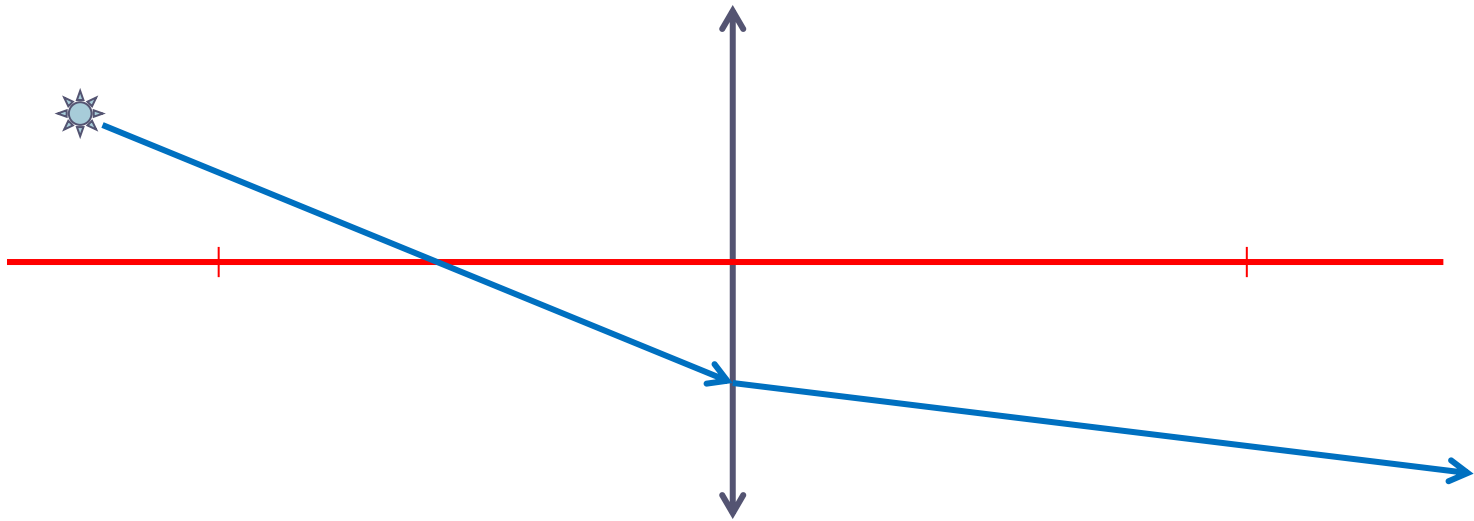
# Computador ótico

- Então, como fazer a transformada de Fourier da imagem do nosso objeto macroscópico?
- Sabemos que quando a imagem do objeto passar pela lente, do outro lado vai sair um  $E(k_x, k_y)$  que é a transformada de Fourier do  $\varepsilon(x, y)$ .
- Para saber o que vai acontecer exatamente, é preciso considerar como a lente modifica a amplitude e a fase de  $E_0$  em cada ponto  $(x, y)$ .
  - Vejam detalhes no site da Rice University, Physics 332, Fourier optics, seção C.

O que acontece é que a transformada de Fourier aparece no plano focal.

# Lente simples

- Seja uma fonte pontual em um sistema óptico do tipo:



- Vamos relembrar como tratamos as lentes...

# T.F. e o método matricial

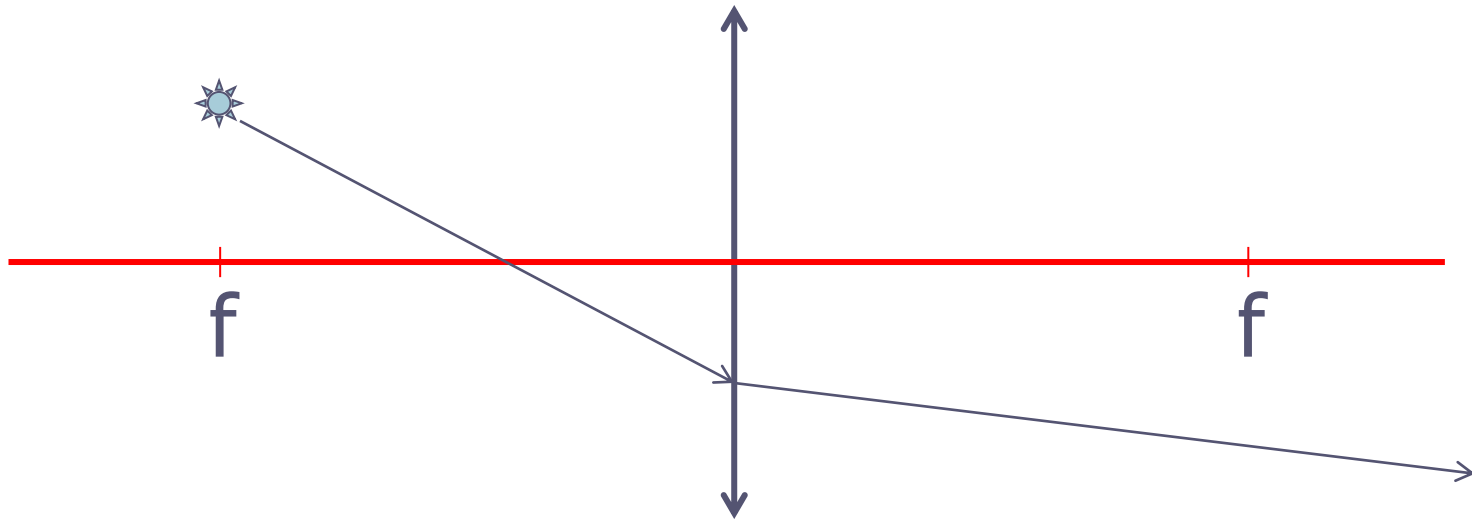
- Seja uma transformação do tipo:

$$\begin{pmatrix} r_2 \\ \phi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r_1 \\ \phi_1 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{cases} r_2 = Ar_1 + B\phi_1 \\ \phi_2 = Cr_1 + D\phi_1 \end{cases}$$

- Se  $\mathbf{A} = \mathbf{0}$ , todos os raios de mesmo ângulo passam pelo mesmo ponto  $\mathbf{r}_2$
- Se  $\mathbf{D} = \mathbf{0}$ , todos os raios de mesmo ponto de origem emergem com o mesmo ângulo do sistema óptico.

# Lente simples

- Agora vamos considerar uma fonte pontual no plano focal...




- O que acontece?

# Calculando...

- A matriz de transformação é:

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


$$r_2 = f\phi_1$$

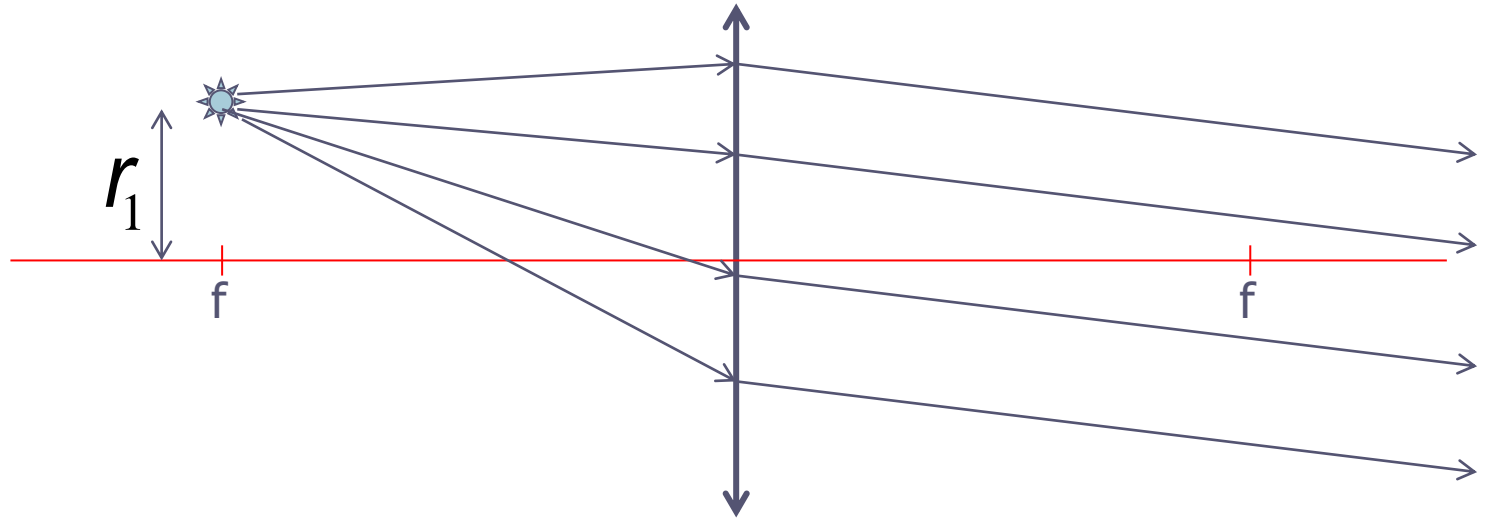
$$\phi_2 = -\frac{1}{f}r_1$$

O Ângulo no qual o raio de luz emerge depende apenas da posição da fonte, ou seja, os raios emergem paralelos → onda plana

# Lente simples

- Fonte pontual no plano focal.
  - Todos os raios emergem com o mesmo ângulo  
→ saída é uma **onda plana**

$$r_2 = f\phi_1$$
$$\phi_2 = -\frac{1}{f}r_1$$



- O que está acontecendo? Porque um fonte pontual se transforma em uma onda plana??

# Uma T.F. importante

- Um fonte pontual é uma função delta:

$$f(r) = \delta(r - b)$$

- Cuja transformada de fourier é:

$$FT\{\delta(r - b)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(r - b) e^{-2\pi i r \xi} dr = e^{-2\pi i b \xi}$$

- Conseqüentemente, a transformada de Fourier de uma onda plana será uma função delta!



# Onda plana

- Onda plana de direção bem definida (não necessariamente no eixo óptico do sistema)

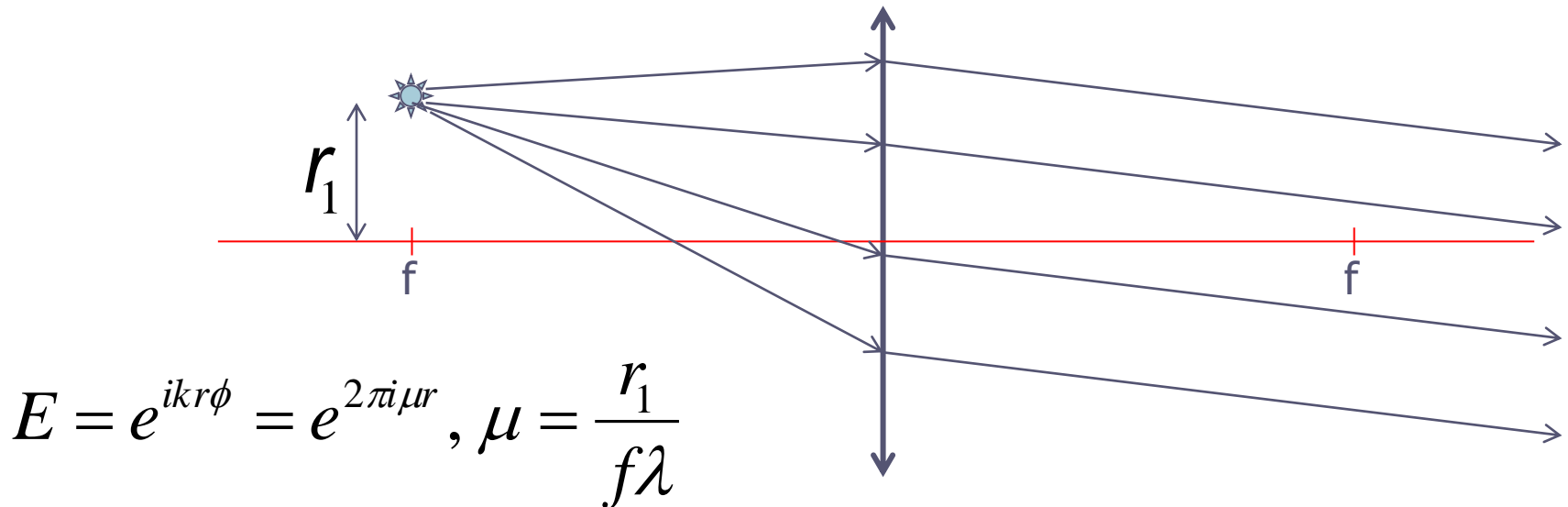
$$E = e^{i\vec{k}\cdot\vec{r}} = e^{ikr\sin\phi} \sim e^{i\frac{2\pi}{\lambda}r\phi} = e^{2\pi i\mu r}, \quad \mu = \frac{\phi}{\lambda}$$

- A transformada de fourier é:

$$FT\{e^{2\pi i\mu r}\} = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{2\pi i\mu r} e^{-2\pi i\xi r} dr = \delta(\mu - \xi)$$

# Lente simples

- Fonte pontual no plano focal: a lente está fazendo a transformada de fourier!



NOTA: colocamos todas as distâncias= $f$ , por isso aparece a transformada de fourier exata. Se um deles fosse diferente, apareceria uma **fase**. Como estamos medindo apenas a amplitude, não vemos isso no lab!

# O reverso de aplica

- Se um conjunto de raios paralelos atinge uma lente em um ângulo bem definido, eles se cruzam no plano focal de tal modo que essa posição vale:

$$r_2 = f\lambda\mu = f\phi_1$$

- Como  $\mu$  é uma frequência espacial (ver onda plana, alguns slides atrás), tem dimensão de  $1/[L]$ , de tal forma que podemos escrever:

$$\lambda\mu = \phi_1 \Rightarrow \frac{\lambda}{d} = \phi_1 \Rightarrow d\phi_1 = \lambda$$

# Finalmente...

- A equação de primeira ordem de um objeto difrator é

$$d\phi_1 = \lambda$$

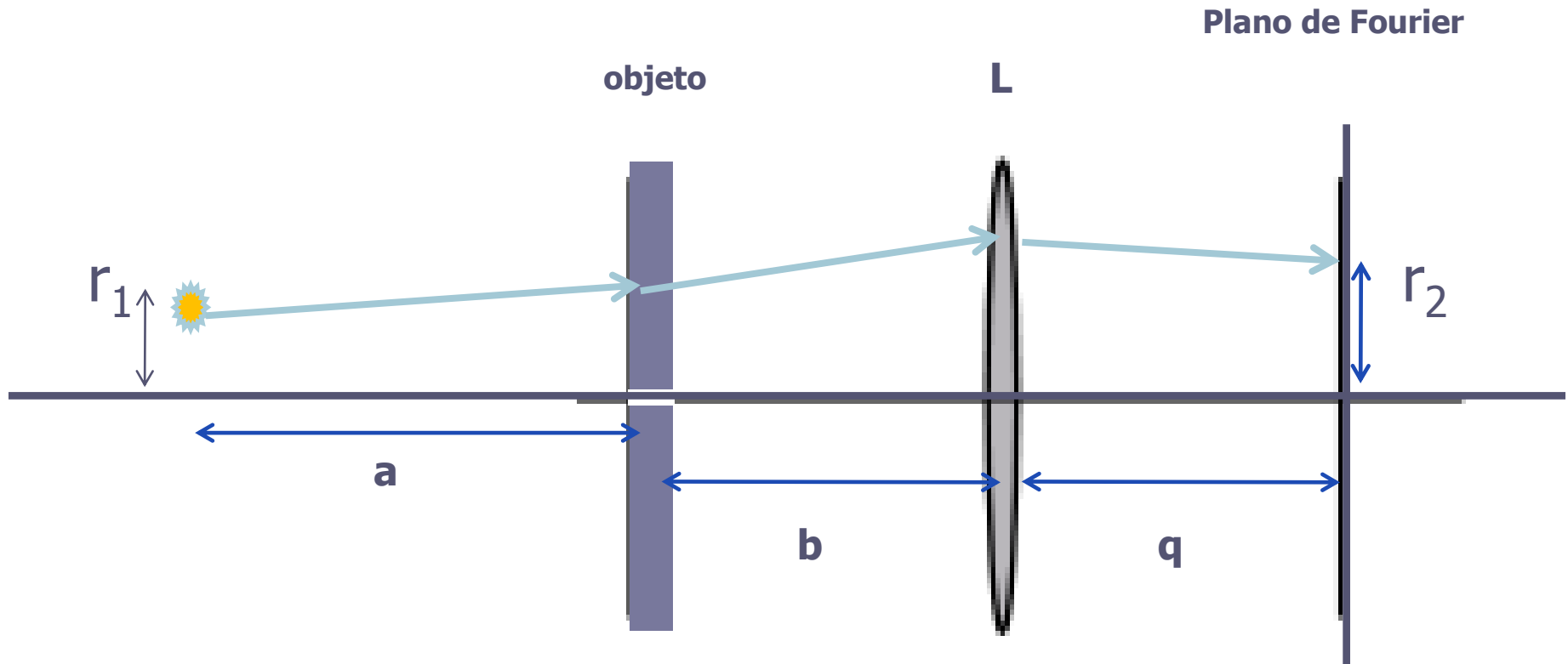
Lembrar da equação:

$$d\text{sen}\theta = m\lambda$$

- Como o padrão de difração corresponde à transformada de Fourier (no campo elétrico), a lente funciona como um elemento que permite obter essa TF.

# Generalizando...

- Iluminando o objeto com uma fonte pontual qualquer

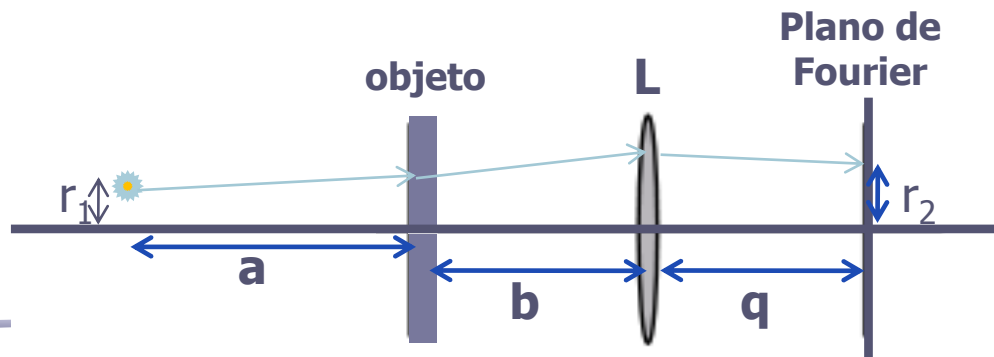


# Generalizando...

- Iluminando o objeto com uma fonte pontual qualquer
- A matriz de transformação é (deduzam):

$$r_2 = \left(1 - \frac{q}{f}\right)r_1 + \left(a + b - \frac{aq}{f} - \frac{bq}{f} + q\right)\varphi_1 + \left(b + q - \frac{bq}{f}\right)\frac{m\lambda}{d}$$

$$\varphi_2 = -\frac{r_1}{f} + \left(-\frac{a}{f} - \frac{b}{f} + 1\right)\varphi_1 + \left(1 - \frac{b}{f}\right)\frac{m\lambda}{d}$$



# Generalizando...

- $r_2$  deve ser independente de  $\varphi_1$

$$a + b - (a + b) \frac{q}{f} + q = 0 \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{q} + \frac{1}{a + b}$$

- Se a fonte está no infinito, ou seja, o objeto está iluminado por uma onda plana:

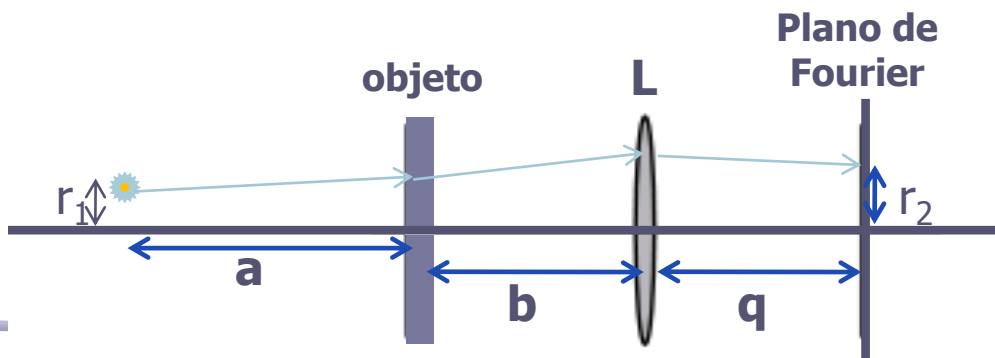
$$a \rightarrow \infty \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{q} + \frac{1}{a + b} \Rightarrow q = f$$

# Posição do plano de fourier

- A posição do plano de fourier de uma lente depende tanto da posição da fonte quanto do objeto.

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a+b}$$

- Caso a fonte esteja no infinito, o plano de fourier encontra-se na distância focal da lente e **INDEPENDENTE** da posição do objeto.



$$q = f$$



# “Tamanho” da transformada

- Se a fonte está no eixo óptico, a posição de convergência dos raios é:

$$r_1 = 0 \quad \text{se} \quad r_2 = \left( b + q - \frac{bq}{f} \right) \frac{m\lambda}{d}$$

- Substituindo a expressão para a distância focal, temos:

$$r_2 = \left( \frac{qa}{a+b} \right) \frac{m\lambda}{d}$$

- Se o objeto está na distância focal,  $b=f$ , e:

$$r_2 = f \frac{m\lambda}{d}$$

# Objetivos da semana

- Estudar o plano de fourier de uma lente
- Posição do plano

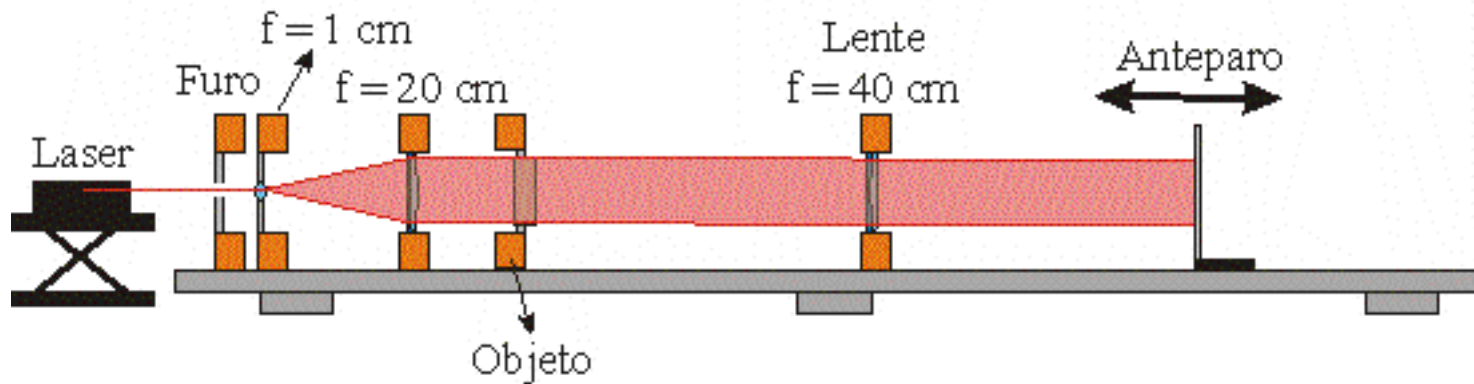
$$\frac{1}{q} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a+b}$$

- Tamanho da T.F.
  - Objeto no foco

$$r_2 = f \frac{m\lambda}{d}$$

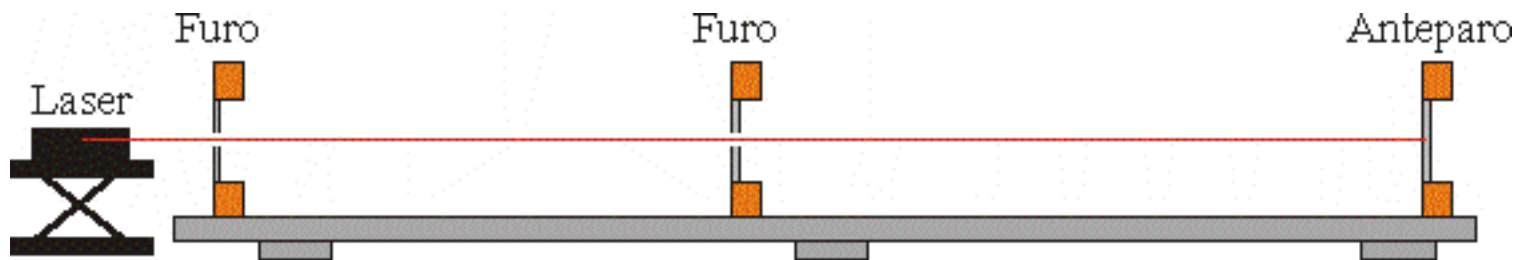
# Arranjo experimental

- Laser e orifícios para alinhamento
- Lentes (para mudar o diâmetro do laser) e faser a T.F.
- Objeto (grades quadriculadas) e anteparos



# Montagem

- Alinhamento do sistema óptico:
  - Montar, no trilho, dois orifícios e um anteparo rebaixado no centro.
  - Alinhar o laser, fazendo o feixe passar por todos os furos e atingir o centro do anteparo.
  - **NÃO MOVIMENTAR MAIS O SISTEMA ÓPTICO!!!!!!**



# Montagem

- Alargar o laser para poder incidir na imagem
  - Usar a lente de  $f = 1 \text{ cm}$  e  $f = 20 \text{ cm}$
  - Aumento do laser =  $20/1 = 20$  vezes
  - Lembre da experiência de lentes para saber como determinar a distância entre as lentes.
    - A primeira pode ser bem próxima ao furo.



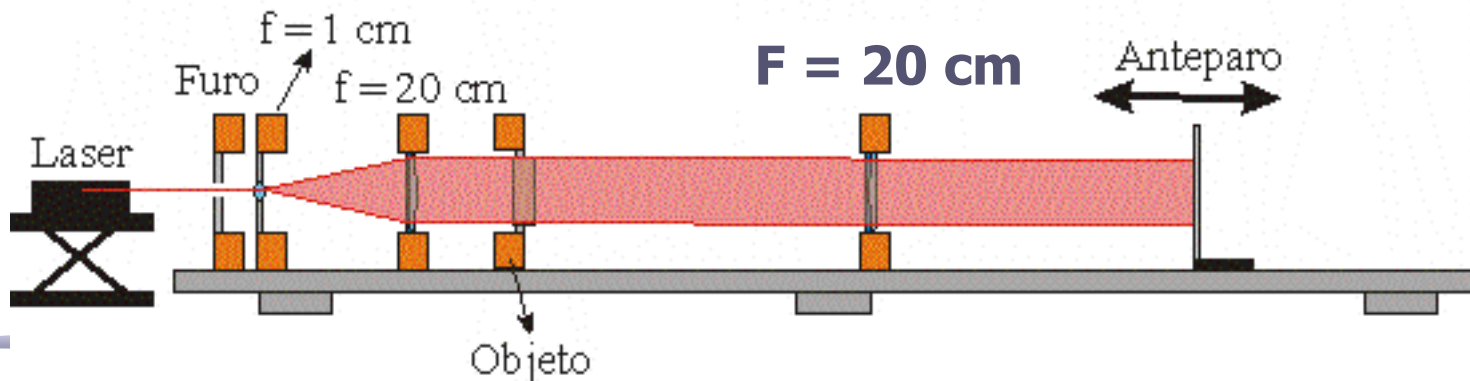
# Montagem

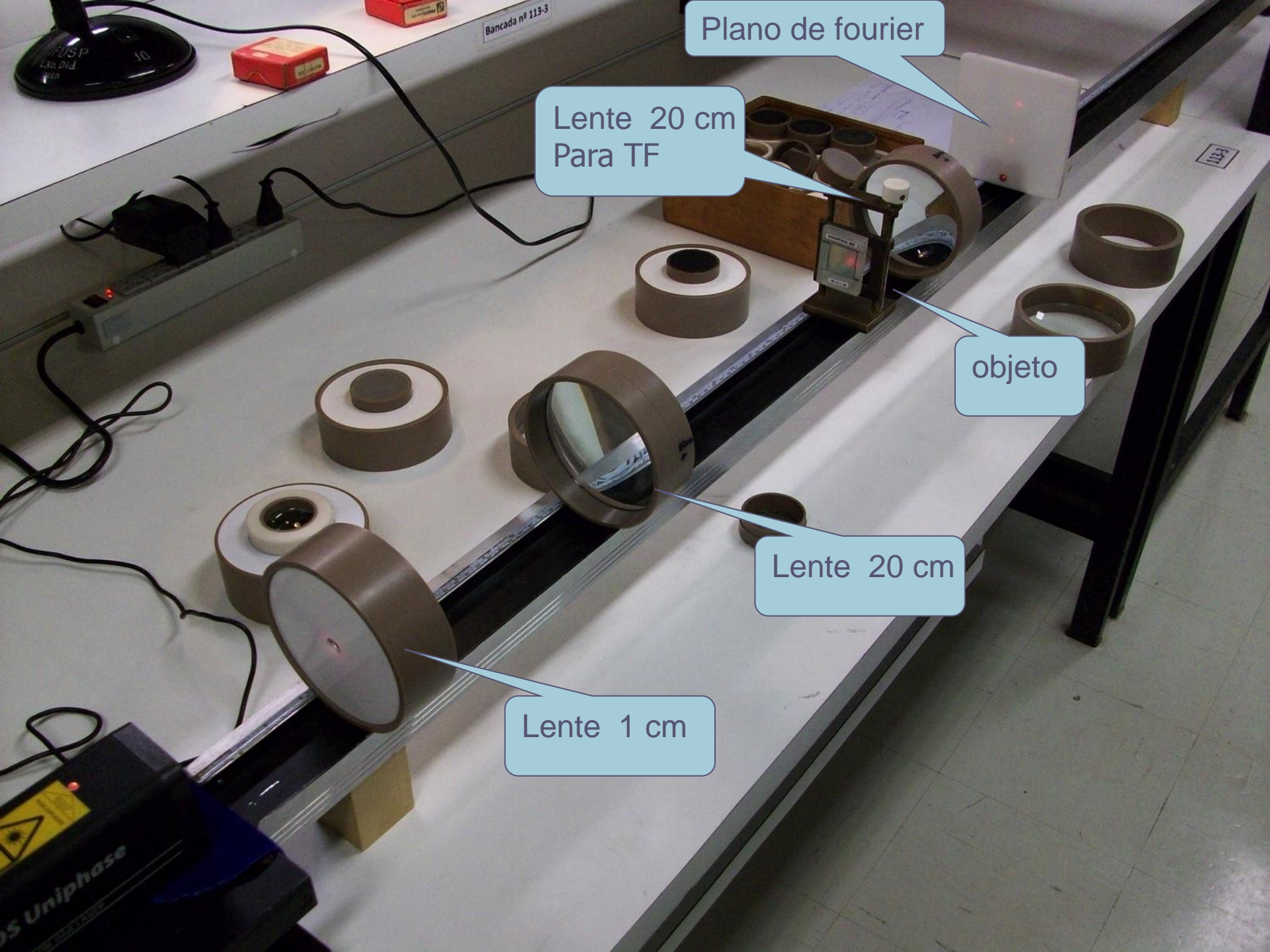
- Uma fonte pontual a uma distância FINITA pode ser obtida ajustando a posição da lente de 20 cm em relação à de 1 cm, causando uma divergência controlada do feixe.



# Montagem

- Montar o computador óptico
  - Colocar o objeto (no caso, a rede) na posição vertical.
  - Colocar a lente de  $f = 20$  cm com a face plana para o objeto
  - Posicionar o objeto à distância apropriada da lente.
  - Posicionar o anteparo de modo a determinar o plano de Fourier





Plano de fourier

Lente 20 cm  
Para TF

objeto

Lente 20 cm

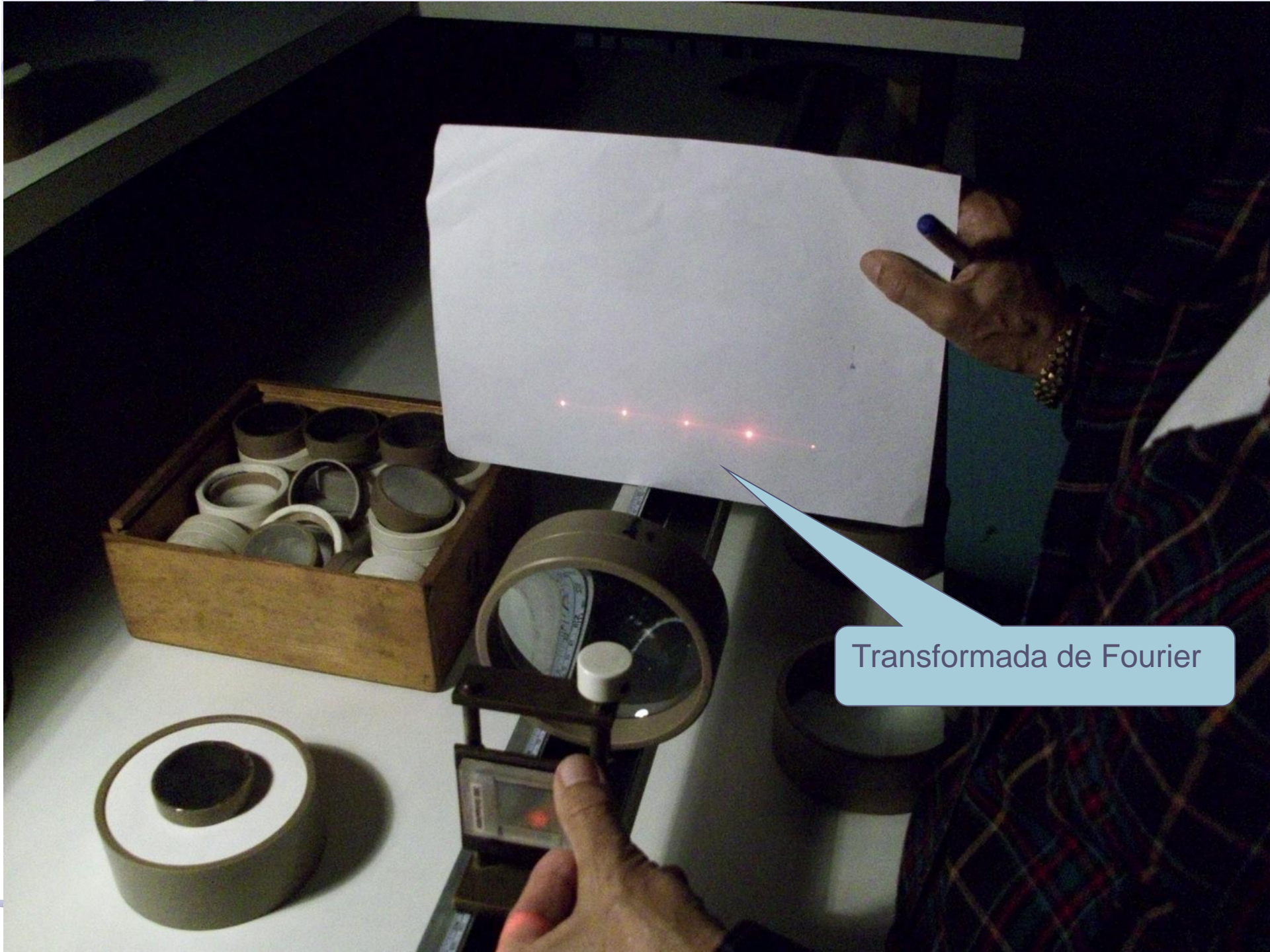
Lente 1 cm

Bancada nº 113-3

113-3

Uniphase





Transformada de Fourier

# Parte 1 - Feixe incidente paralelo

- Ilumine, com o feixe paralelo, o objeto
  - Use a grade de 300 linhas/mm como objeto
- Identifique o plano de Fourier  $q=f$
- Verifique que a posição do plano de fourier não depende da posição do objeto em relação à lente
  - Pelo menos 3 medidas
- A partir das medidas das posições dos máximos da transformada de fourier, determine as dimensões da grade e compare com o valor nominal de 300 l/mm
- Comente os resultados.

# Parte 2 - Fonte pontual

- Crie uma fonte pontual, ajustando a divergência do feixe
  - Calcule a posição dessa fonte
- Coloque a fenda no foco da convergente, isto é,  $b=f$
- Determine a posição do plano de Fourier em função da posição da fonte pontual e compare com o previsto teoricamente
  - Repita o procedimento para pelo menos 3 posições diferentes para fontes pontuais para comparar com a previsão teórica
- Verifique que, se o objeto estiver no foco  $b=f$ , as posições dos máximos não variam: independem da posição da fonte em relação ao difrator