

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 3 – Computador Óptico

Difração

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

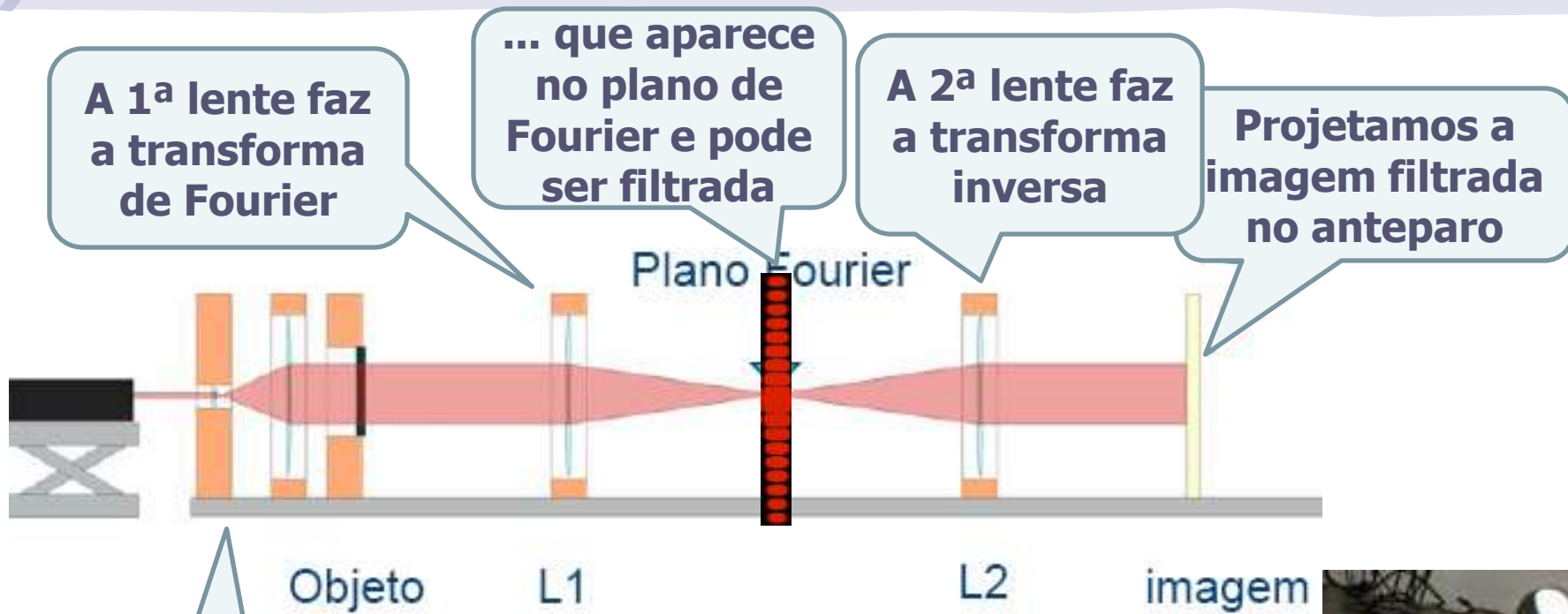
Basilio, sala 101

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

Parte 1 – Para a síntese

Usando o laser e o slide das figuras:

- Fotografe figuras de difração para os seguintes objetos:
 - fendas simples (pelo menos duas fendas)
 - fenda dupla (pelo menos duas fendas)
 - para os objetos diferentes da linha superior, escolha apenas um dos tamanhos
- Discuta os resultados obtidos.
 - Para as fendas simples e duplas tente relacionar 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. Discuta.

Difração Qualitativa

H07



Figura 1 – Difração do feixe de laser em uma fenda simples.



Figura 2 – Difração do feixe de laser em uma fenda simples de abertura maior.



Figura 3 – Difração do feixe de laser em fenda dupla.



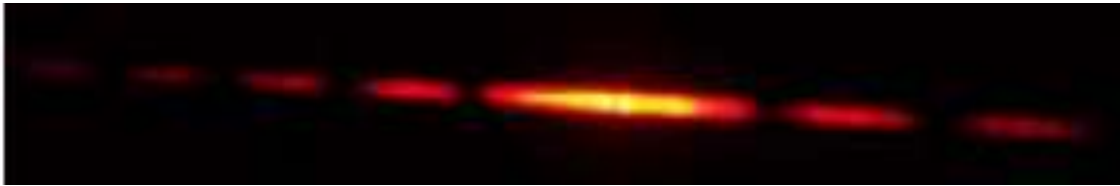
Figura 4 – Difração do feixe de laser em fenda dupla, com mesma abertura e separação menor.

Quanto menor a fenda,
mais espalhada a difração.

Problemas



Exemplo de boas
fotos de outros anos



Fotos muito ruins,
não da para ver a
diferença!!



Figura 1- Fotos de difração para uma fenda simples de $8 \mu\text{m}$ de largura e a outra de $28 \mu\text{m}$.

Fenda Simples: **Intensidade**

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

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

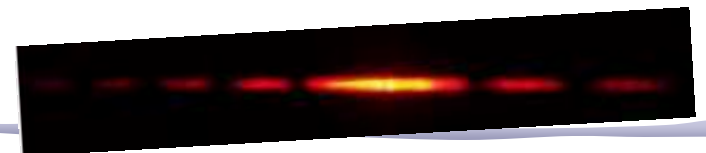
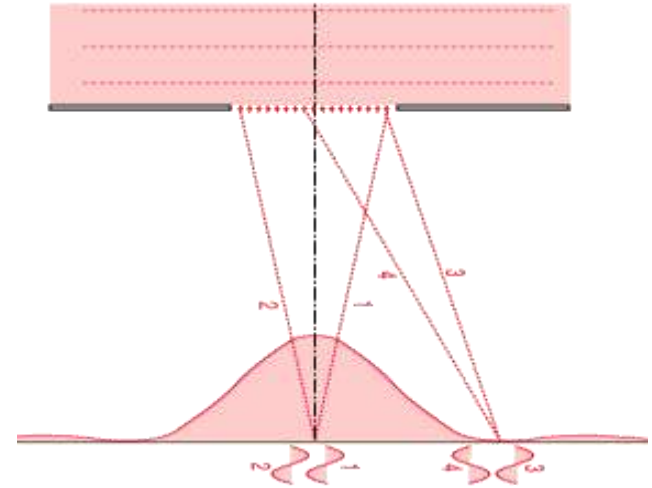
- Que ocorrem quando:
 $\sin \beta = 0 \Rightarrow \beta = \pm m\pi, m = 0, 1, 2, 3, \dots$

- Ou seja:

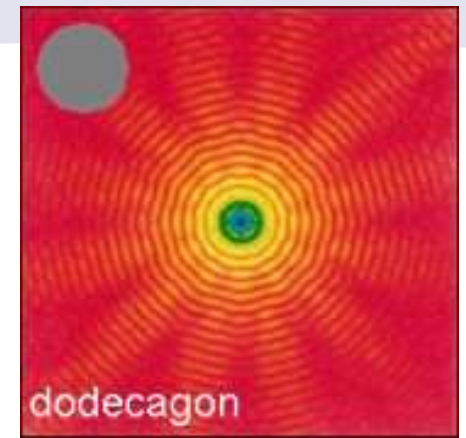
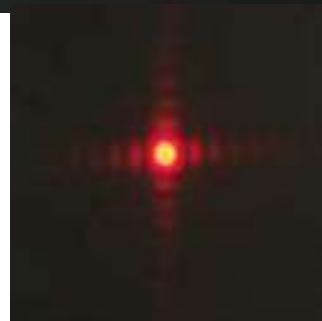
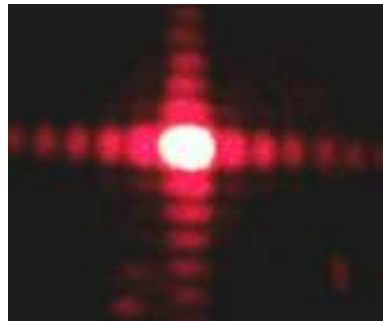
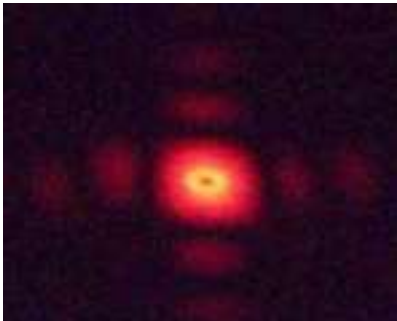
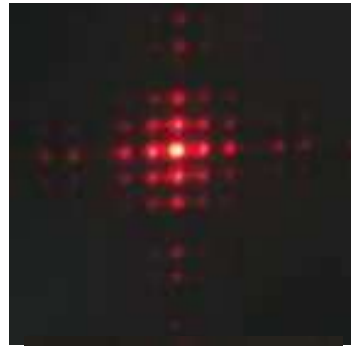
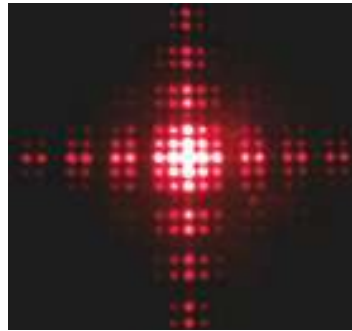
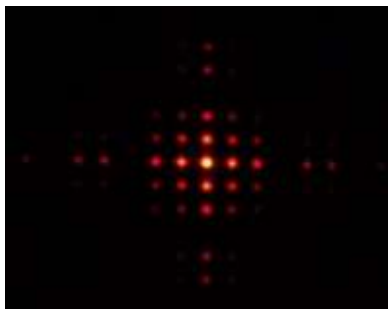
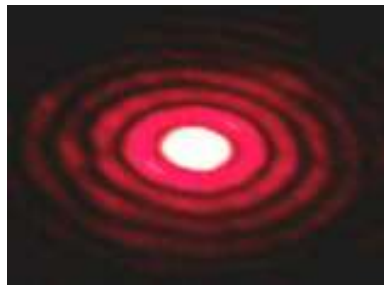
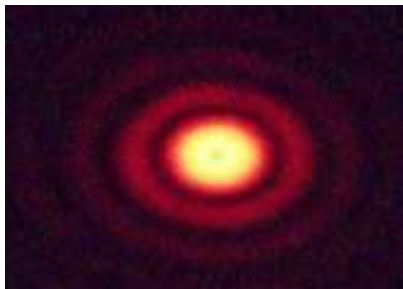
$$d \sin \theta = \pm m\lambda, m = 1, 2, 3, \dots$$

- Para $m=0$ temos um máximo pois:

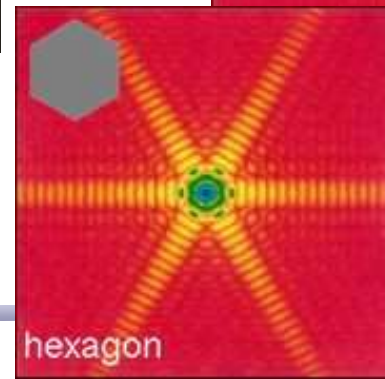
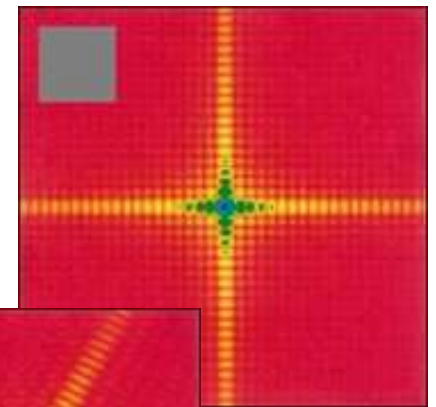
$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1$$



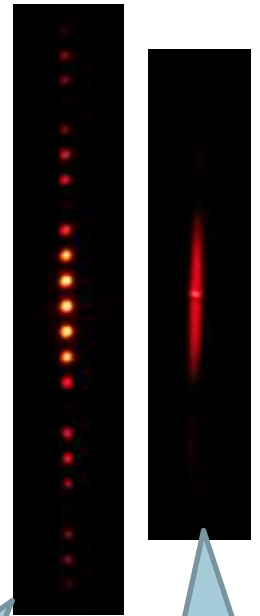
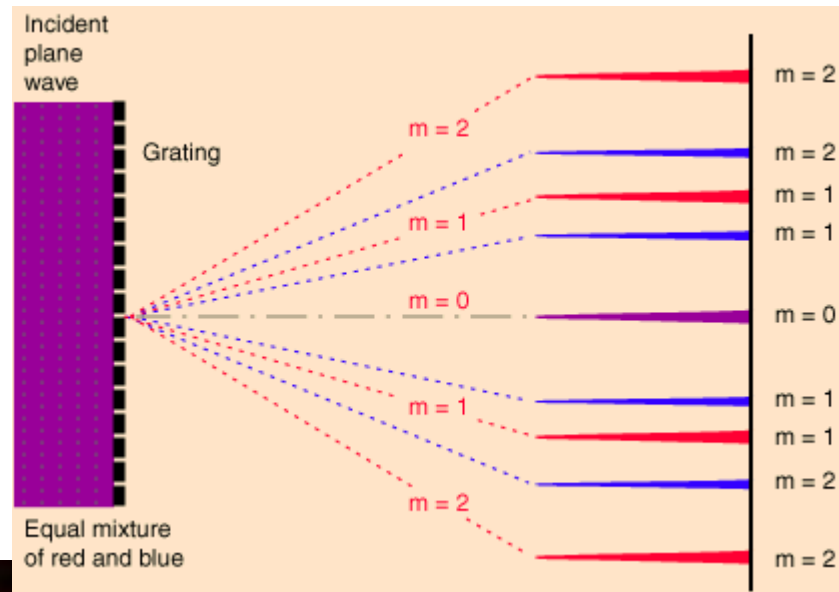
Outras figuras



Rede de difração

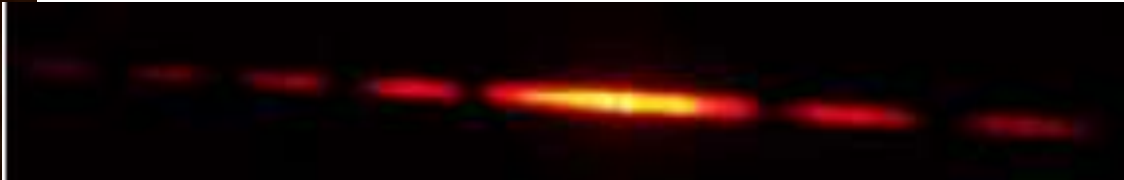
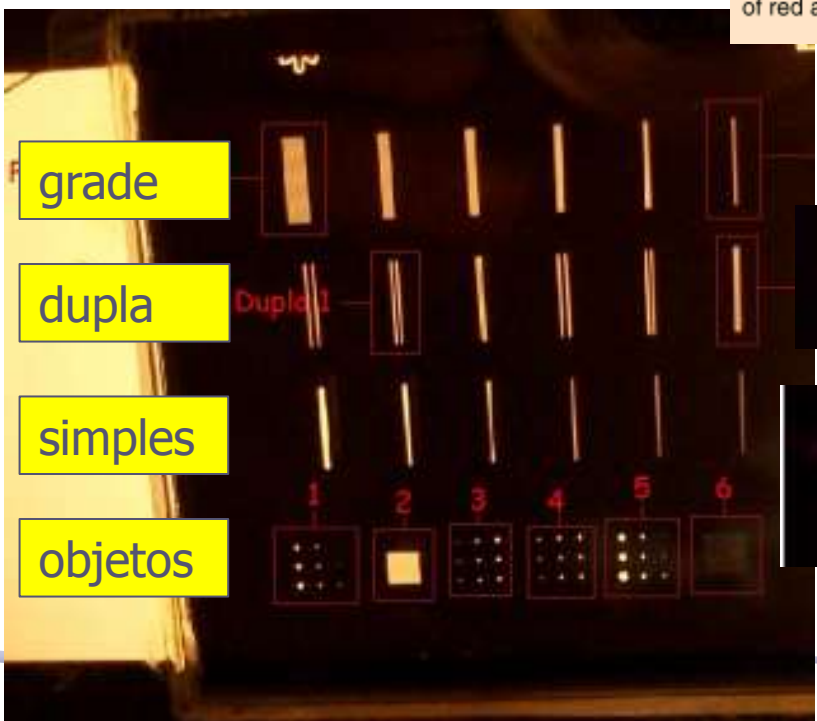


Confusão entre Fenda e Grade



grade

fenda



Parte 2 – Para a síntese

- Estudar a difração e interferência da Fenda simples:
 - Medir as intensidades da figura de difração da fenda simples com o espectrofotômetro.
 - Com $\text{ganho}=1$ dá pra medir todos os picos, mas os secundários ficam muito pequenos. Com $\text{ganho}=10$ satura o máximo central mas os outros ficam mais visíveis.
 - Qual é melhor usar? Dá para juntar as duas medidas ??
 - Da distância entre os mínimos nesse espectro obtenha a largura da fenda e compare com o valor nominal.
 - Usando esta largura de fenda e normalizando pelo máximo, sobreponha a curva esperada à experimental

Primeiro era preciso medir os mínimos

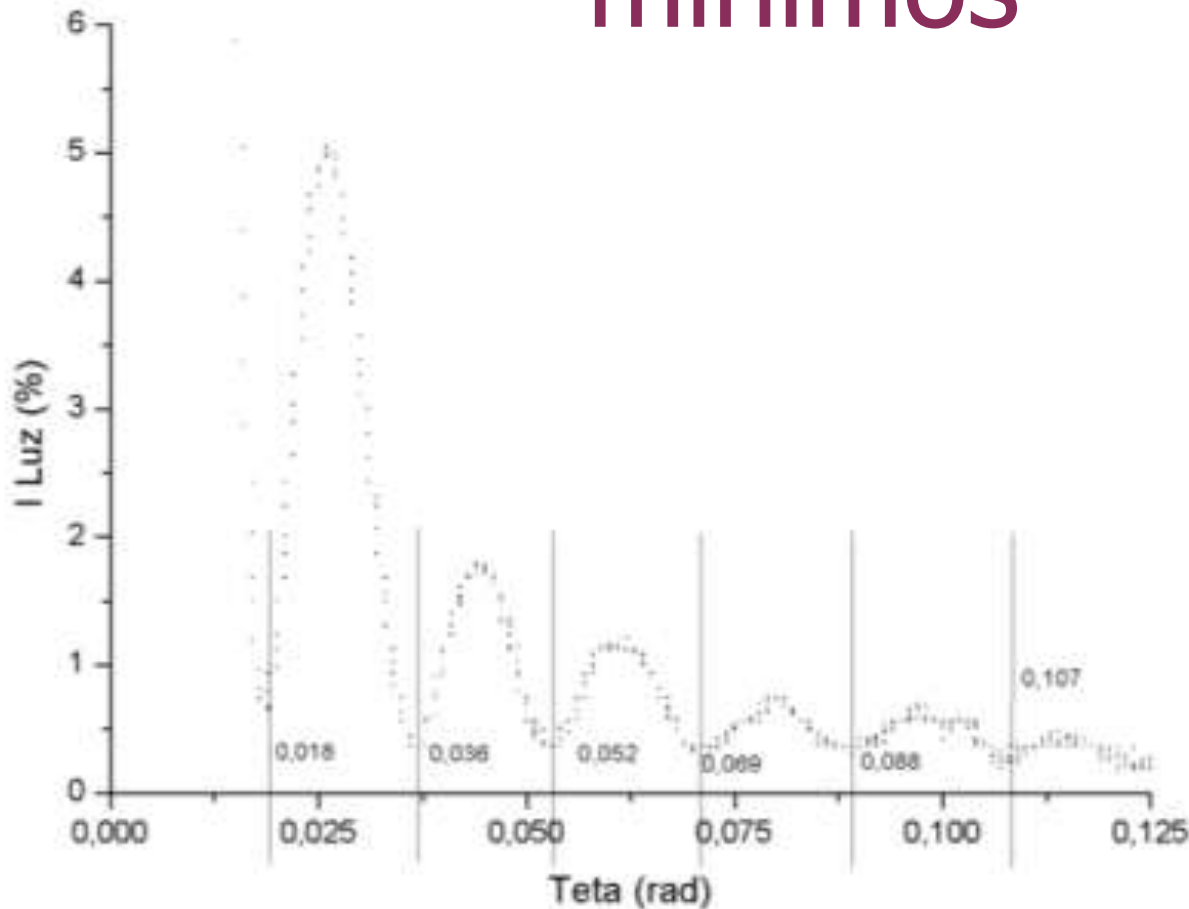


Figura 10 – Pontos de mínima intensidade do padrão de difração da fenda de abertura de 0,04mm (nominal) utilizados para calcular a abertura experimental da fenda.

Largura da fenda a partir dos mínimos

$$\text{sen}\theta = m \frac{d}{\lambda} \quad (1)$$

(onde $m \in \mathbb{Z}$ e vai de -7 até 8 sem contar o 0), plotamos uma reta com os pontos de mínimo e os valores de m . Essa reta segue abaixo:

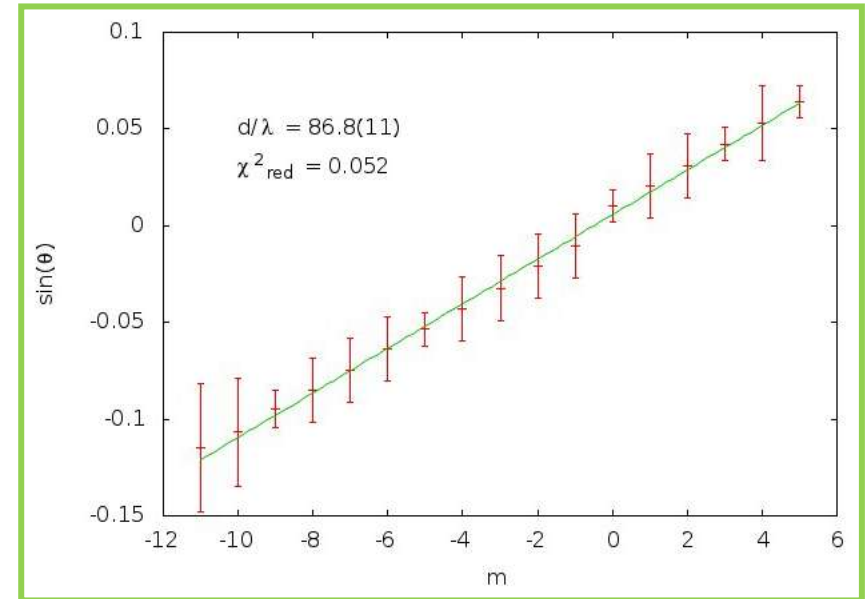
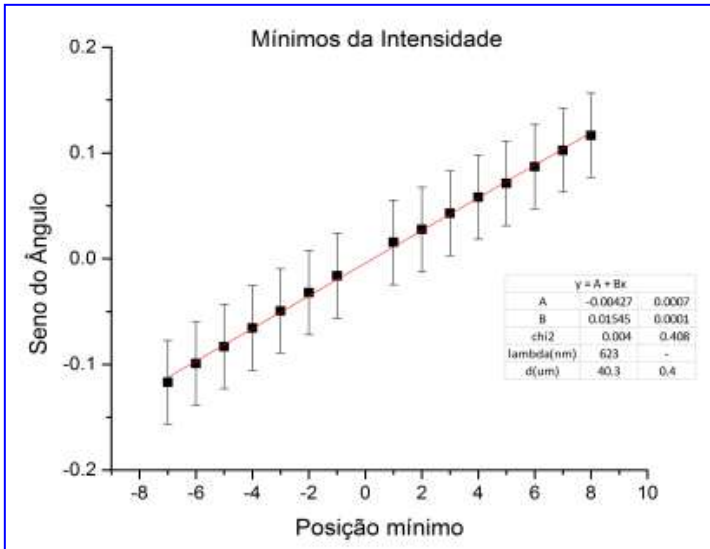


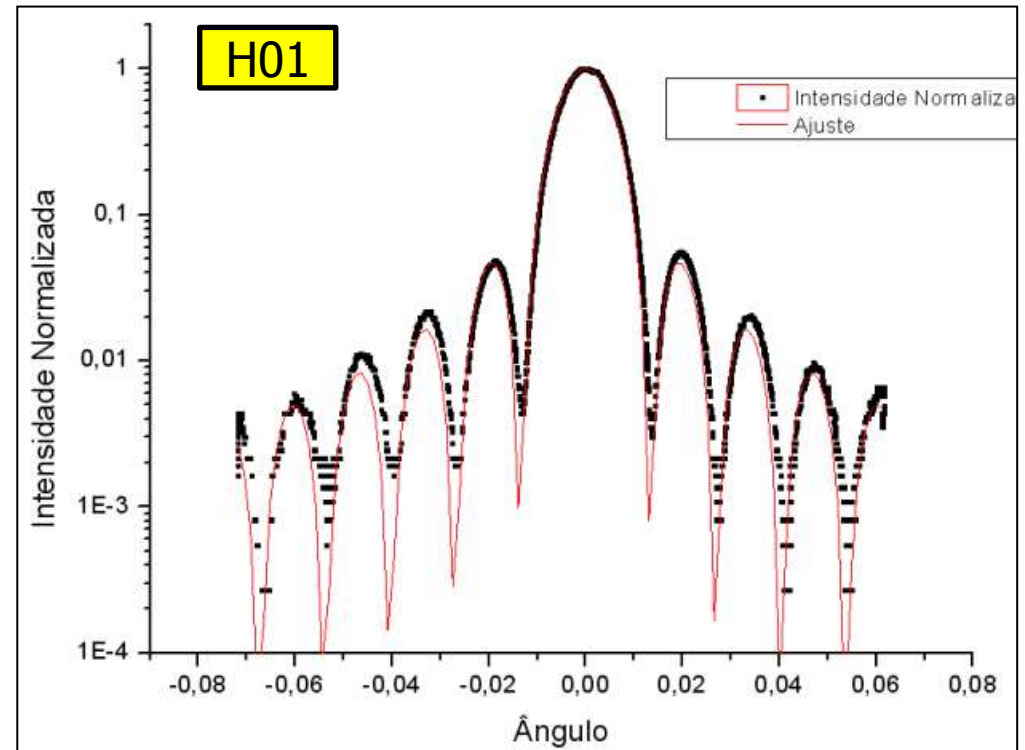
Tabela 1: Tabela comparando os ângulos de mínima intensidade e as respectivas aberturas encontradas. A incerteza no ângulo é da ordem de 0,09, vista no manual do fabricante e a largura d será discutida mais adiante.

Ângulo incidente	0,84	-0,86	1,68	-1,70	2,48	-2,58	3,38
Distância(m)	4,31E-05	4,21E-05	4,32E-05	4,27E-05	4,39E-05	4,22E-05	4,29E-05
Ângulo incidente	-3,40	4,19	-4,22				
Distância(m)	4,27E-05	4,33E-05	4,30E-05				

Este Ajuste Está Bom ?

A partir desta relação, foi obtido um valor de $46,4 \pm 0,1 \mu\text{m}$. Entretanto, esta discrepância entre a ranhura e o valor nominal pode ser explicada também pelo descompasso do ajuste e os dados experimentais. Este descompasso pode ser explicado pelo fato de que o slide poderia não estar perpendicular em relação ao feixe de laser.

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



Este Ajuste Está Bom ?

- Não representa os mínimos
 - Nem em amplitude
 - Nem em posição
- Resíduo com tendência

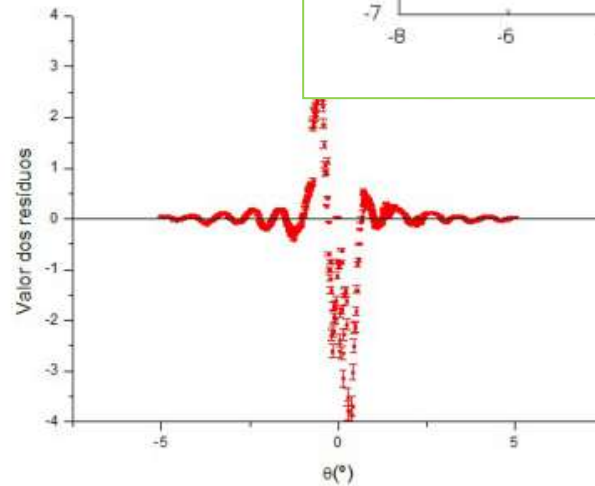
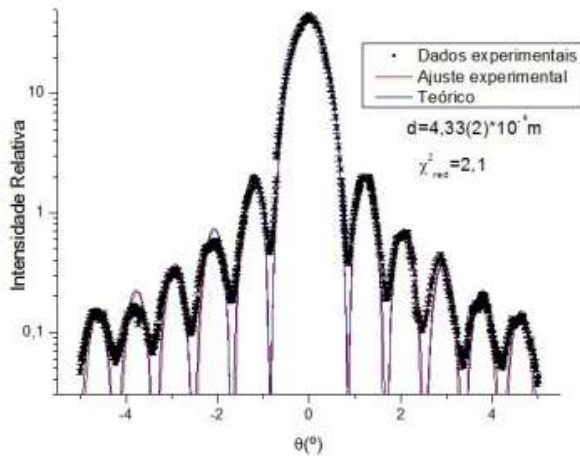
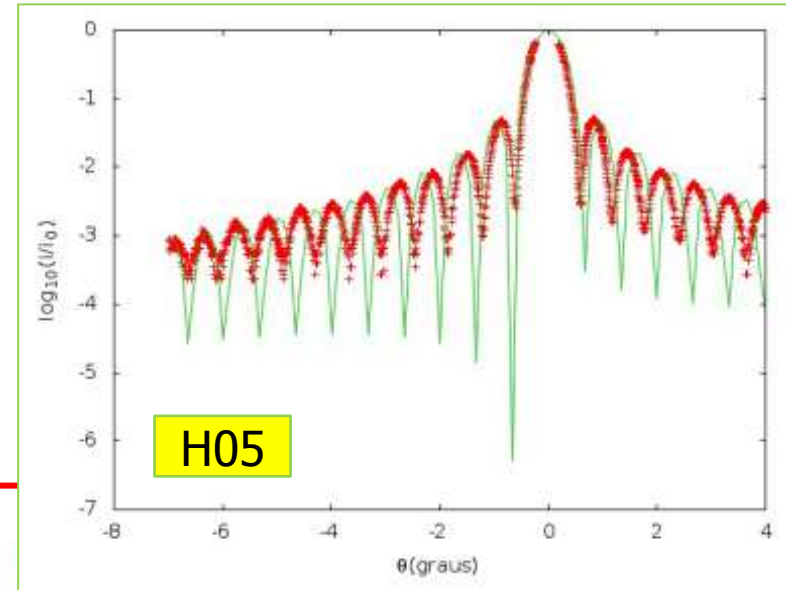
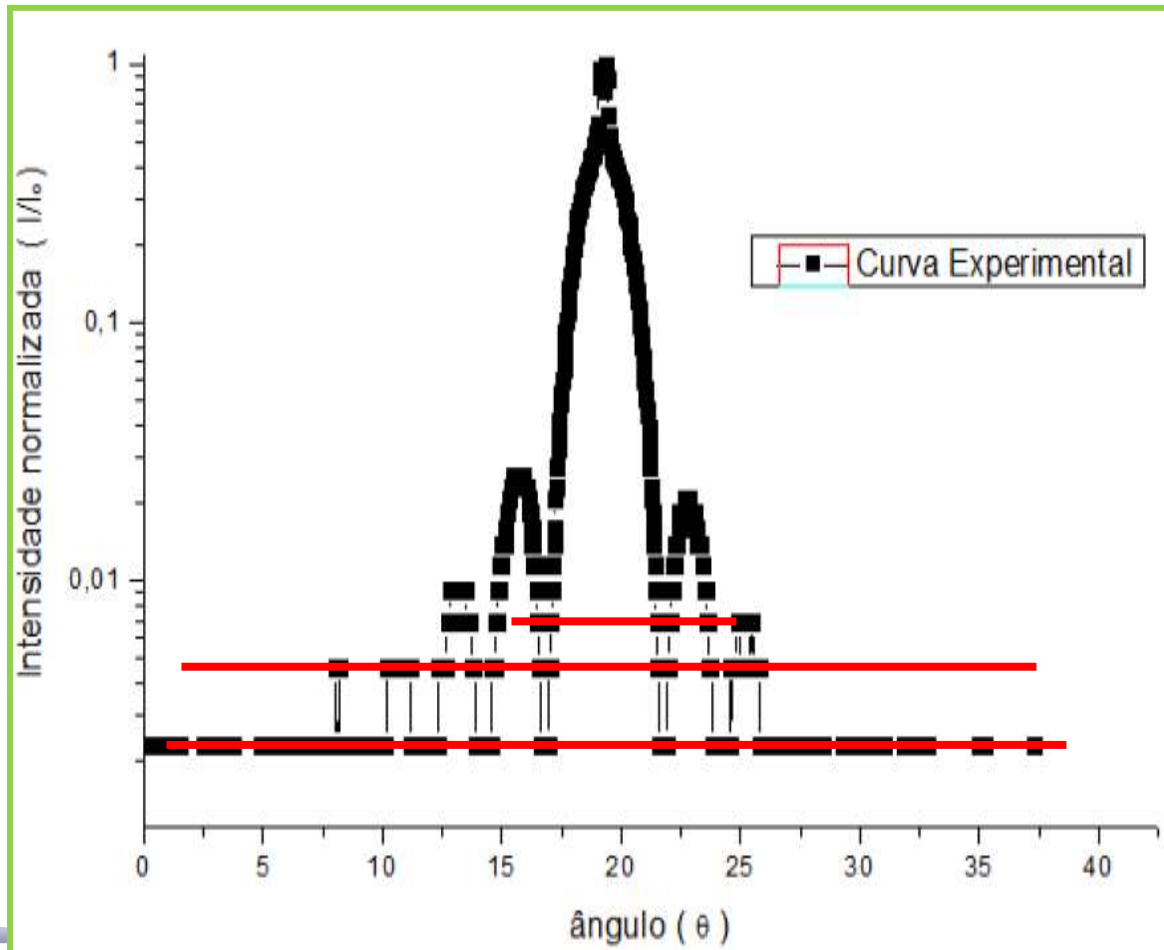


Figura 7: Gráfico demonstrando a Intensidade Relativa pelo ângulo incidente.

Figura 8: Resíduos referentes ao ajuste da imagem 7.

Outro problema

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



Largura da Fenda

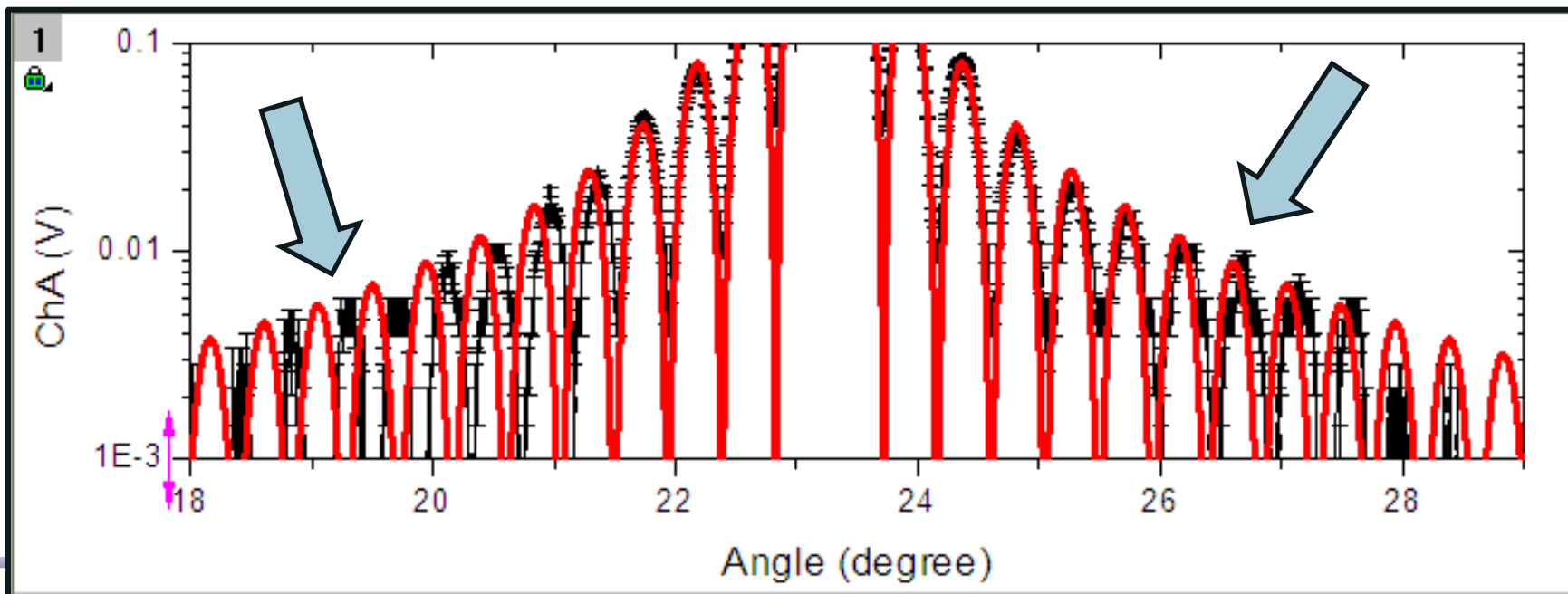
	λ (nm)	Largura fenda (μm)	Correção
H01	?	46.4 (1)	Ajuste espectro
H02	623.0	40.3 (4)	Ajuste dos mínimos
H03	?	42.9 (2)	Média dos mínimos
H04	632	30.2 (?)	Mínimos 1 e 2
H05	?	86.8 (11) * $\lambda = 54.1$	Ajuste dos mínimos
H06	?	?	?
H07	633	35.9 (13)	Média dos mínimos
H08	633	0.590 (3) 57.79 (2)	Mínimos 1 e -1 Ajuste espectro
H09	623	63 (14)	?
H10	?	0.24 (2) * $\lambda = 0.15$?

Parte 3 – Extra (semana que vem)

- Faça o ajuste não linear da função teórica aos dados experimentais do espectro da fenda simples
- Como se compara o ajuste e a função teórica?
 - Descreva as discrepâncias se houver
 - Os máximos são bem representados? E os mínimos?? Porque???
 - Como você pode explicar essas diferenças?
- Que parâmetros não foram levados em conta e que podem explicar as diferenças?
 - Encontre uma função teórica mais apropriada, justifique, refaça o cálculo e compare novamente.

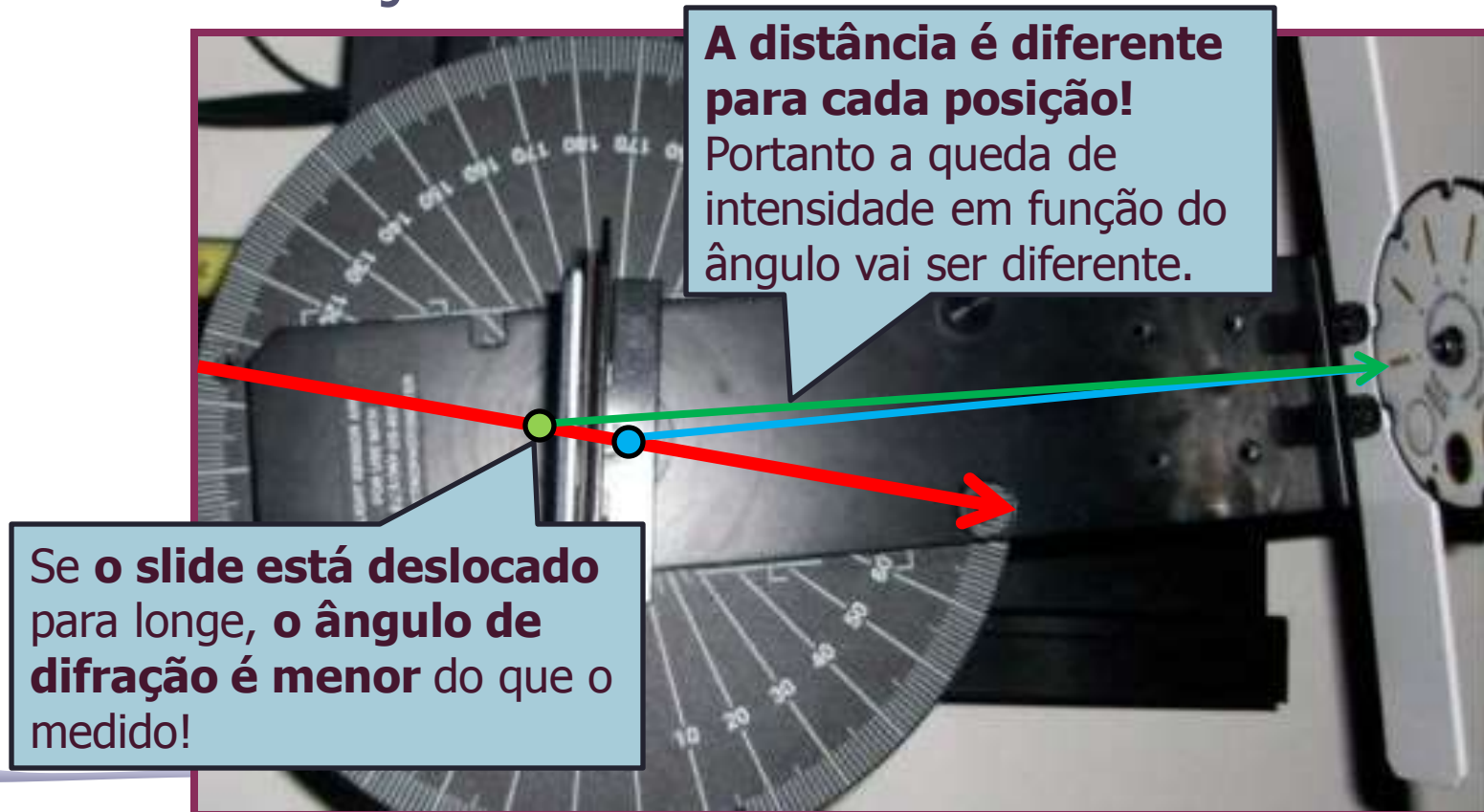
Alinhamento

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



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

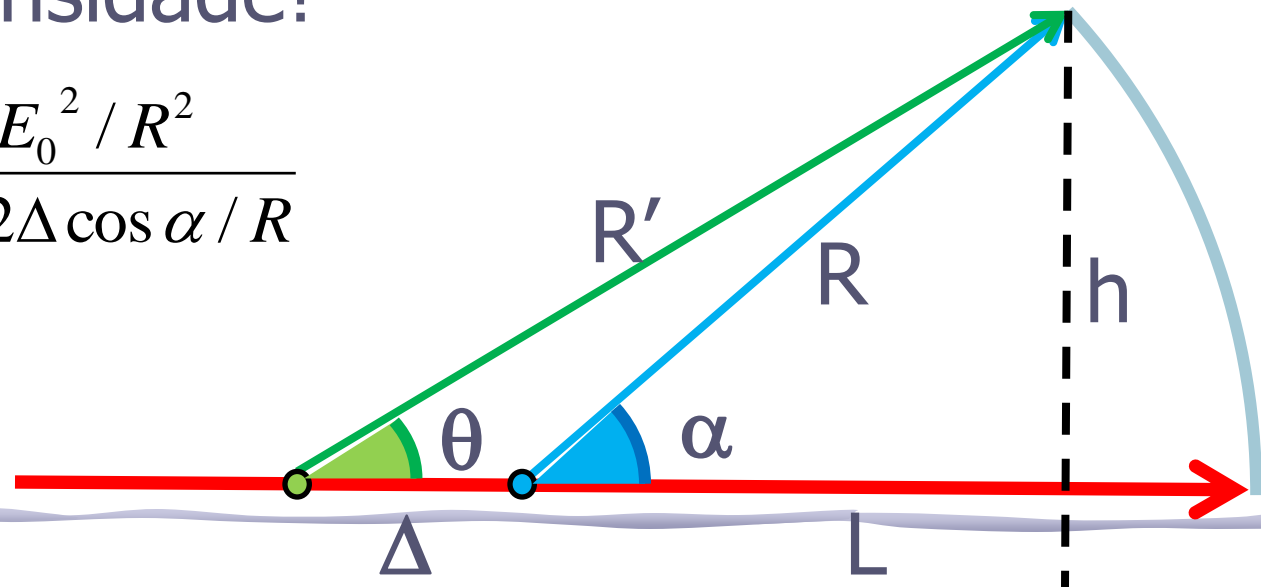
- A difração é dada por: $I = I_0 \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2$, $\beta = \pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta$

- Mas o ângulo medido não é o da difração!

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

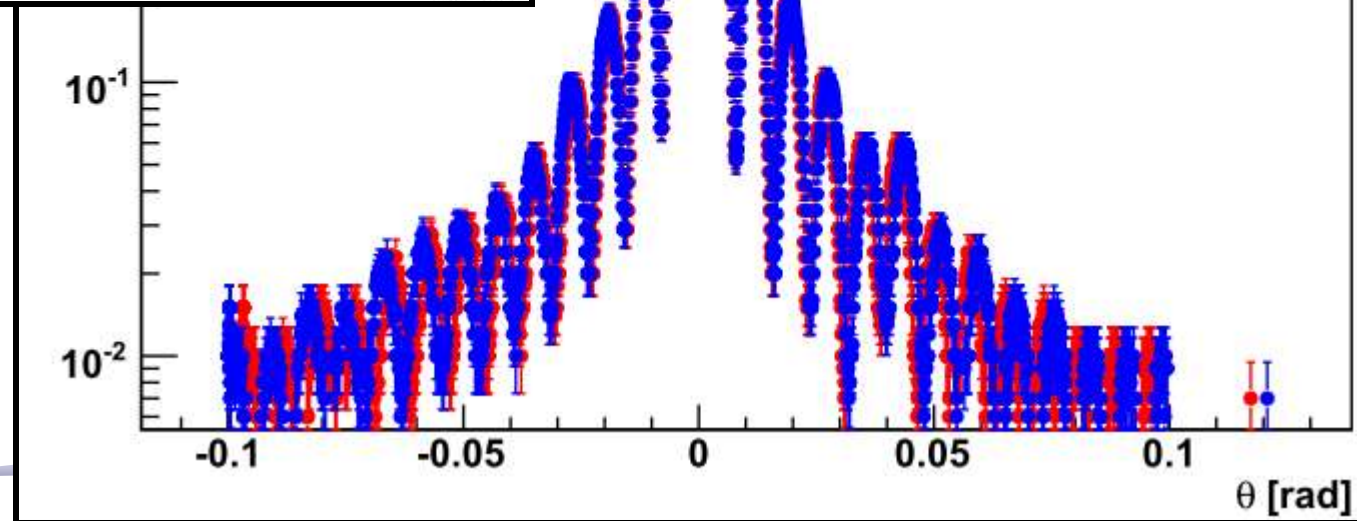
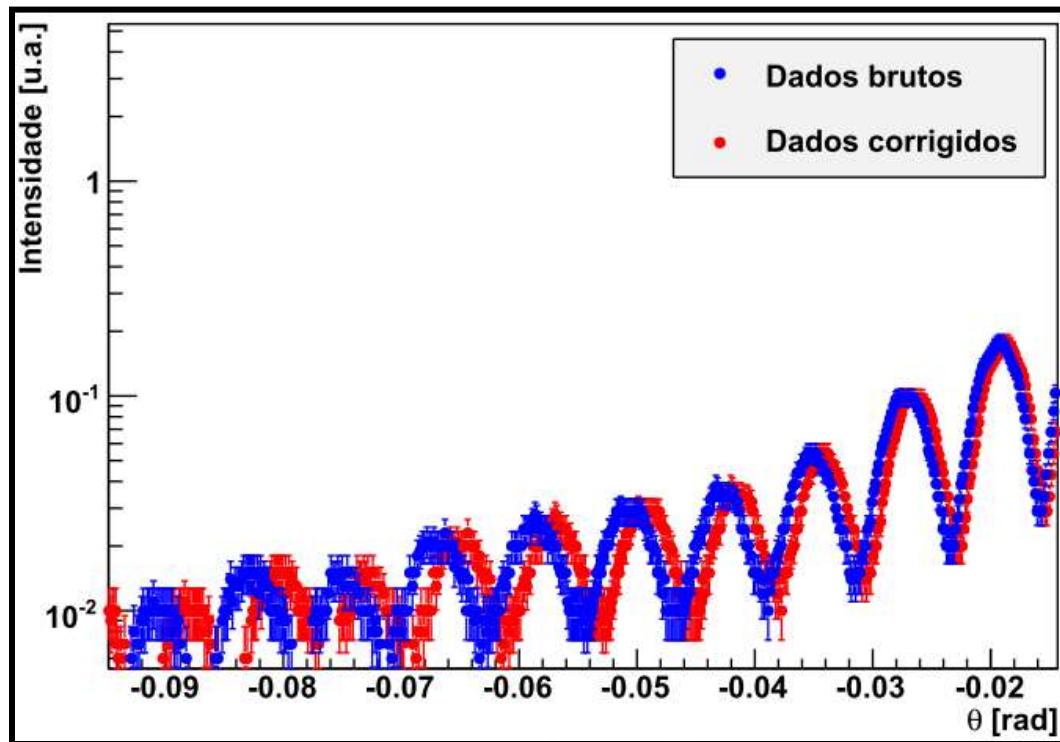
- E nem a intensidade!

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




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 blue dot is placed on a vertical white strip on the left. Two red arrows originate from this dot and point towards a circular sensor component on the right. A blue arrow also originates from the dot and points downwards and to the right. The background shows a metal plate with a ruler scale.

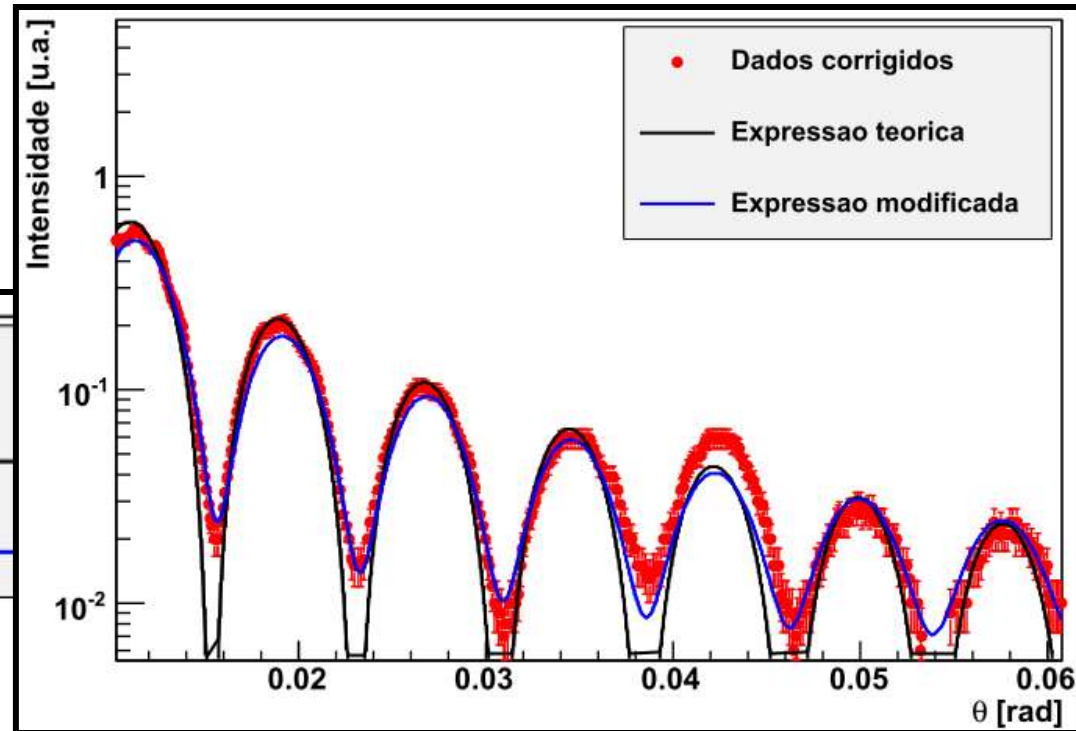
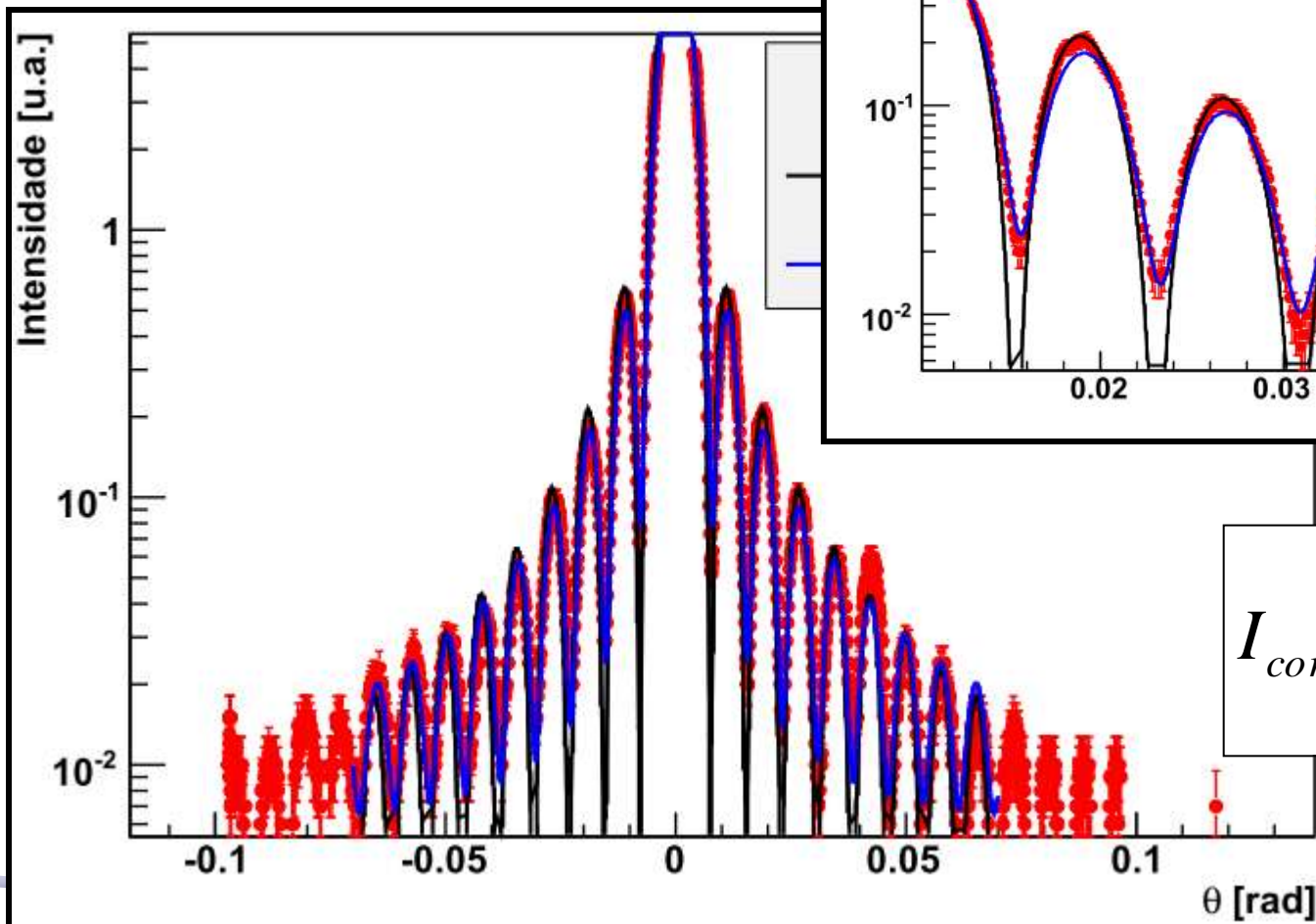


Mesmo a fenda estreita tem uma abertura diferente de zero!

A close-up photograph of a circular sensor component. The component is white with several gold-colored pins and black screws. A blue callout box with a white border is overlaid on the image, containing the text. The component is mounted on a black frame.

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 de 2012 fez...

Síntese 03 – Experiência 02

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

Intensidade de Incidência X ângulo

