



Física Experimental IV – FAP214

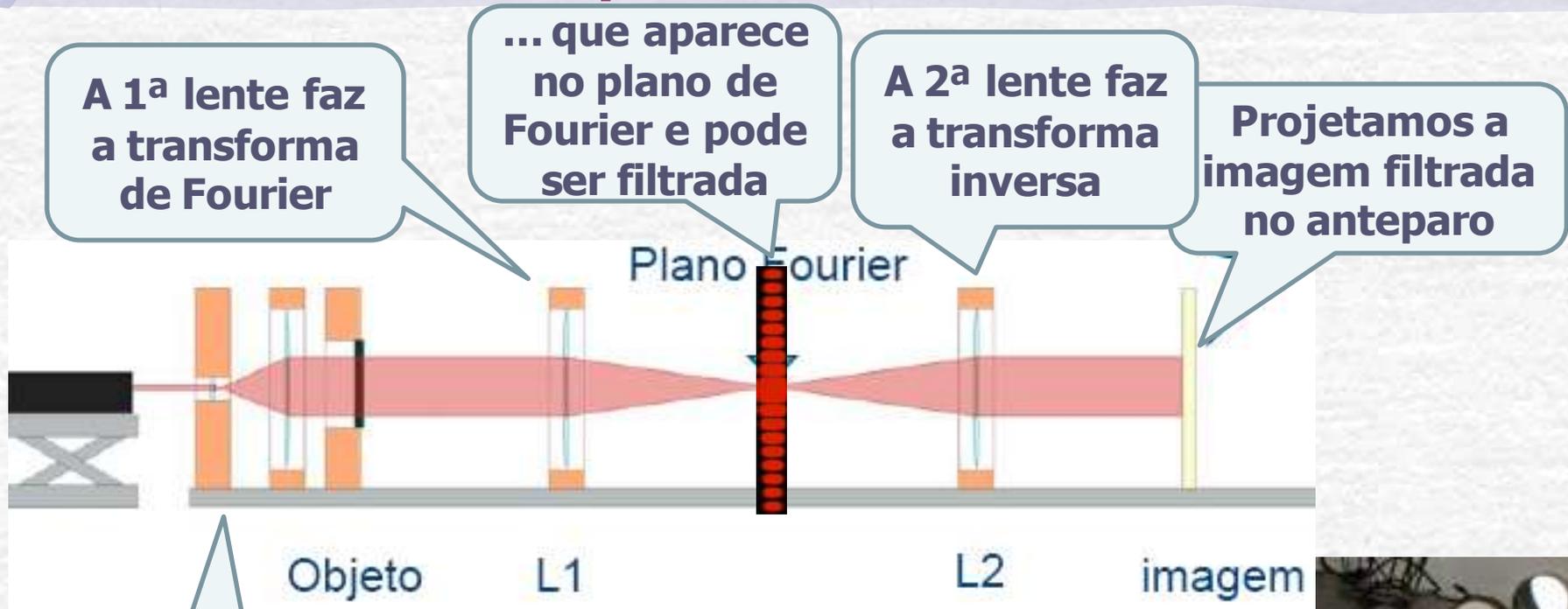
www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex

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

Aula 3, Experiência 2

Fourier e Difração

Computador Ótico



o laser ilumina o objeto

COMPUTADOR
ÓTICO



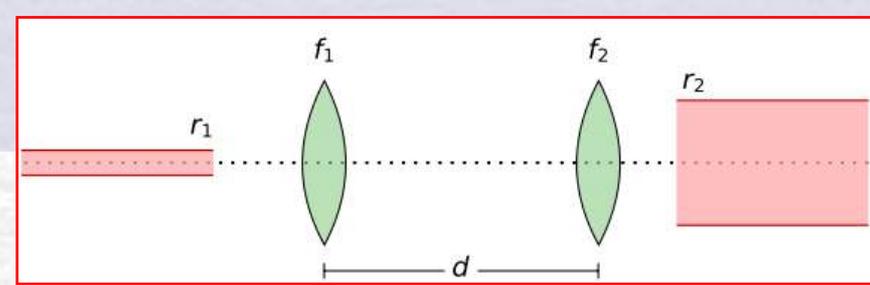
TAREFAS SEMANA PASSADA



Para esta Semana: Parte 1

- Utilizando duas lentes convergentes de foco f_1 e f_2 , separadas de uma distância d , obtenha, utilizando o método matricial:
 - Qual a distância de separação entre elas (d) para que o feixe de laser saia sem divergência?
 - Qual a magnificação obtida por este sistema?
 - Verifique os resultados com o Raytrace
- Monte um sistema de duas lentes para magnificar o feixe de laser em 20 vezes, mantendo-o paralelo na saída
 - meça a magnificação. Compare com a expectativa teórica.
 - meça a distância entre as lentes e compare com a expectativa teórica.
- Problemas:
 - O feixe emergente do sistema tem divergência nula? Verifique.
 - O feixe incidente no sistema possui divergência? O que muda, do ponto de vista teórico se a divergência inicial do laser não é nula? O experimento é sensível a isto? Discuta.

Método matricial



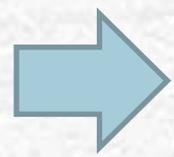
- Aplicando o método matricial:

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

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

- E portanto:

$$\begin{bmatrix} 1 - \frac{d}{f_1} & d \\ -\frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2} + \frac{d}{f_1 f_2} & 1 - \frac{d}{f_2} \end{bmatrix}$$



$$r_2 = \left(1 - \frac{d}{f_1}\right) r_1 + d \phi_1$$
$$\phi_2 = \left(-\left(\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}\right) + \frac{d}{f_1 f_2}\right) r_1 + \left(1 - \frac{d}{f_2}\right) \phi_1$$

- $\phi_1 = \phi_2 = 0$ implica:

$$r_1 \left(\frac{d}{f_1 f_2} - \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2} \right) = 0, \quad \text{ou seja, } \boxed{d = f_1 + f_2}$$

Aumento do Diâmetro

- A matriz de transformação é então:

$$\begin{bmatrix} r_2 \\ \phi_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{d}{f_1} & d \\ \frac{d}{f_2 f_1} - \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2} & 1 - \frac{d}{f_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ \phi_1 \end{bmatrix} \Rightarrow M = \begin{bmatrix} -\frac{f_2}{f_1} & f_1 + f_2 \\ 0 & -\frac{f_1}{f_2} \end{bmatrix}$$

- E os raios de entrada e saída obedecem a seguinte relação:

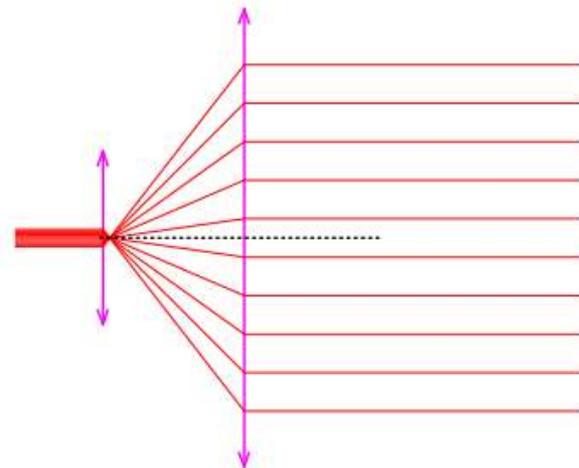
$$\begin{cases} r_2 = \left(1 - \frac{d}{f_1}\right) r_1 + (d) \phi_1 \\ \phi_2 = \left(\frac{d}{f_2 f_1} - \frac{1}{f_1} - \frac{1}{f_2}\right) r_1 + \left(1 - \frac{d}{f_2}\right) \phi_1 \end{cases} \Rightarrow r_2 = -\frac{f_2}{f_1} r_1$$

E se a divergência $\neq 0$?

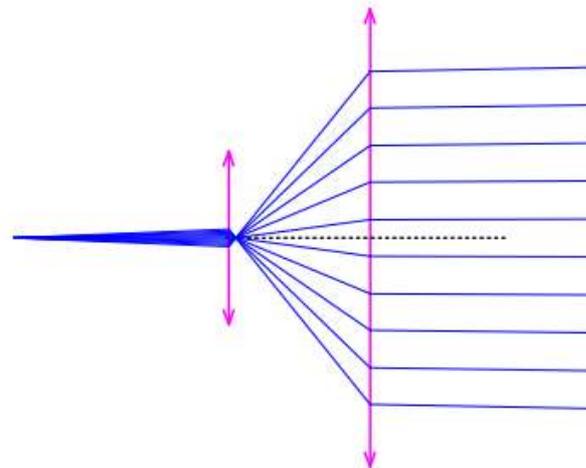
No entanto, se o feixe de entrada não for exatamente paralelo, $\phi_1 \neq 0$ estará relacionado à divergência (para os raios mais externos do feixe, ϕ_1 corresponde à metade da divergência α), e teremos um cenário diferente — aplicando a matriz de transformação, teremos

$$-r_2 = \frac{f_2}{f_1} r_1 - (f_1 + f_2) \phi_1 \quad -\phi_2 = \frac{f_1}{f_2} \phi_1,$$

ou seja, a divergência do feixe é diminuída (considerando que $f_2 > f_1$ para que houvesse ampliação do feixe). No entanto, com uma divergência incidente não-nula, a magnificação do sistema fica diminuída de uma parcela proporcional ao ângulo de divergência.



(a) Feixe bastante divergente



(b) Feixe pouco divergente

Boa análise, mas se a divergência do laser é não nula, não usamos $d=f_1+f_2$, pois queremos que o feixe de saída seja paralelo. Qual a separação correta neste caso?

encontra-se na figura 2. Verifica-se que um feixe bastante divergente na entrada produz um feixe bem pouco divergente na saída, exatamente como previsto. Ainda mais, comparando-se os dois diagramas (que estão em mesma escala), percebe-se que a magnificação não é intensamente afetada pela divergência do feixe, quando o diâmetro na entrada é igual ao diâmetro do feixe paralelo.

E se a divergência $\neq 0$?

- Neste caso, devemos usar a equação completa:

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

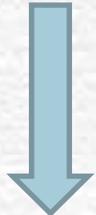
- Resolvendo a equação para d , temos:

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

- Ou seja, a correção é pequena!

$$d \approx 20cm + 1cm * 1.01 \approx 21.01cm$$

10^{-2}


$$\left\{ \begin{array}{l} f_1 = 1cm \\ \phi_1 = 1mrad \\ r_1 = 1mm \end{array} \right.$$

- Analogamente p/ a magnificação:

$$\frac{r_2}{r_1} \approx \frac{-f_2}{f_1} (1 - f_1 \phi_1 / r_1) \approx \frac{-f_2}{f_1} * 0.99 \approx 19.8cm$$

Diâmetro aumentado

O arranjo da figura 1 foi montado de maneira que o raio emergente do sistema fosse aproximadamente paralelo, ou seja, de maneira que o diâmetro do feixe não variasse de acordo com a distância de projeção. Obtivemos uma distância entre as lentes de $d = 20,70 (5)$ cm, que é compatível com $f_1 + f_2 = 21,0 (10)$ cm, sendo $f_1 = 20,0 (10)$ cm e $f_2 = 1,00 (5)$ cm.

Tabela 1: Diâmetro do feixe para diversas distâncias de projeção.

Distância, i <i>cm</i>	Diâmetro, D <i>mm</i>
89,80 (5)	25,7 (10)
73,60 (5)	25,8 (10)
53,60 (5)	25,7 (10)
33,60 (5)	26,2 (10)
18,60 (5)	25,8 (10)

Ao realizar um ajuste linear desses dados ($D = \alpha i + D_2$), obtivemos um coeficiente angular $\alpha = -0,004 (17)$ compatível com zero, indicativo de paralelismo no feixe emergente, em acordo com nosso procedimento para posicionamento das lentes. Assim, utilizamos o valor médio do diâmetro, $D_m = 25,8 (10)$ mm, para calcular a magnificação do sistema, sabendo o diâmetro do feixe incidente de laser, $D_1 = 1,45 (5)$ mm. Obtivemos

$$M = \frac{D_m}{D_1} = 17,8 (9),$$

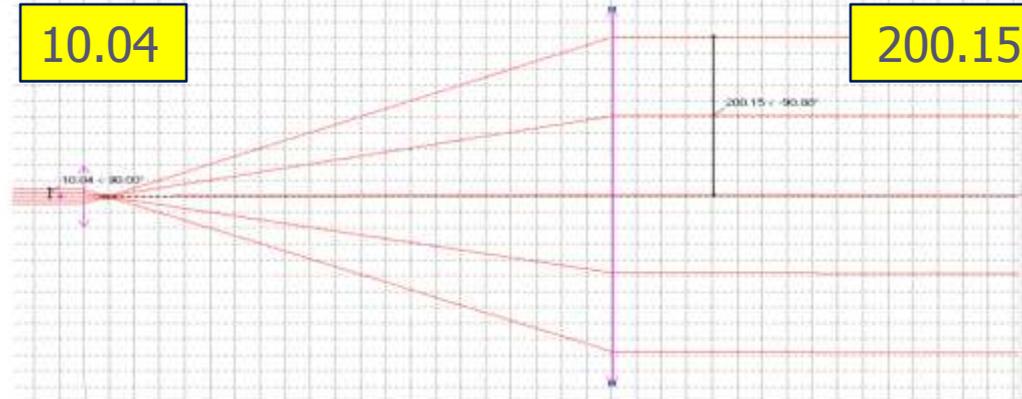
que, dentro de 2,5 incertezas, é compatível com o valor esperado, $M = 20$. No entanto, devemos

Outros resultados

Figura 4.1 – Amplificação de um feixe de luz paralelo

10.04

200.15



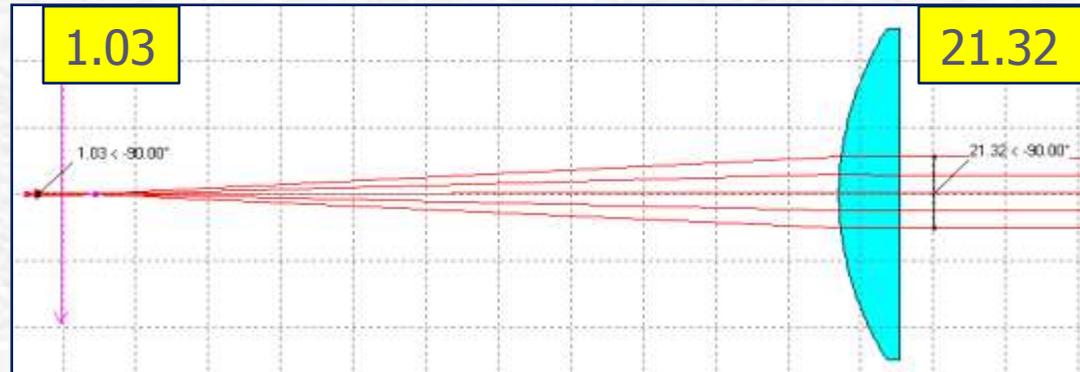
~ 19.94

Mas e se a lente for espessa?

~ 20.70

1.03

21.32

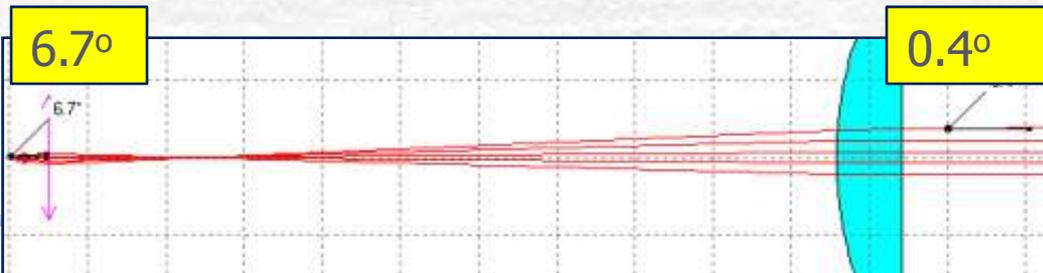


6.7°

0.4°

$\sim 1/16.75$

Mas e se o laser tiver divergência?



Medindo a Divergência

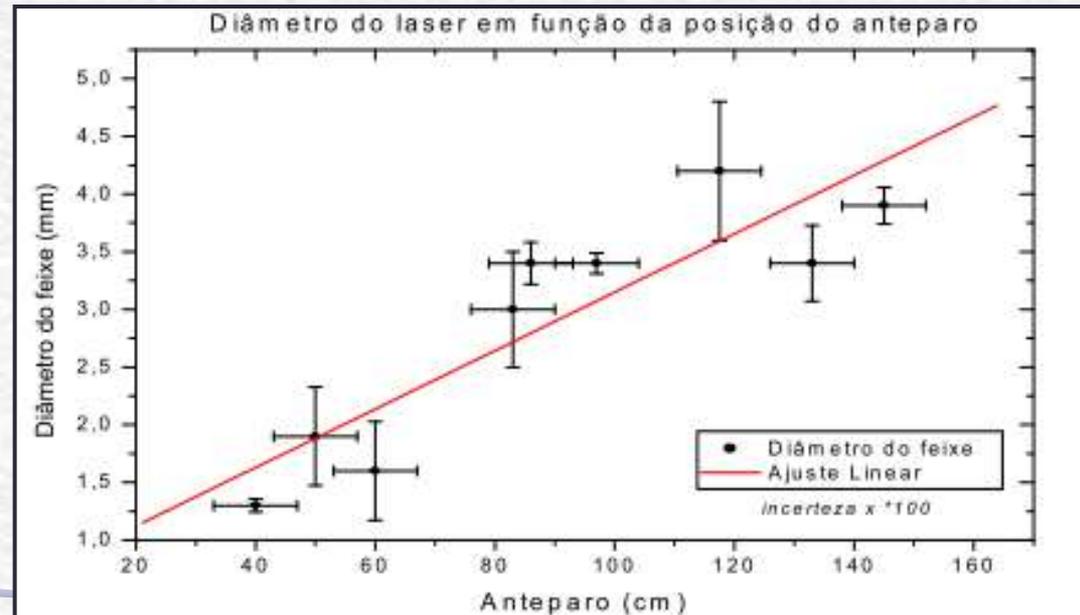
- Vários grupos mediram a divergência fazendo uma curva do diâmetro em função da distância.

O gráfico 1 evidencia a divergência do feixe. Com o ajuste (5) obtemos:

$$\varphi_{1l} = \varphi_{2l} = 0,013(3) \text{ rad}$$

$$r_{1l} = 0,3(2) \text{ mm}$$

Só um grupo percebeu que o coeficiente linear era o diâmetro do laser!



Medindo o Foco das Lentes

- Este mesmo grupo usou o laser para medir o foco da lente maior.

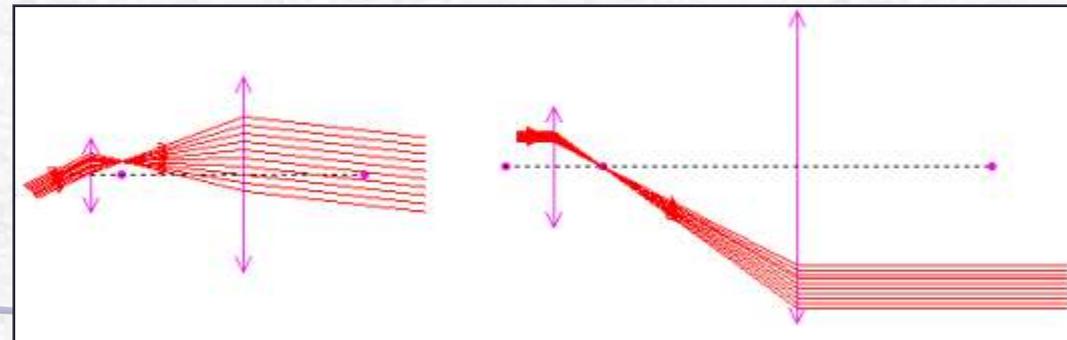
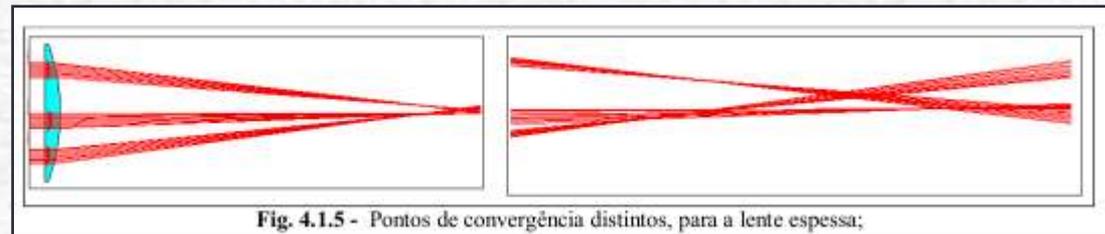
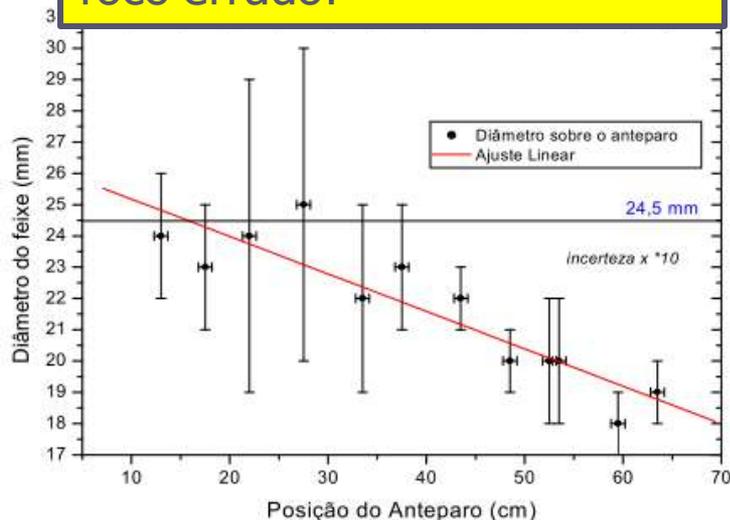
4.1 – Aumento do Diâmetro do feixe de laser

Com o auxílio do laser, medimos a verdadeira posição do foco das duas lentes, sendo $f_1 = 1,00(7)$ cm e $f_2 = 24,5(3)$ cm.

Para essas grandezas e conforme (2) e (3), teremos $d = 25,5$ cm e $M = -25(1)$ cm. Uma simulação através do software RayTrace pôde nos ajudar a comprovar nossas afirmações até aqui. Com lentes delgadas e distância $d = 25,5$ cm, obtemos $M = 24,7^{**}$.

- Essa medida é difícil pois o alinhamento é crítico!

Não conseguiram um feixe paralelo pois estavam com o foco errado!

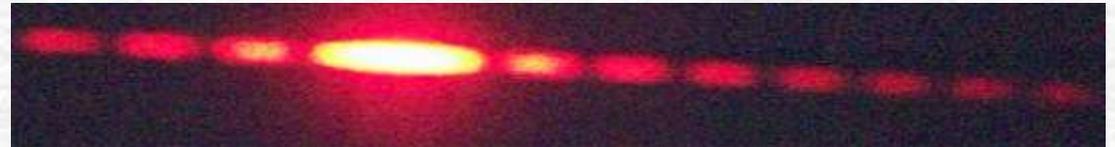
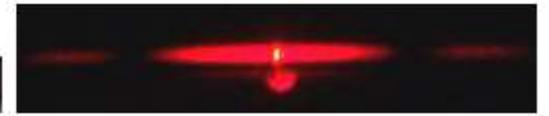
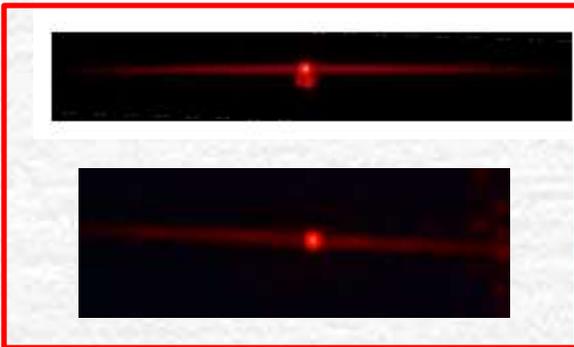
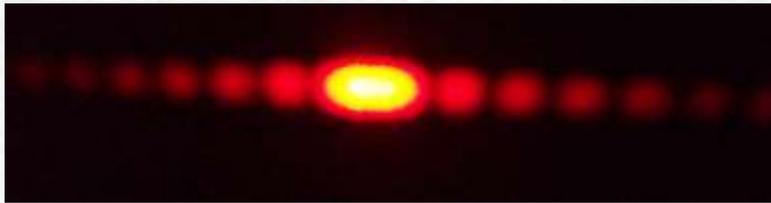


		Entrada		Saída		
	d (cm)	Ø (mm)	div (°)	Ø (mm)	div (°)	M
H10	20.7±0.05	1.45±0.05		25.8±1.0		17.8±0.9
H09	21.5±0.05	1.90±0.05	.1683±.0018	36.1±4.9	.247±.028	18.9±1.4
H08	24±??	0.9±0.5	.08±.01	19.5±0.5	~nula	21±6
H07	22.5±1.5	~1	1.55±0.17	18.0±0.1		18.0±2.3
H06	25.50±.07	0.3±0.2	0.75±0.17	13.2±0.4	~3.4	-
H05	21±??	0.6±0.05	0.03±0.003	17.9±??		19.4±0.5
H04	41 ??		0.0344±??	34.45±?? 19.10±??		27.56±?? 15.28±??
H03	21±??	1.1±?? 1.5±?? 1.9±?? 2.2±??	~10 ⁻³	22±?? 27±?? 35±?? 42±??		18.8±5.9
H02			0.1395±0.0065			21.8±1.9
H01	21.00±0.05	1.25±0.50		25.5±0.2		20.4±0.8

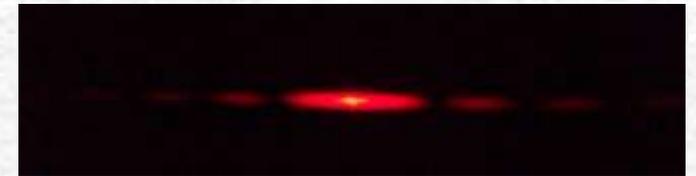
Para esta Semana: Parte 2

- 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 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.

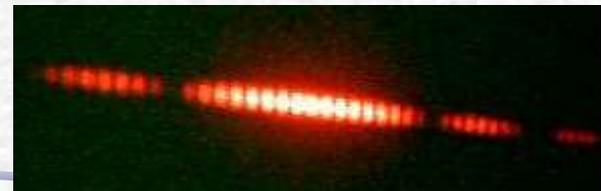
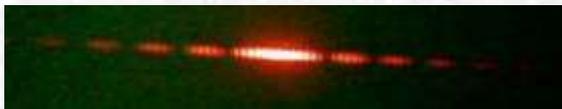
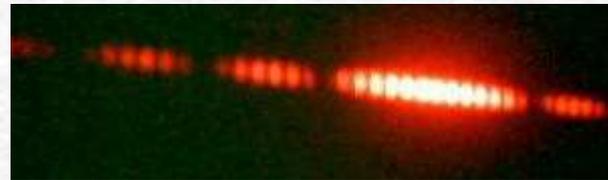
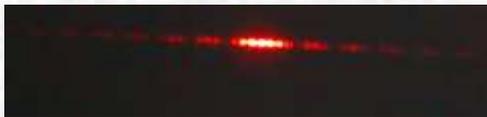
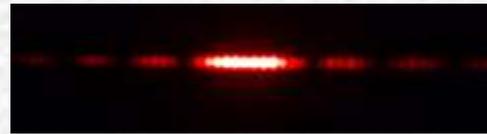
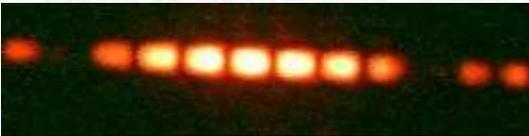
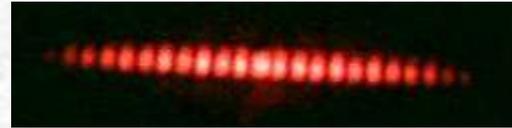
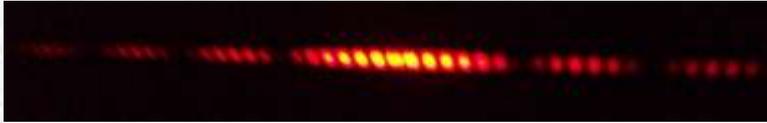
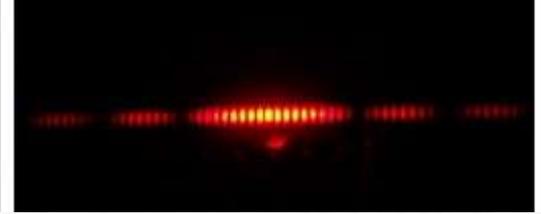
Fenda Simples



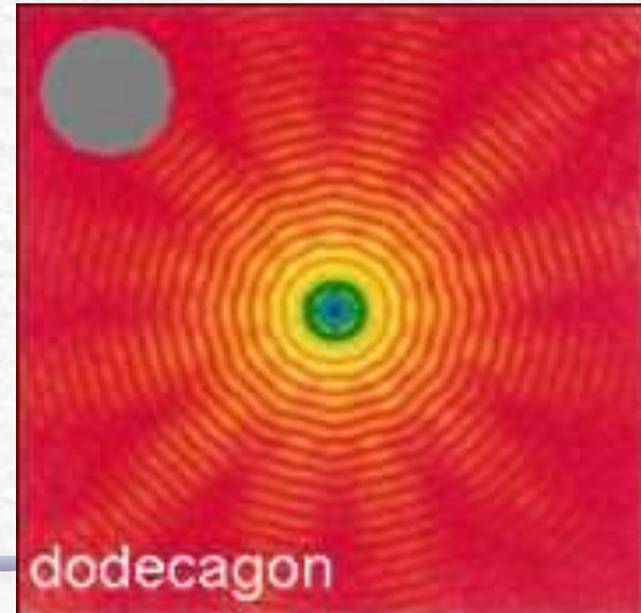
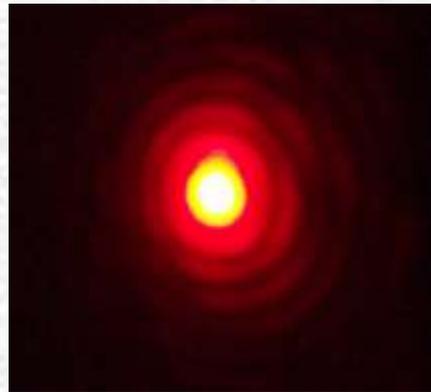
Problemas de alinhamento...



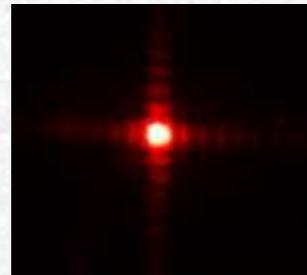
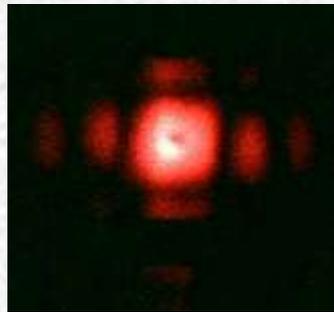
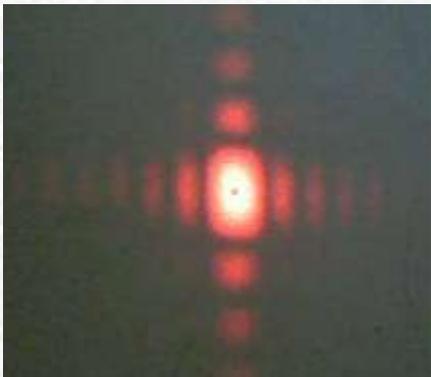
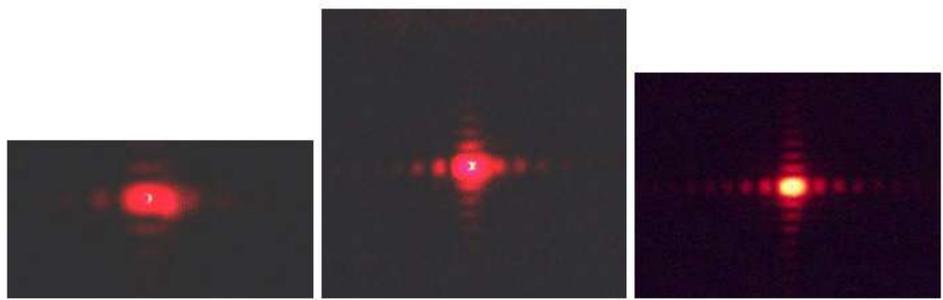
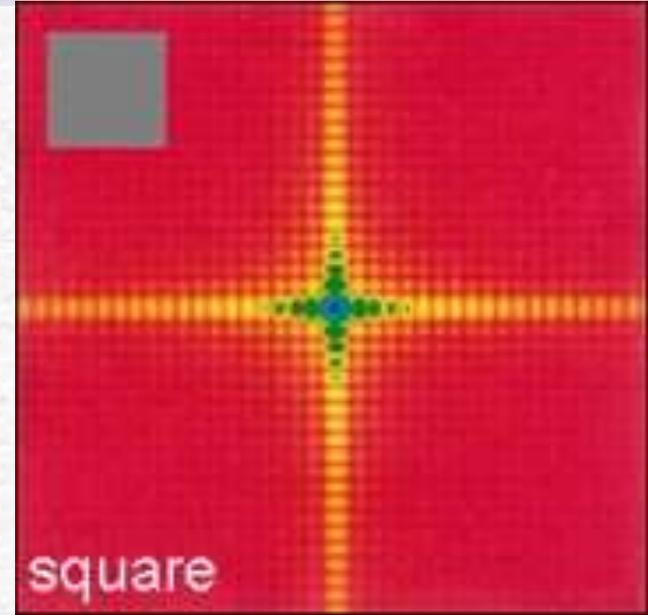
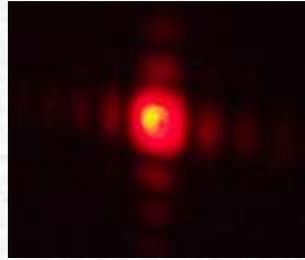
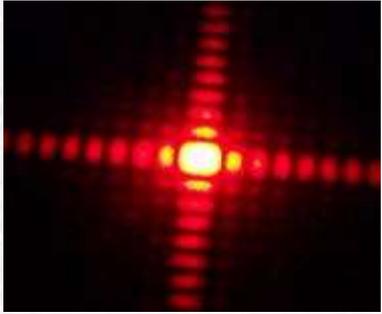
Fenda Dupla



Círculos

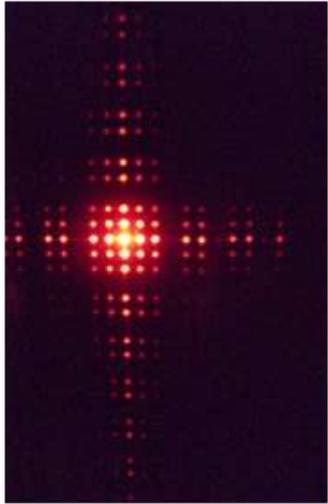


Quadrados

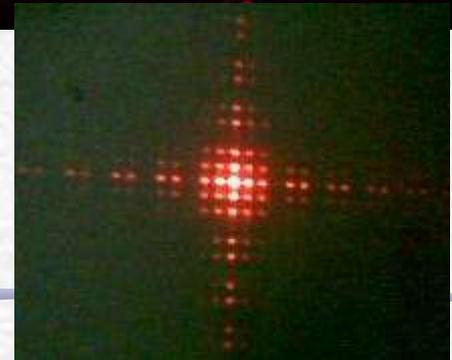
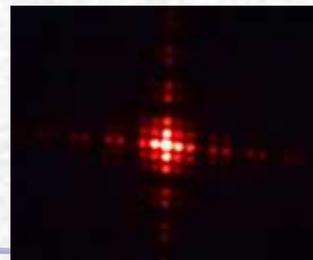
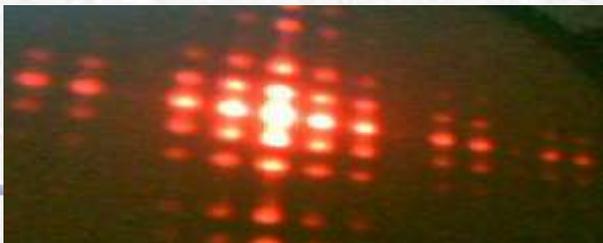
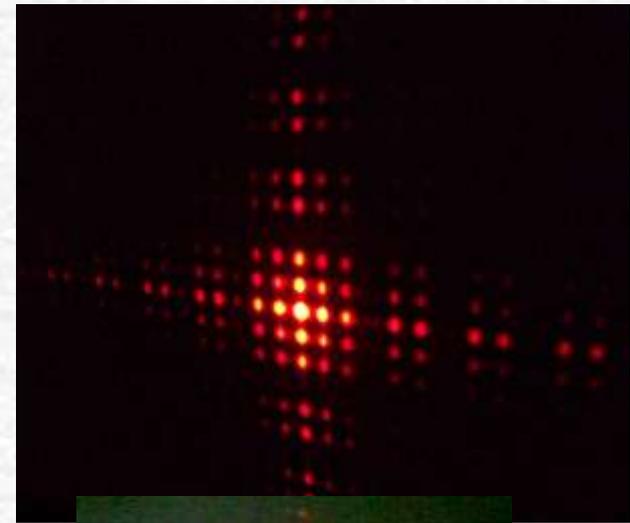
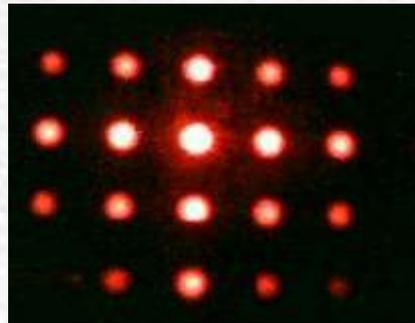
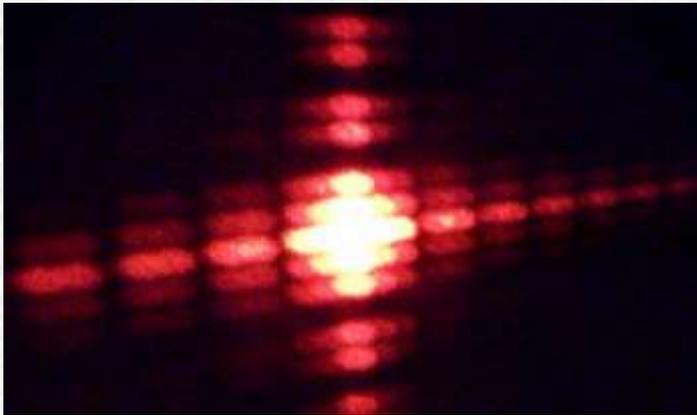


Rede

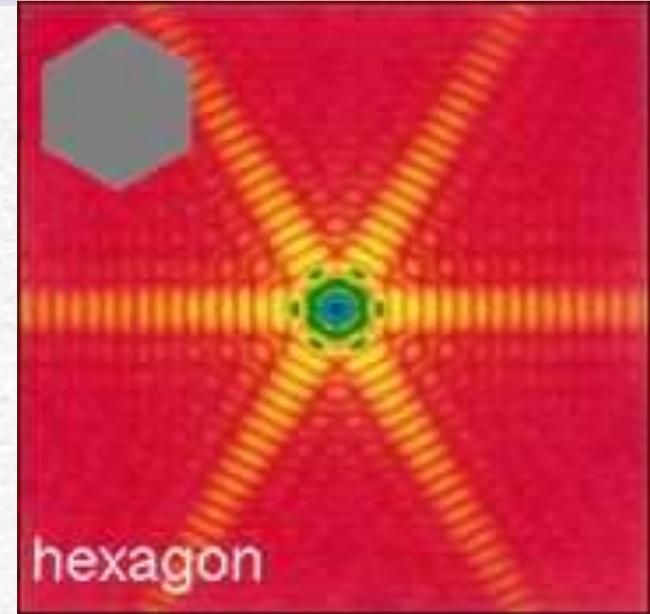
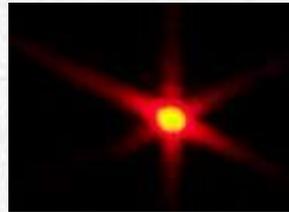
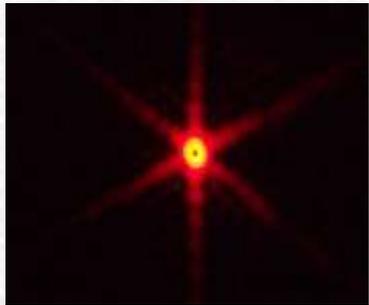
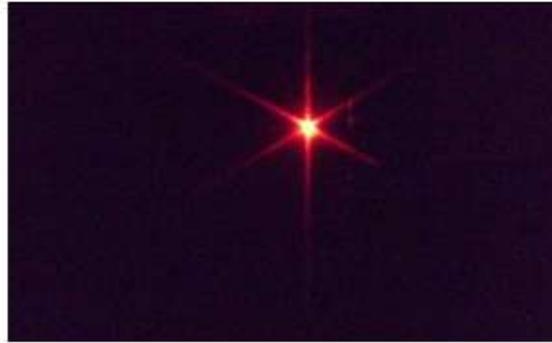
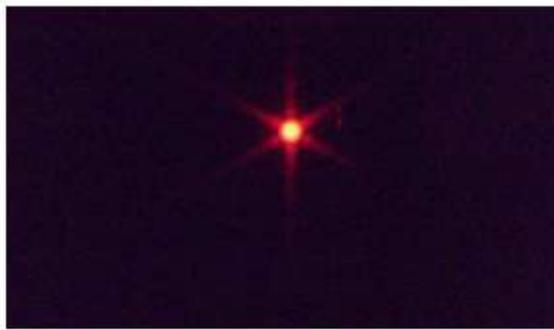
Em seguida, incidimos o laser sobre um orifício com a forma de um quadrado quando visto a olho nu. O padrão resultante foi muito curioso e é um motivo para discussão. Como vimos anteriormente, para um quadrado com dimensões grandes com relação ao comprimento de onda, não observamos refração. Da mesma forma, as últimas figuras nos mostraram que os quadrados muito pequenos nos deram uma figura com menos detalhes que as maiores. Essa ultima imagem, formada por um quadrado menor que o primeiro e maior que os últimos, é muito rica em detalhes e nos mostra que utilizando o comprimento de onda adequado podemos caracterizar muito melhor os orifícios.



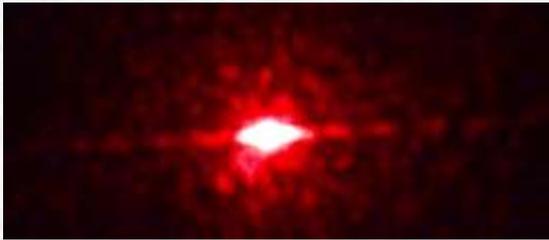
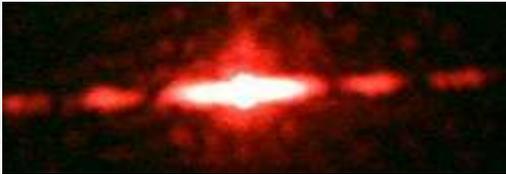
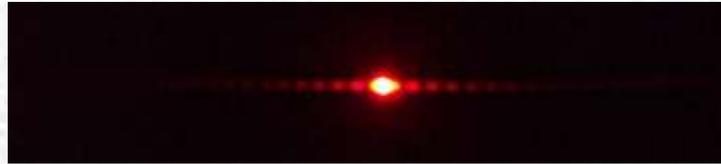
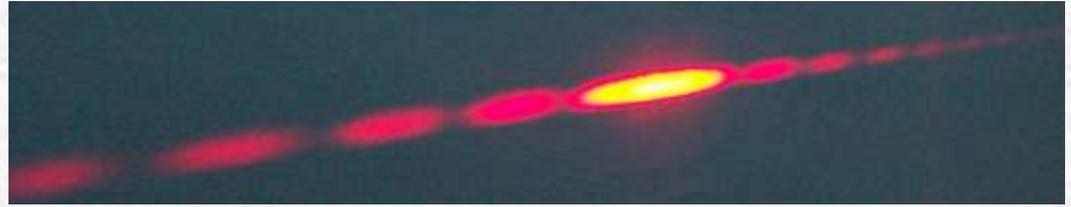
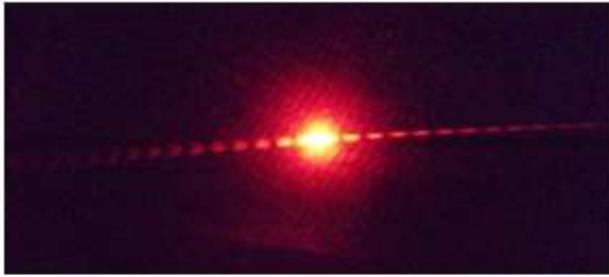
Na verdade era
uma rede cruzada



Hexágonos



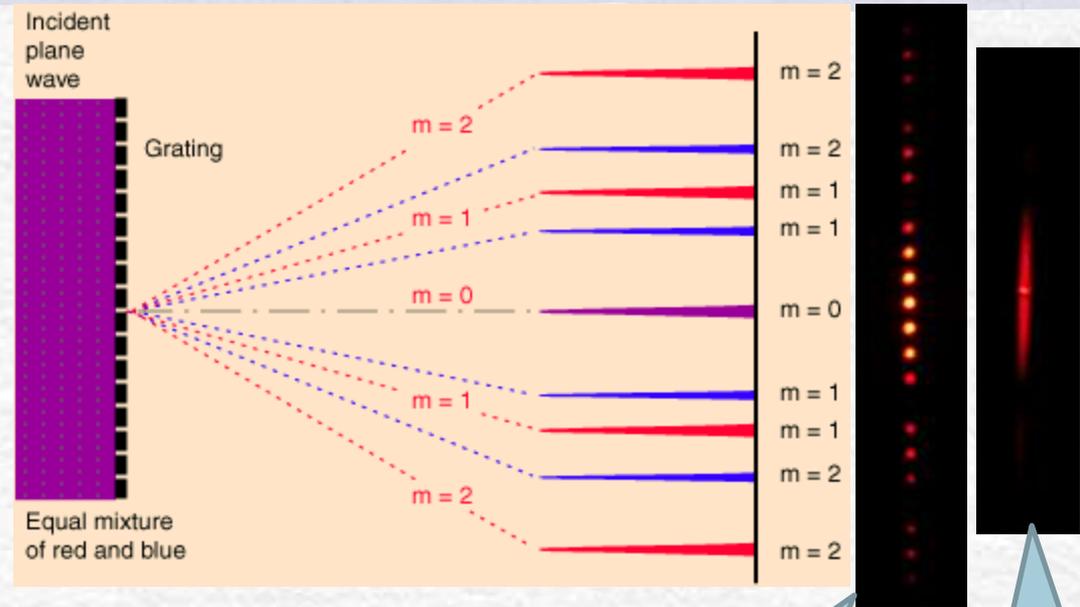
Fio de cabelo



Confusão entre Fenda e Grade



A primeira linha era de grades de difração (série de fendas paralelas)



grande

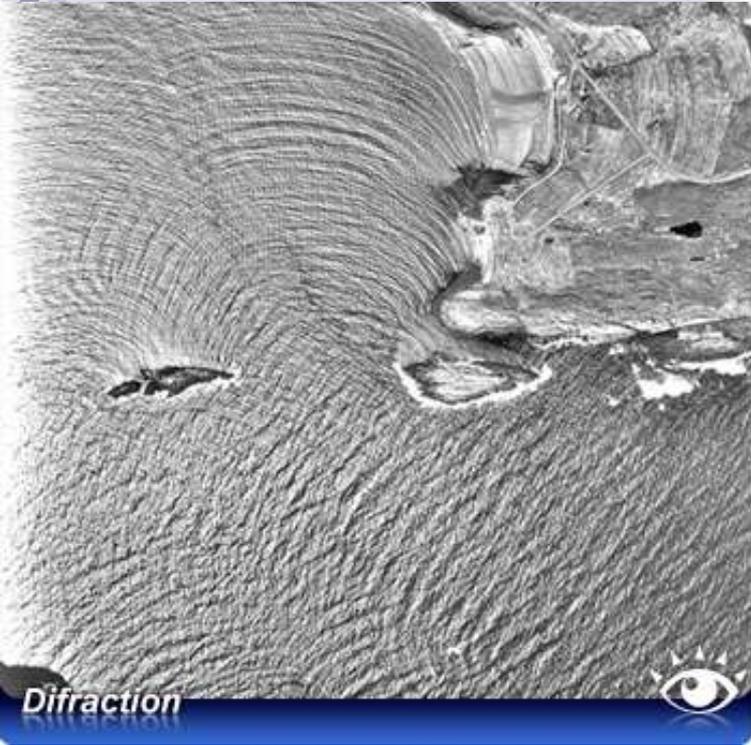
peq.

Para fenda simples, θ aumenta quando d diminui.

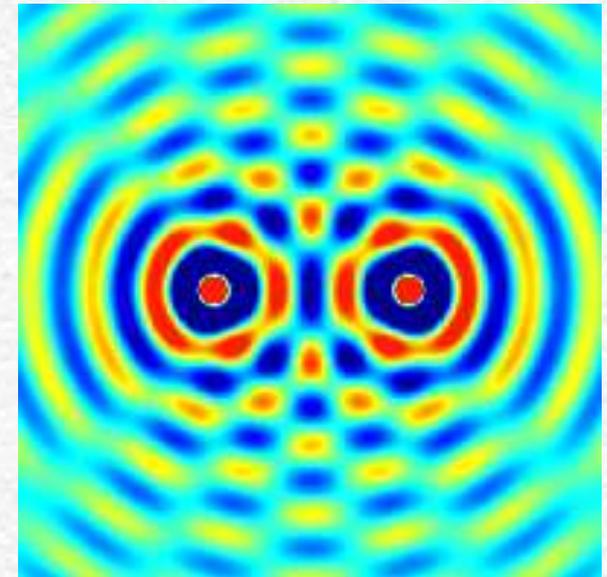
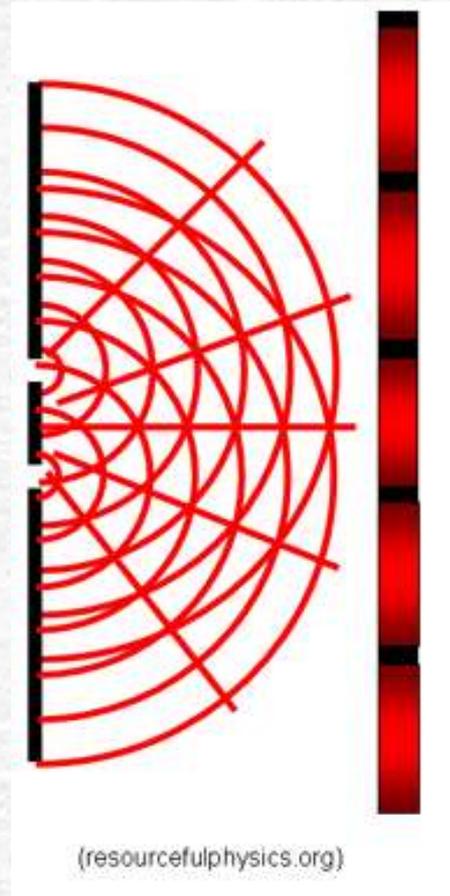
$$d\theta \approx \pm m\lambda, m = 1, 2, \dots$$

Vemos pela Eq. 9 que quanto menor o valor de d menor o valor do termo β e menor o valor de $\left(\frac{I(\theta)}{I(0)}\right)$. Sendo assim a amplitude deste ultimo termo será menor e seus pontos de maximo e mínimos estaram mais próximos. Abaixo a Figura 6 mostra a figura de refração formada pela Fenda Simples 2, muito mais fina do que a Fenda Simples 1.

AULA DE HOJE



Difração e Interferência



Difração

- O quanto as ondas se espalham para trás do obstáculo ou fenda, depende da relação entre o comprimento de onda incidente (λ) e a dimensão da abertura (d):
 - <http://sampa.if.usp.br/~suaide/applets/falstad/mirror1/ripple/>

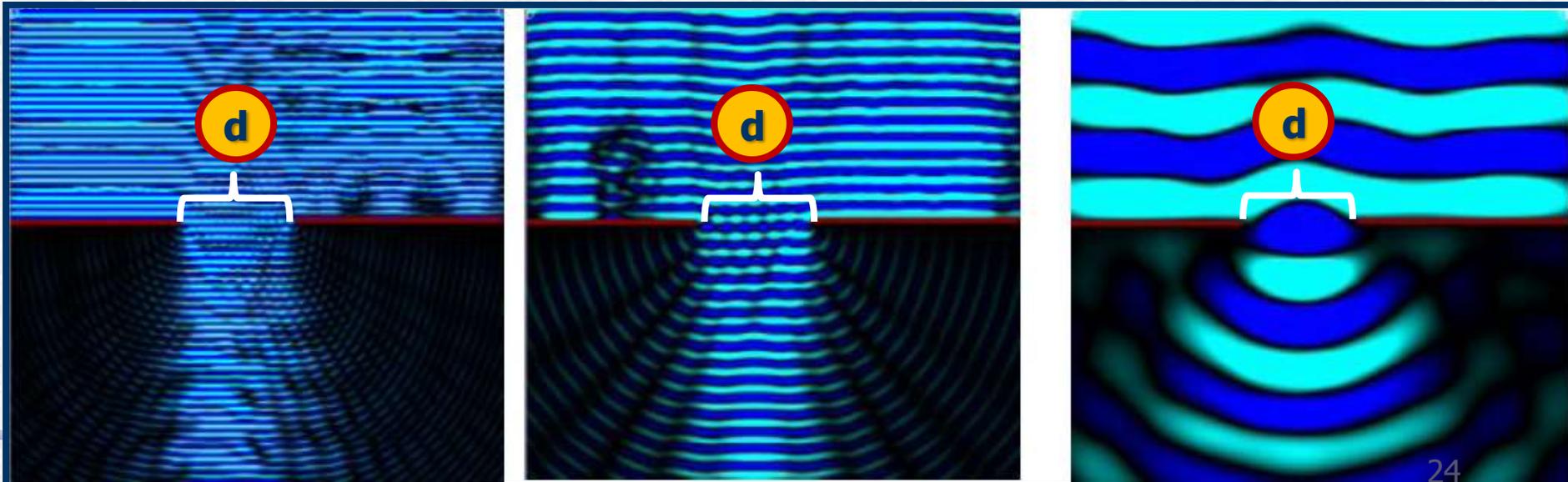
λ_1

$\lambda < d$

λ_2

$\lambda < d$

λ_3



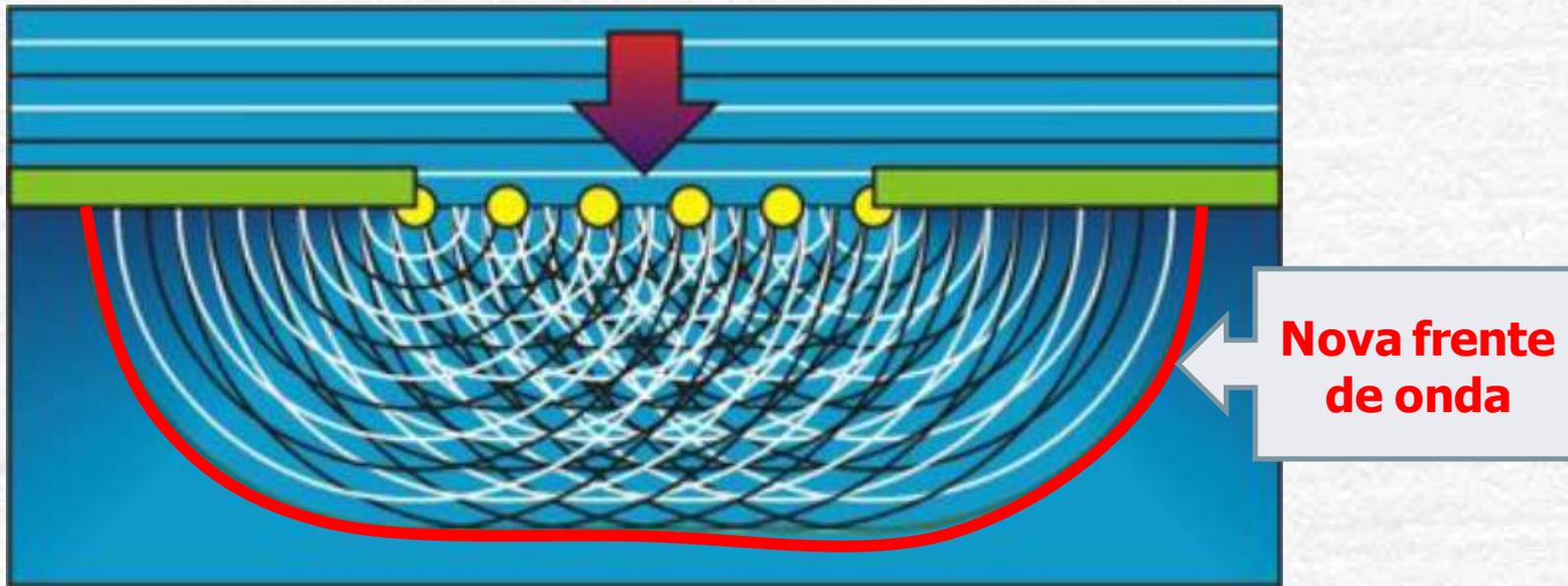
Difração: tratamento

- Esse comportamento, apesar de ocorrer sempre, pode não ser notado. O domínio da Óptica Geométrica ou os fenômenos ópticos que podem ser explicados por essa teoria são aqueles que ocorrem em condições tais que os efeitos da difração são desprezíveis.

O tratamento completo da difração deve ser realizado através da teoria da eletrodinâmica quântica, entretanto, para as experiências que estamos propondo, a teoria eletromagnética clássica, que possibilita um tratamento extremamente mais simples, é mais que suficiente.

Difração: Princípio de Huygens

Princípio de Huygens. Esse princípio diz que **cada ponto de uma frente de onda pode ser considerado como uma fonte secundária de ondas esféricas**.



Esse princípio independe do comprimento de onda e prevê o mesmo comportamento para ondas de diferentes comprimentos de onda ao encontrarem o mesmo obstáculo.

Isso não é verdadeiro.

Difração: Princípio de Huygens-Fresnel

Fresnel, resolveu o problema adicionando a esse princípio, o conceito de interferência

Princípio de Huygens-Fresnel:

- Qualquer ponto de uma frente de onda que não seja obstruído, em qualquer instante se comporta como uma fonte de ondas esféricas secundárias, da mesma frequência da onda primária.
- A amplitude do campo óptico em qualquer ponto após a passagem pelo obstáculo, é a superposição das amplitudes das ondas esféricas secundárias, levando em conta suas fases relativas.

Ou seja, considera-se a interferência!

Difração de Fraunhofer e de Fresnel

Se o plano de observação está a uma distância grande do obstáculo que contém a abertura, o princípio de **Huygens-Fresnel** funciona bem. Essa é a **difração de Fraunhofer** ou **difração de campo distante**.

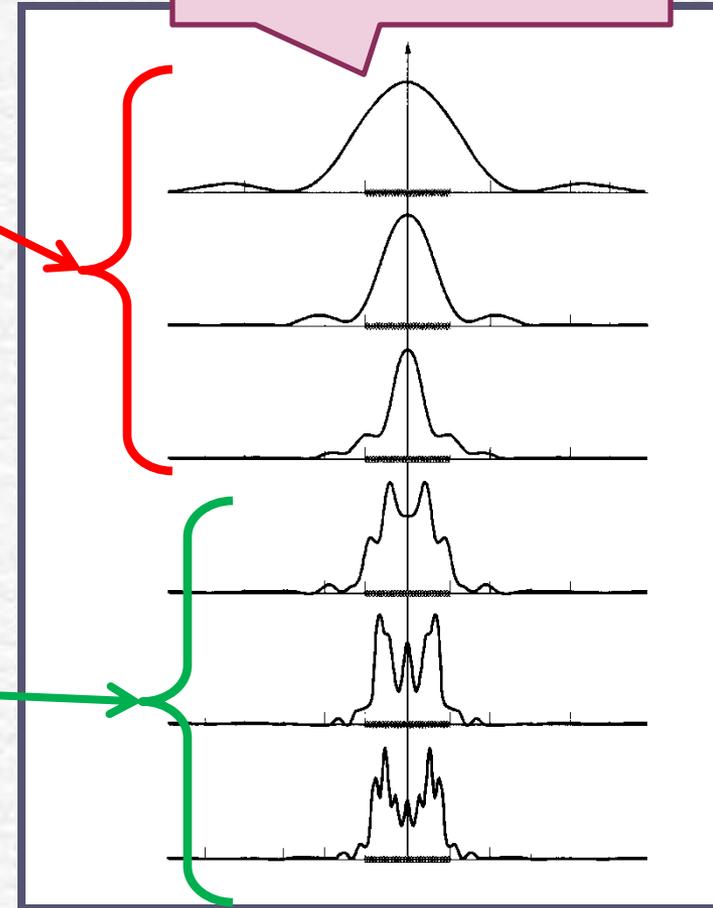
Se o plano de observação é movido para uma distância um pouco maior que a dimensão da abertura, a imagem projetada ainda será reconhecível, mas terá estruturas bem visíveis, à medida que as franjas de difração ficam mais proeminentes. Esse fenômeno é conhecido como **difração de Fresnel** ou **difração de campo próximo**.

Número de Fresnel

- $F \ll 1$ (Fraunhofer)
- $F \gg 1$ (Fresnel)

$$F = \frac{d^2}{\lambda L}$$

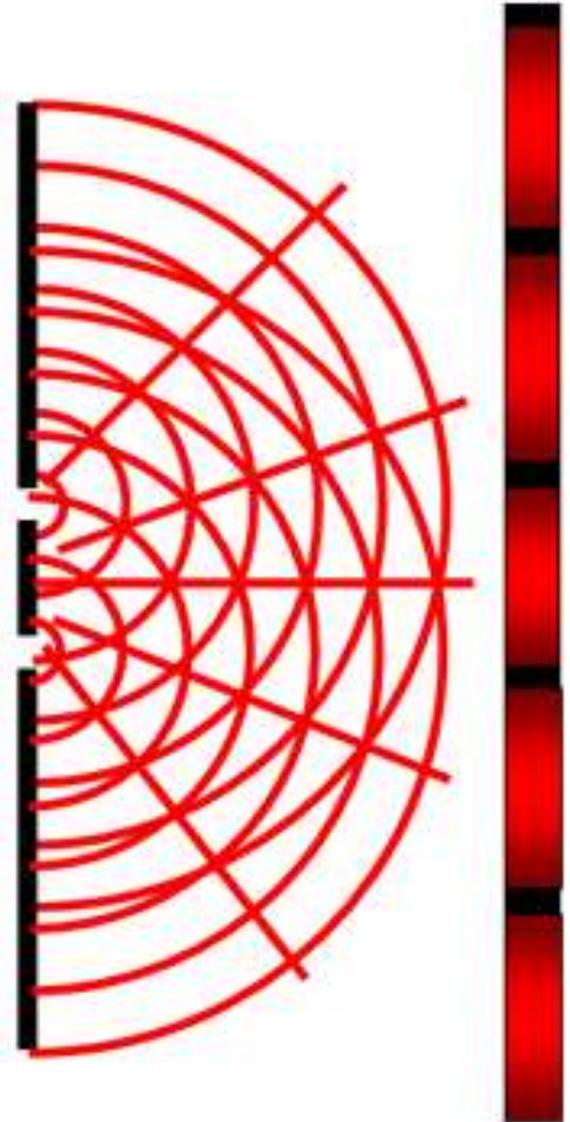
Vamos trabalhar neste limite!



Interferência

- Seja **duas fendas ideais**, separadas de uma distância ***a***.
- Como cada fenda funciona como uma fonte puntiforme radial, o campo elétrico gerado por uma delas vale:

$$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{R} \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t + \delta)$$



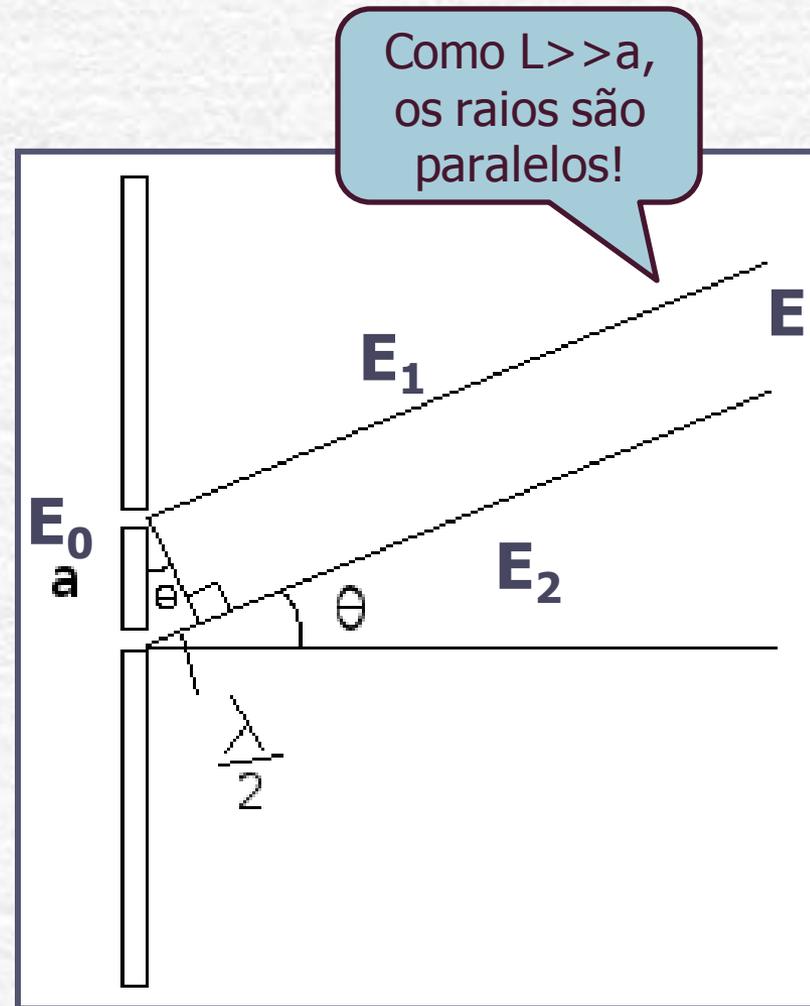
Duas fendas ideais

- Assim o campo total em um ponto distante qualquer vale:

$$\begin{aligned}\vec{E} &= \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \\ &= \frac{\vec{E}_0}{R} \left[\cos(kr - \omega t) \right. \\ &\quad \left. + \cos(kr - \omega t + \delta) \right]\end{aligned}$$

- Sendo δ a diferença de fase entre as duas ondas, que vale

$$\delta = ka \sin \theta$$



Duas Fendas: **Interferência**

- O campo elétrico será nulo, i.e., há interferência destrutiva, quando:

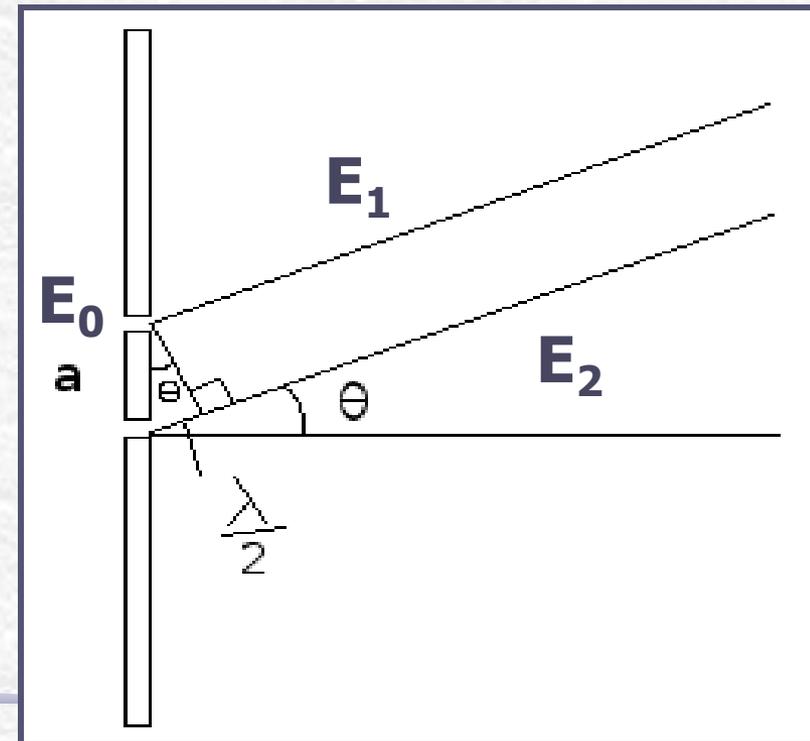
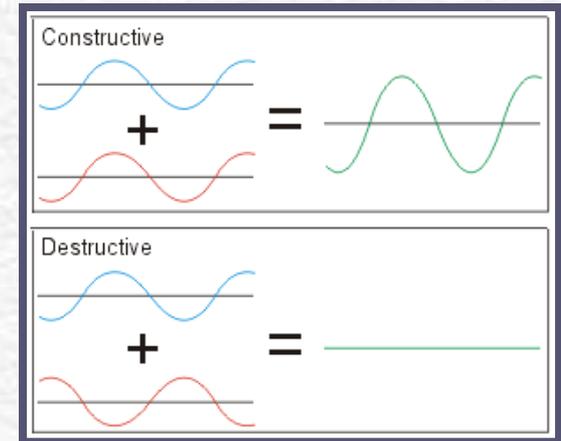
$$\delta = k a \sin \theta = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots$$

$$k a \sin \theta = (2m + 1)\pi, m = 0, 1, 2, \dots$$

- Ou seja, quando:

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

$$a \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2} \right) \lambda, m = 0, 1, 2, \dots$$



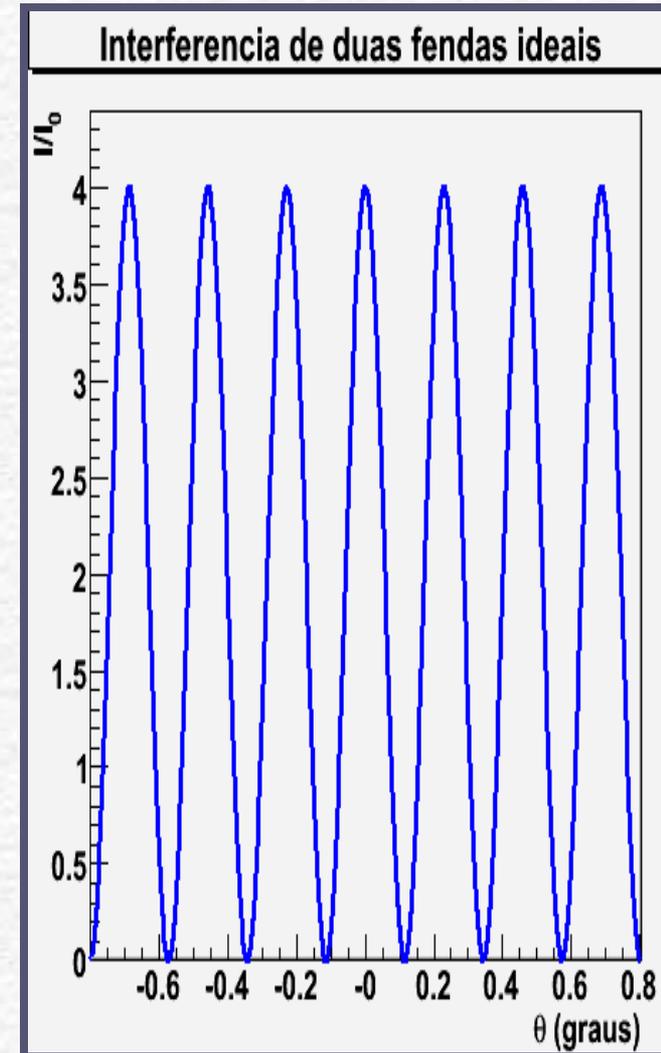
Duas Fendas: **Intensidade**

Irradiância (I) de uma fonte de ondas eletromagnéticas: é a **energia média emitida por unidade de área, por unidade de tempo**. É proporcional ao quadrado do campo elétrico da onda eletromagnética.

- No caso de ângulos pequenos, a intensidade pode ser dada por:

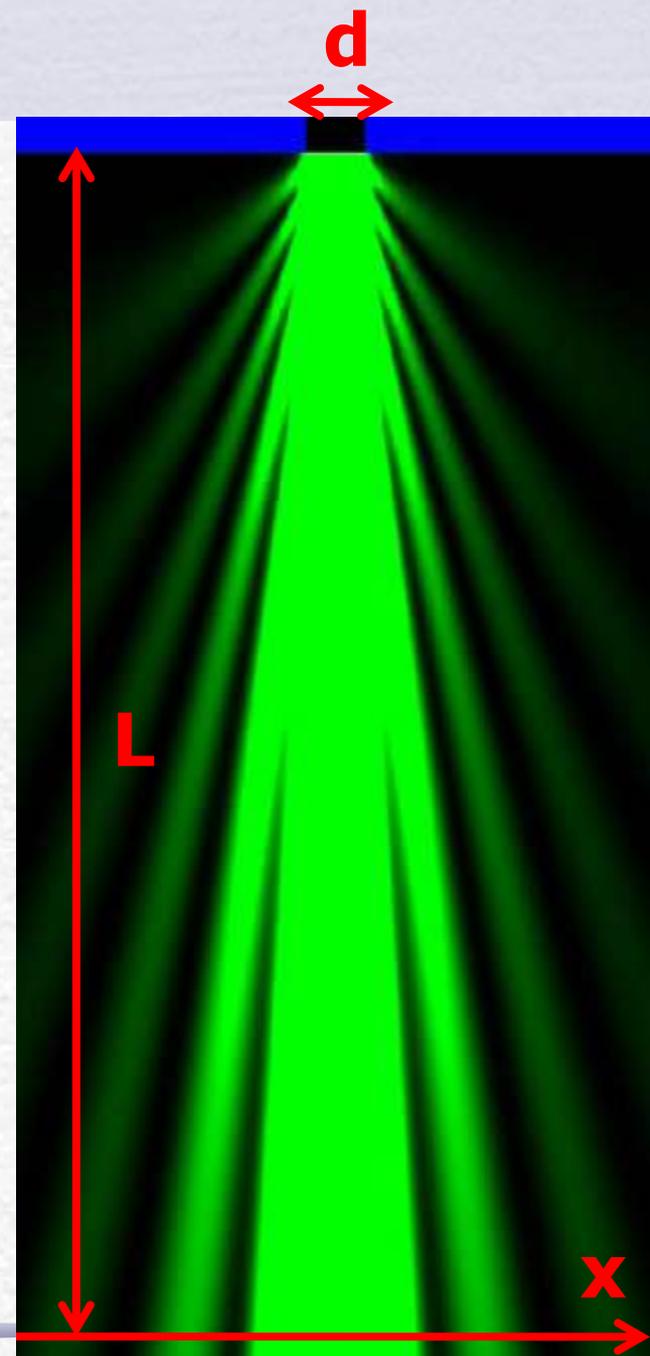
$$\vec{E} = \left(\frac{\vec{E}_0}{R} 2 \cos(\delta / 2) \right) \cos(kr - \omega t + \delta / 2)$$

$$I = 4I_0 \cos^2 \alpha, \quad \alpha = \frac{\delta}{2} = \frac{\pi}{\lambda} a \sin \theta$$



Difração

- Seja uma fenda de largura d .
- Se a largura d for comparável com o comprimento de onda λ , ocorre difração.
- Se colocarmos um anteparo a uma distância L , *muito maior que d* , qual é a intensidade luminosa ao longo do eixo x ?



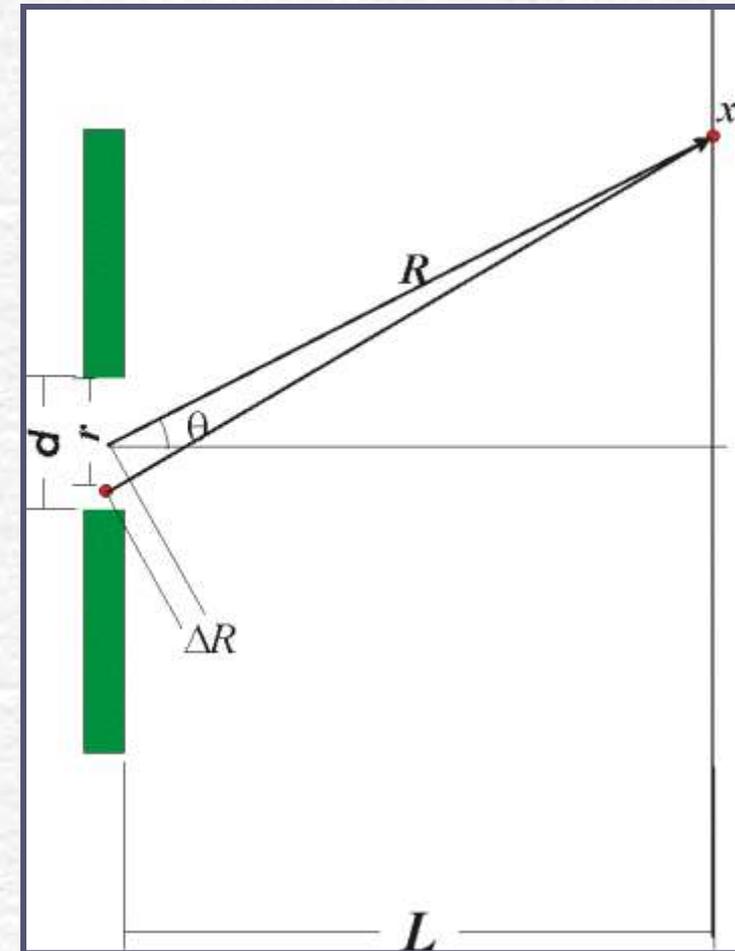
Fenda Simples

Neste caso consideramos cada pedaço da fenda como uma fonte pontual.

- Seja um pedaço qualquer da fenda, distante de r de uma das extremidades
- Seja uma onda de frequência f e comprimento de onda λ .
- Em um instante t qualquer a intensidade da onda no ponto x vale:

$$\vec{E}(r) = \frac{\vec{E}_0}{R} \cos(kR - \omega t + \delta)$$

$$\delta = k\Delta R = kr \sin \theta$$



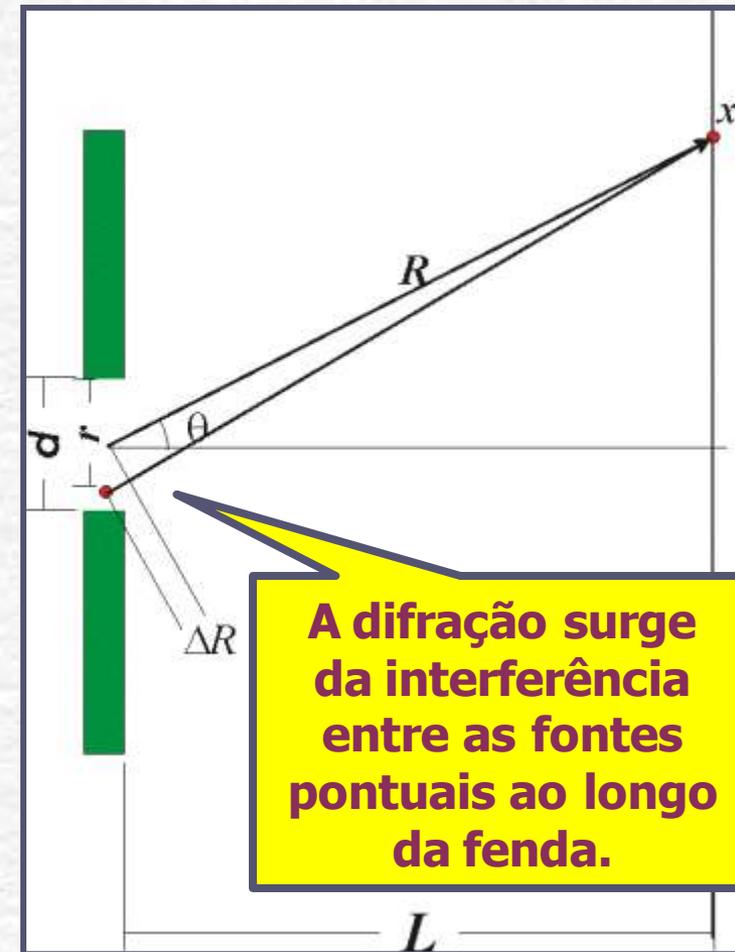
Fenda Simples: Difração

- Para saber o campo total, é preciso somar todos os pedaços da fenda:

$$\vec{E}(x) = \int_{-d/2}^{d/2} \vec{E}(r) dr$$
$$\propto \left[\frac{\sin(kR - \omega t + kr \sin \theta)}{k \sin \theta} \right]_{-d/2}^{d/2}$$
$$\propto \frac{\sin(\beta)}{\beta}, \text{ onde : } \beta = k \frac{d}{2} \sin \theta$$

- Assim a intensidade fica:

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



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:

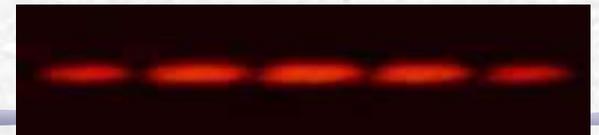
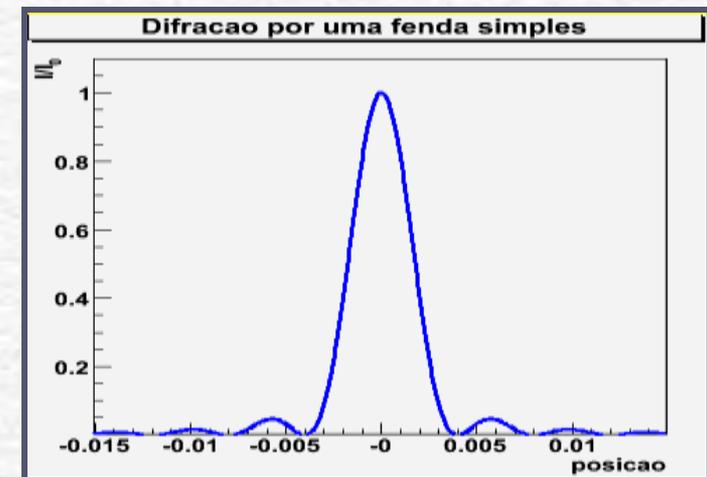
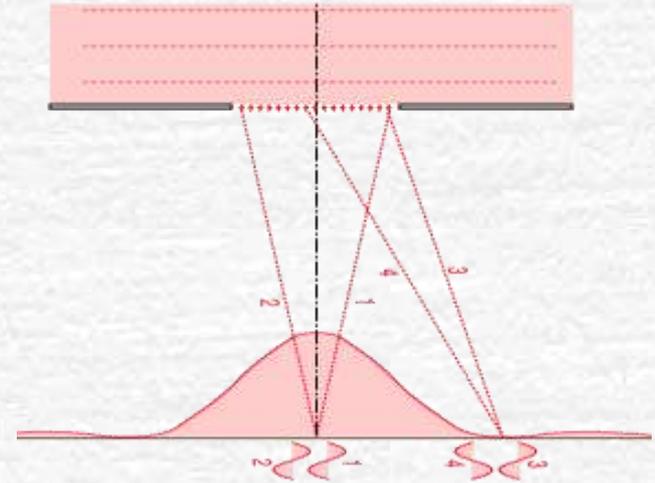
$$\sin \beta = 0 \Rightarrow \beta = \pm m\pi, m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

- Ou seja:

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

- Para $m=0$ temos um máximo pois:

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

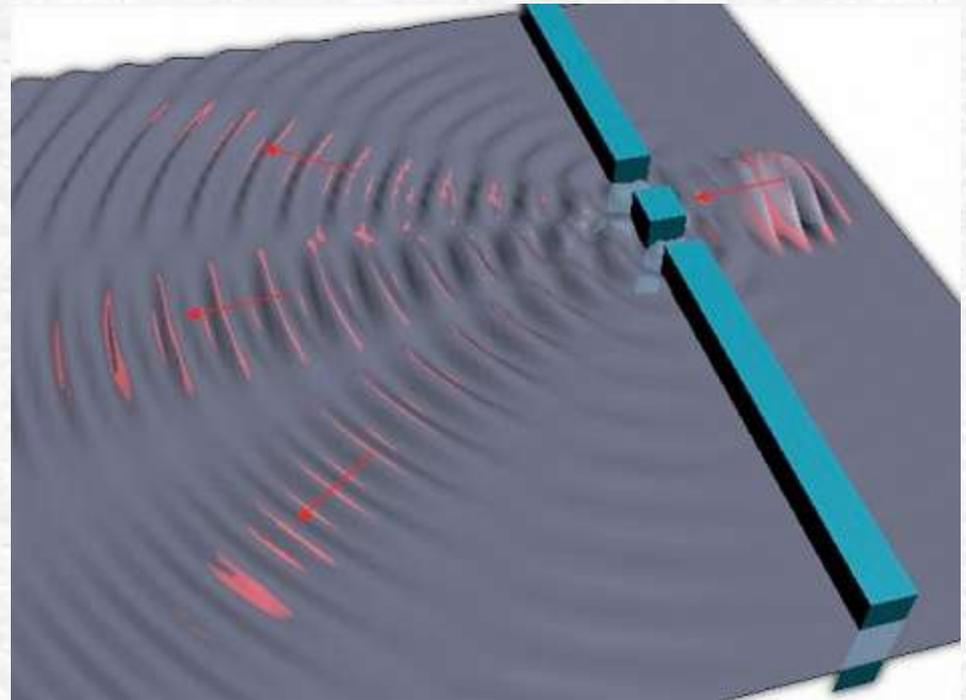


Fenda Dupla REAL

- Vamos voltar ao caso da fenda dupla e considerá-la real, isto é, vamos considerar que cada abertura tem uma dimensão não pontual.

- Seja uma fenda dupla de separação, centro a centro, a , e largura de fenda b .
- Além da difração em cada fenda separadamente, temos a interferência entre as duas fendas.

$$I = I_{\text{difrac}} * I_{\text{interf}}$$

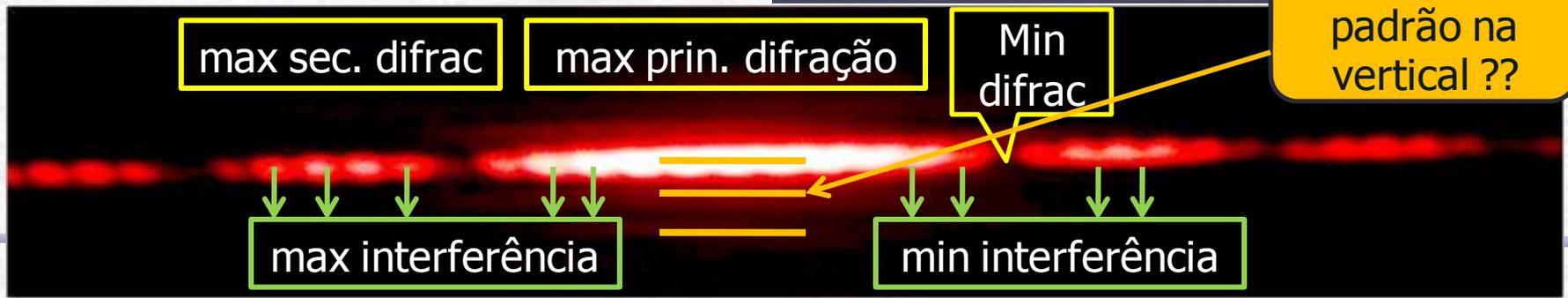
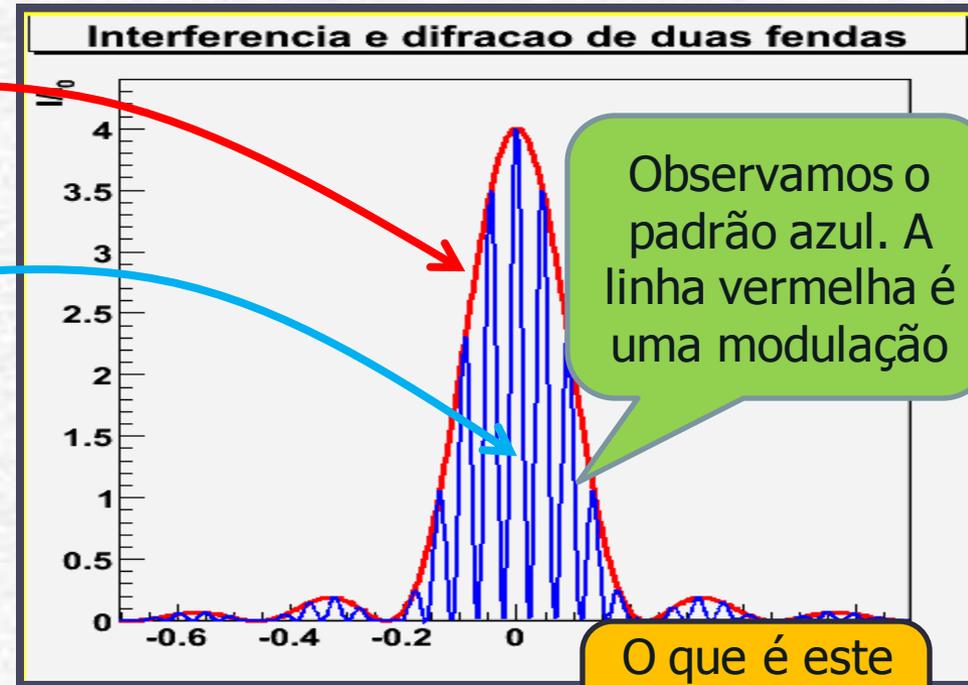


Fenda Dupla: Difração e Interferência

- Assim, sendo a distância entre as fendas e d a largura de cada fenda, podemos escrever que:

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

$$\beta = \pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta \quad \alpha = \pi \frac{a}{\lambda} \sin \theta$$



Difração em duas dimensões

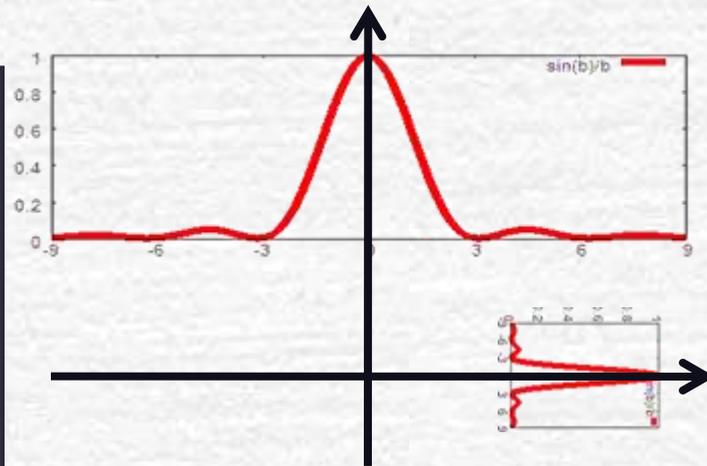
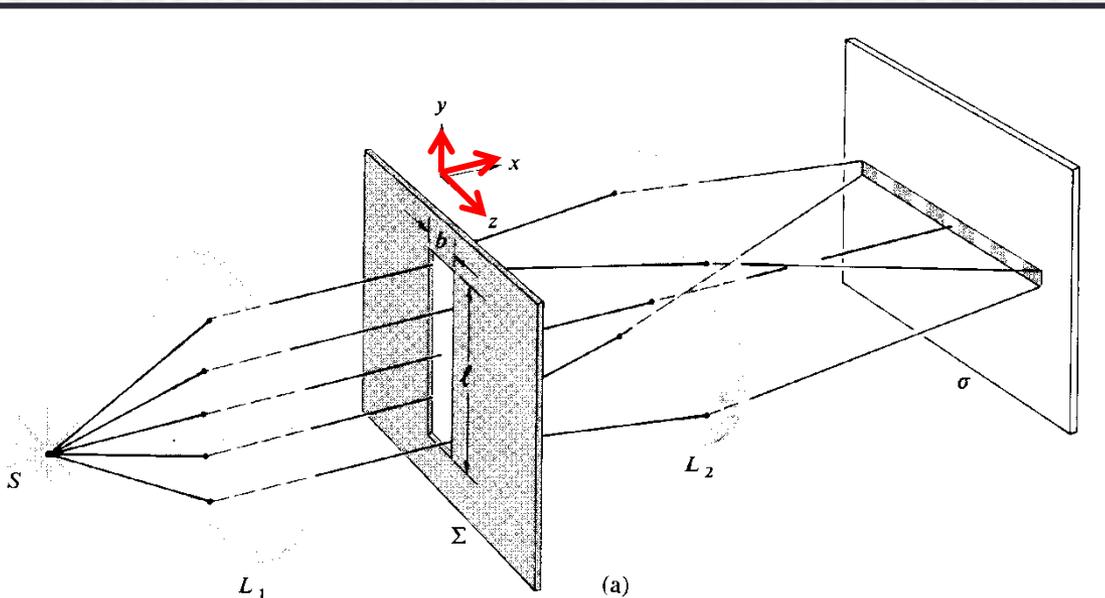
Uma fenda real, tem um comprimento D e uma largura d , e a difração acontece nas duas direções! Contudo, ao longo do comprimento, a intensidade cai muito rapidamente pois $D \gg \lambda$ enquanto que $d \sim \lambda$.

Como:

Então:

$$\beta = \frac{\pi D}{\lambda} \operatorname{sen} \theta \quad \beta \gg 1 \rightarrow \frac{\operatorname{sen} \beta}{\beta} \ll 1$$

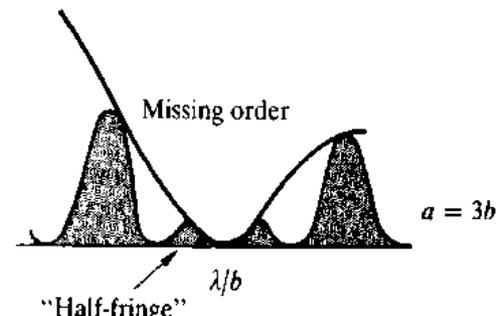
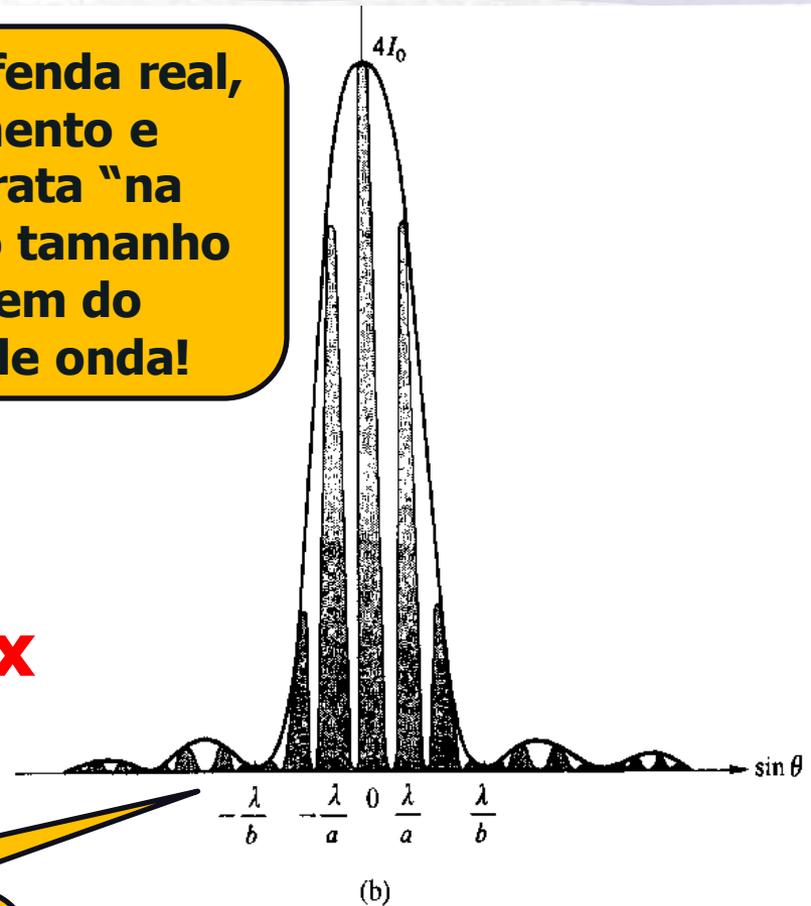
Na direção do comprimento, a intensidade é muito pequena para valores de $\beta > 0$.



Difração de fenda dupla

Na prática, uma fenda real, com comprimento e largura, só difrata "na largura" pois é o tamanho que é da ordem do comprimento de onda!

O padrão de difração/interferência de uma fenda dupla aparece no plano x/z , perpendicular ao comprimento da fenda



Características do objeto

Como vimos, a razão entre as dimensões do objeto e comprimento de onda determinam o padrão de difração.

- A partir da separação entre os mínimos da figura de difração pode-se calcular a largura da fenda.
- A partir da separação entre os máximos (ou mínimos) do padrão de interferência pode-se calcular a separação entre elas.

Nos dois casos, é preciso conhecer a **distância entre as fendas e o anteparo** e que as condições para a ocorrência da **difração de Fraunhofer estejam satisfeitas**.



Difração: orifício circular

- Da mesma forma que para a fenda simples, podemos observar figuras de difração para um orifício circular de diâmetro a . Neste caso, os mínimos de intensidade correspondem à (onde a é o diâmetro da abertura):

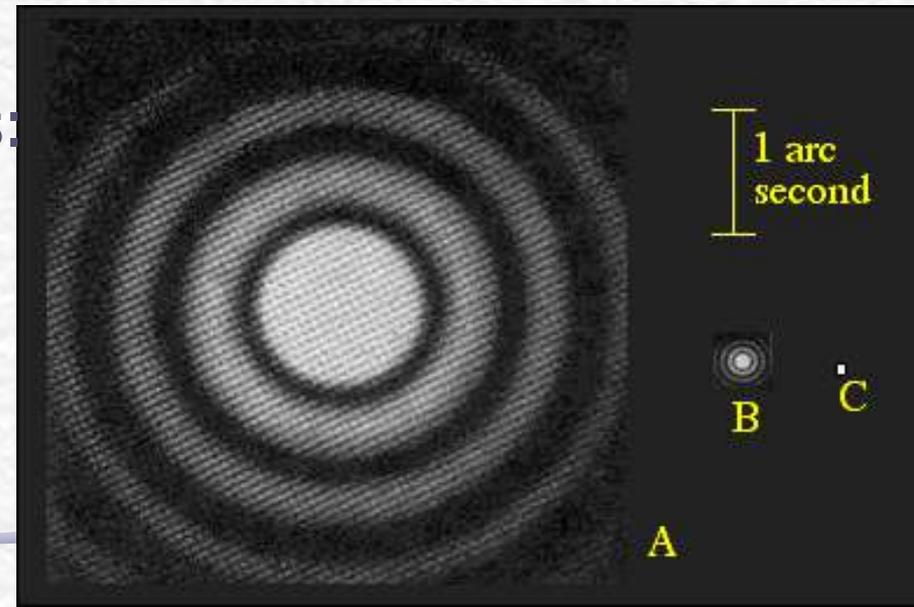
$$\frac{\text{sen}\theta}{\lambda/a} = 1,22; \quad 2,23; \quad 3,24; \quad \dots$$

Imagens de uma estrela com telescópios de aberturas diferentes:

A=espelho de 10cm de diâmetro

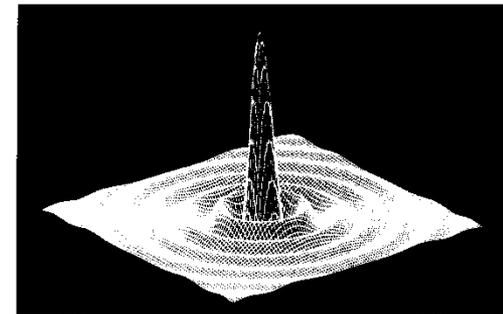
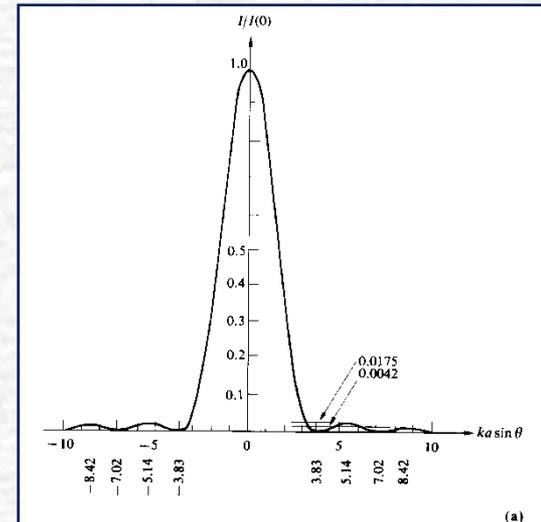
B= espelho de 1m de diâmetro

C= espelho de 10m de diâmetro

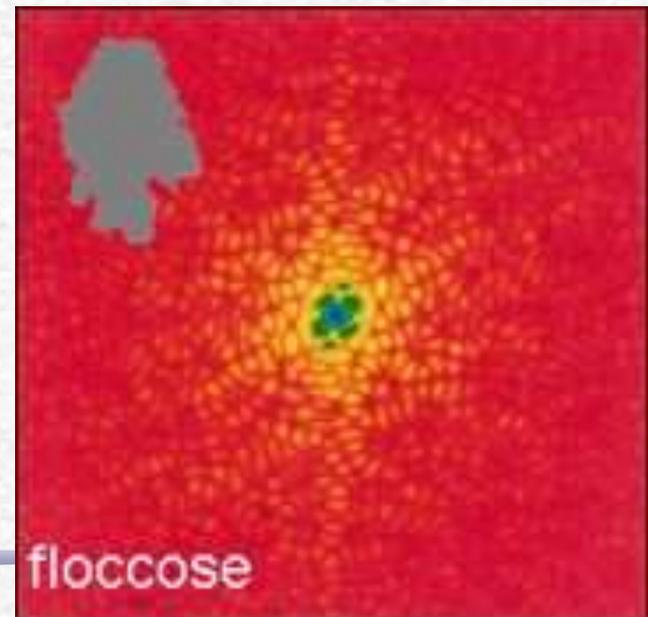
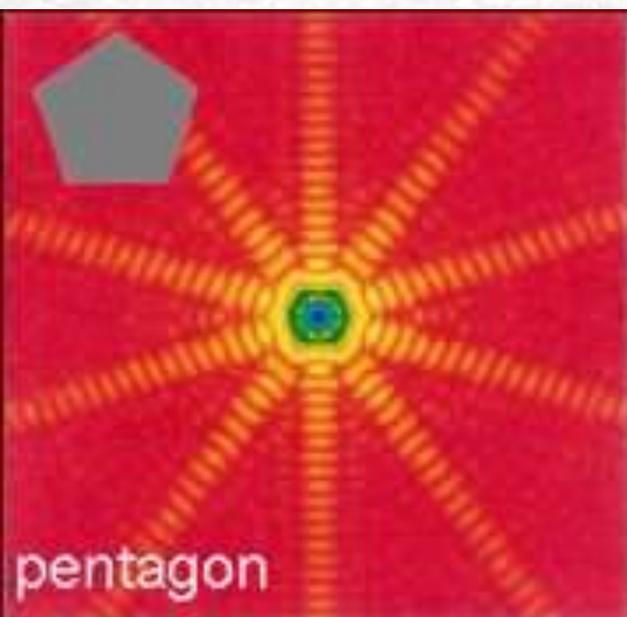
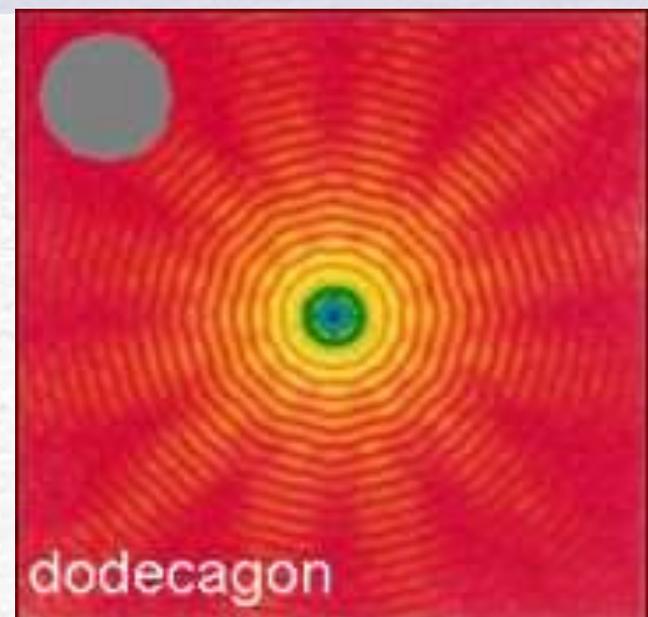
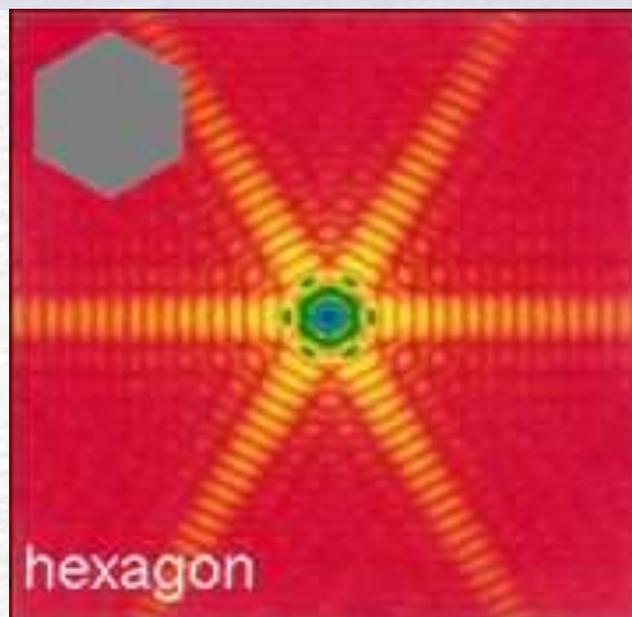


Difração: orifício circular

- A imagem de uma fonte pontual formada por uma lente convergente, totalmente livre de aberrações, nunca é um ponto, ela é o máximo principal correspondente a algum tipo de difração.
- Os máximos, neste caso, são chamados de **discos de Airy**, porque foi Sir George Biddell Airy quem primeiro derivou a fórmula que descreve a distribuição de intensidade para a abertura circular.
- **E aí está incluído o seu olho! Portanto o que se enxerga é sempre uma figura de difração.**



Difração orifícios de formas diversas



Para Esta Semana

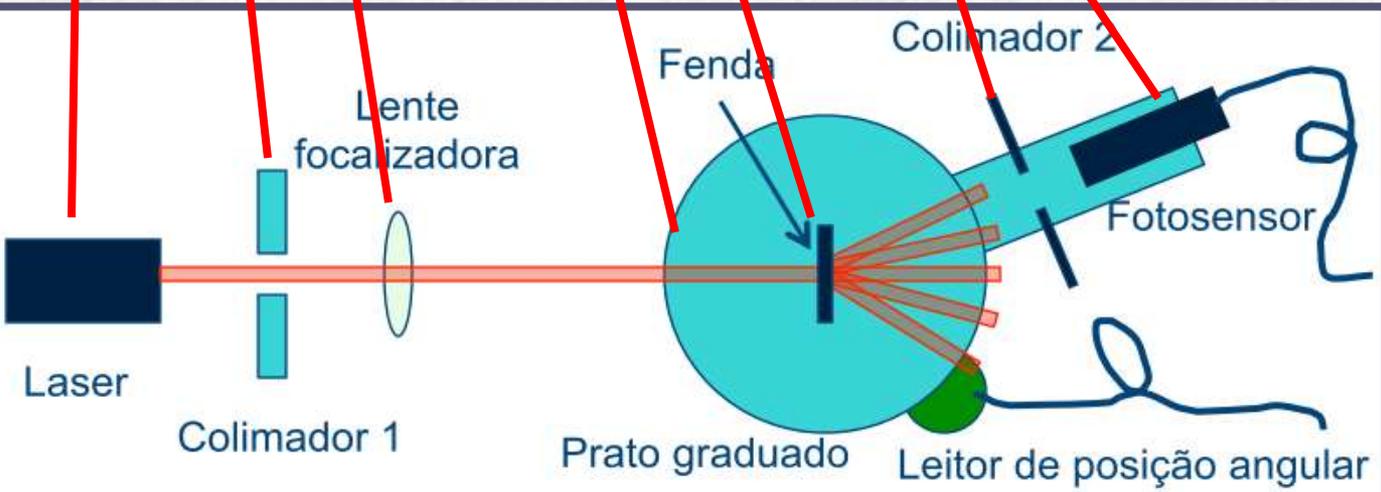
Estudar a difração e/ou interferência da:

Fenda simples

- ❖ Medir as intensidades da figura de difração da fenda simples com o espectrofotômetro. Usar ganho igual a 1.
- ❖ Superpor a curva teórica à experimental
- ❖ Da distância entre os mínimos nesse espectro obtenha a largura da fenda e compare com o valor nominal.
- ❖ Obter a razão entre as intensidades de cada máximo secundário e a do máximo principal
- ❖ Comparar as razões obtidas com os coeficientes da transformada de Fourier de uma onda quadrada. (vamos ver o porque disso na próxima aula)

Com o laser novo
não precisamos do
colimador e nem da
lente!

E nem desta
segunda
lente!



O espectrofotômetro

Fotosensor

Colimador 2

Retirar esta
segunda lente do
arranjo

Fendas

Mover devagar, sem
fazer força
1-2 graus/segundo

Movimento manual

Leitor de posição

A fenda escolhida
deve estar bem
centralizada no
prato para garantir a
correta medida
angular

Fotosensor

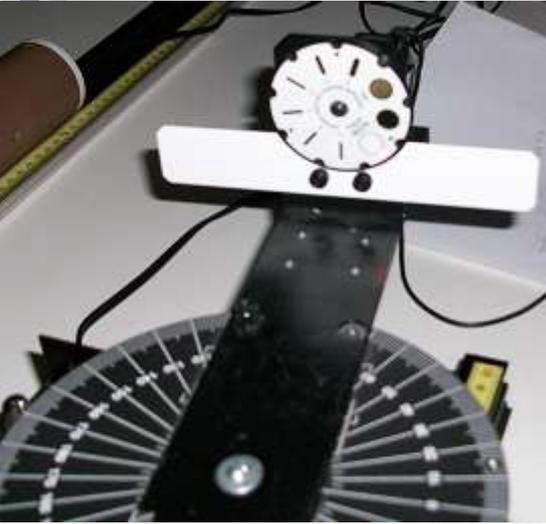
Colimador 2

A largura da abertura do colimador 2 define a precisão angular na qual a medida é feita. Quanto menor a abertura, maior é a precisão angular

Espectrofotômetro: funcionamento

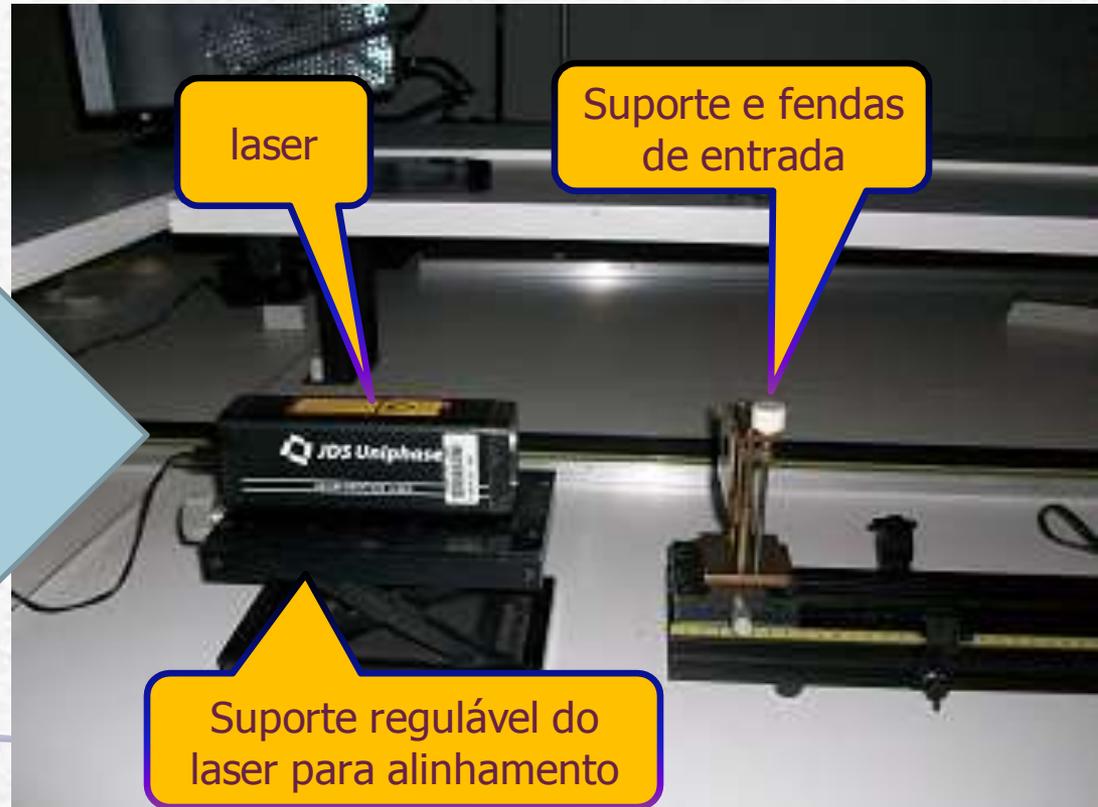
- Esse instrumento funciona com o **DataStudio**:
 - Ligue o **light sensor** no **canal A**
 - Ligue o **rotary motion sensor** (é só clicar)
- Clique no **rotary motion** e abre-se a janela do **set up**:
 - ajuste a resolução do **rotary motion** para **1440 divisão/grau**
 - ajuste a frequência de amostragem para **50Hz**
- Coloque o ganho do sensor ótico igual a **1**. (No próprio sensor).
- Com a função **Calculate** definir o ângulo correto:
 - Quando o disco calibrado dá uma volta, o pino gira 60 voltas. Como o instrumento dá o ângulo do pino, o ângulo correto é a leitura do instrumento(ângulo do pino) dividido por 60.
 - No **Calculate** definir **ângulo=x/60**.
- Comece as medidas movimentando o **light sensor** de forma contínua e pausada.

Espectrofotômetro: funcionamento



Use a fenda de saída número **1** (a mais estreita), pois queremos a melhor resolução angular possível..

- Use a segunda fenda simples mais larga do slide de fendas de entrada.
- Usar o slide de fendas de alumínio, na entrada (ele é prateado).
- O alinhamento do laser é muito importante, se não estiver bem alinhado o espectro não fica simétrico.



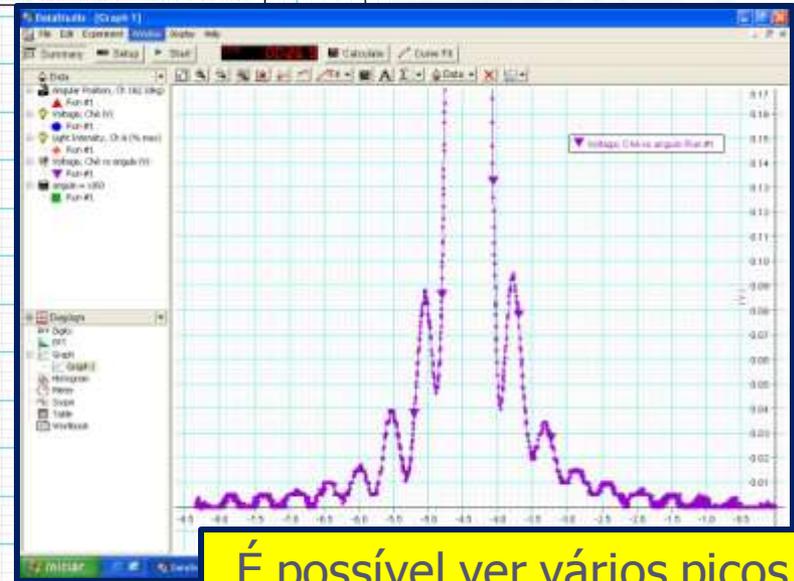
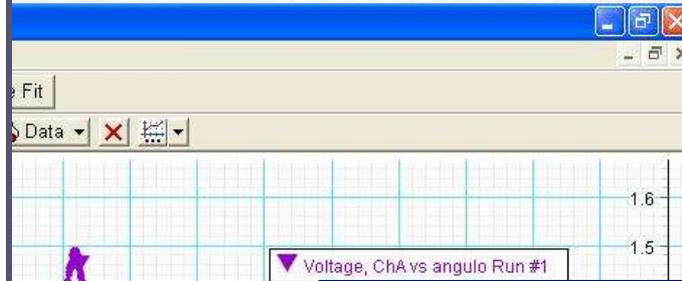
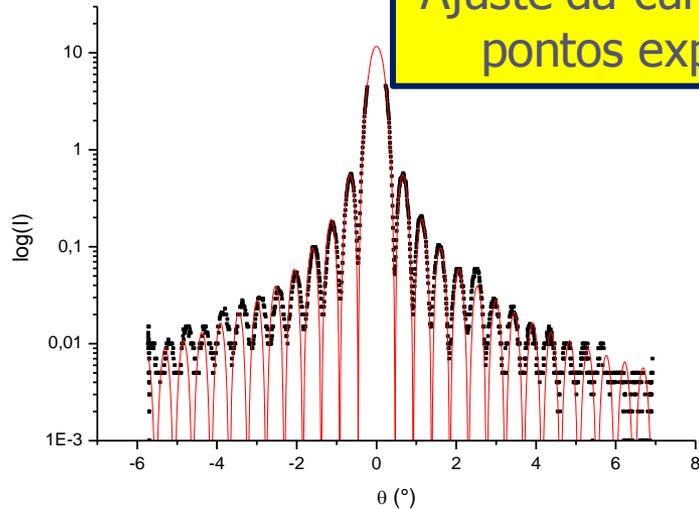
laser

Suporte e fendas de entrada

Suporte regulável do laser para alinhamento

Dados

Ajuste da curva teórica aos pontos experimentais



É possível ver vários picos.

