Física Experimental IV - 9ª aula
http://www.dfn.if.usp.br/~suaide/

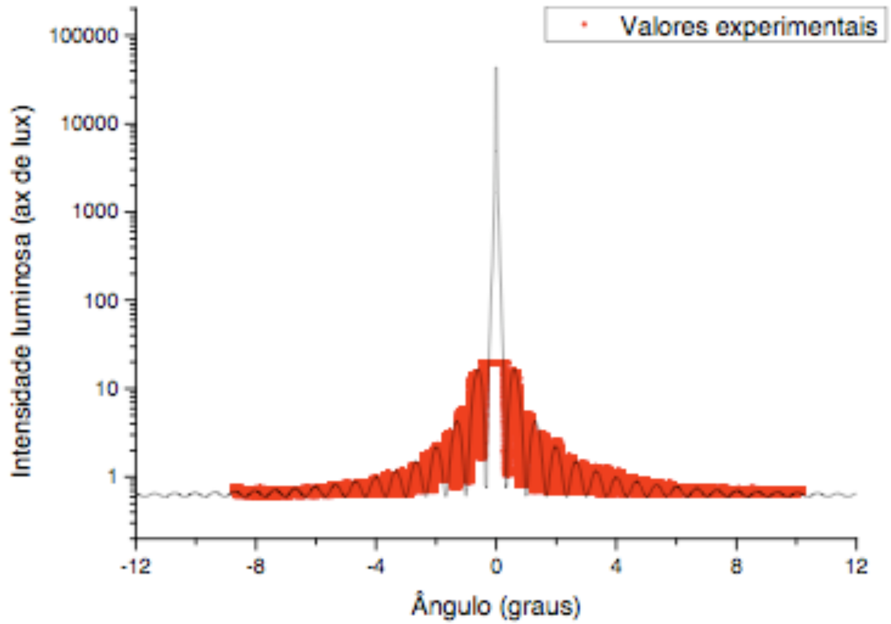
Alexandre Suaide

Ed. Oscar Sala

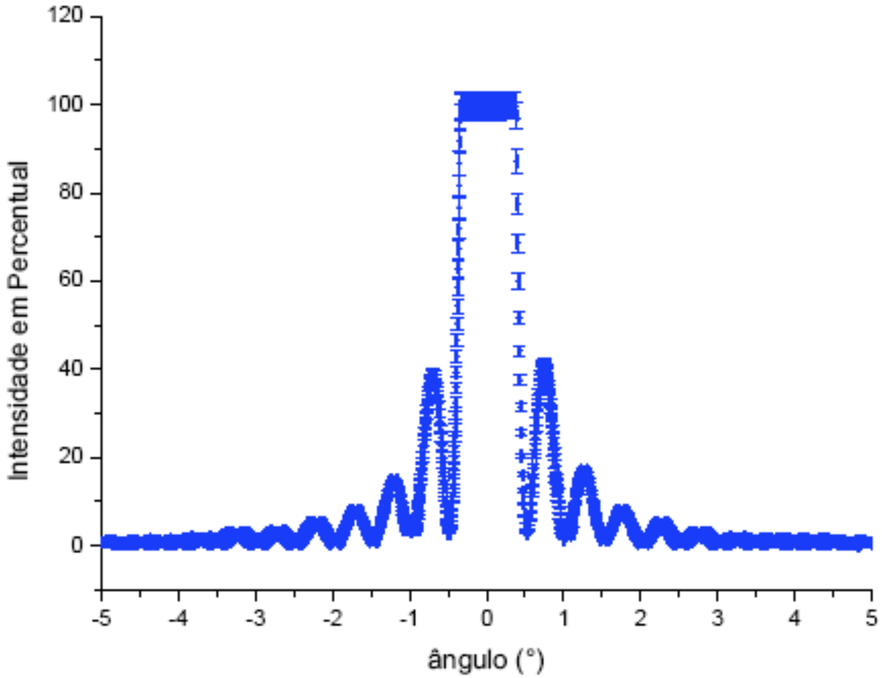
sala 246

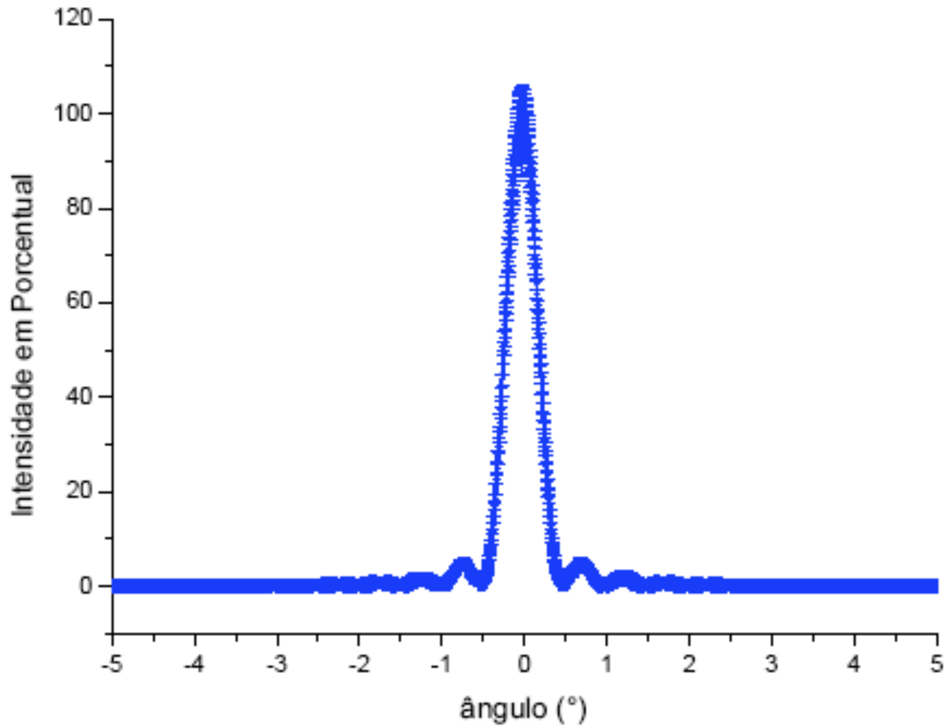
ramal 7072

Apresentação de resultados



Saturação do pico principal





Saturação do pico principal

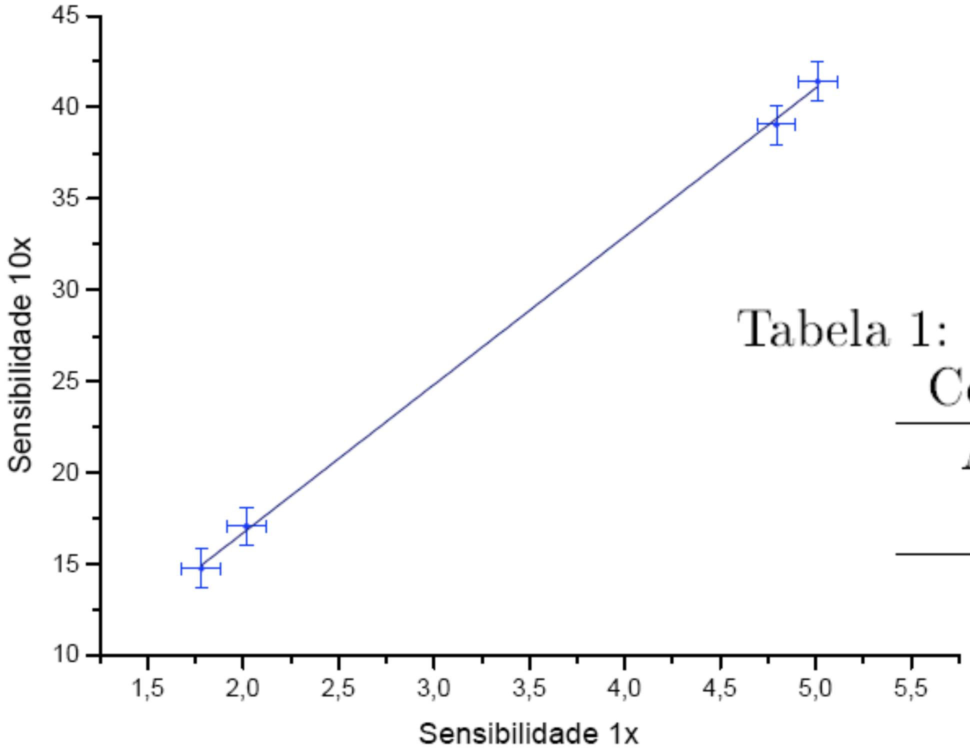
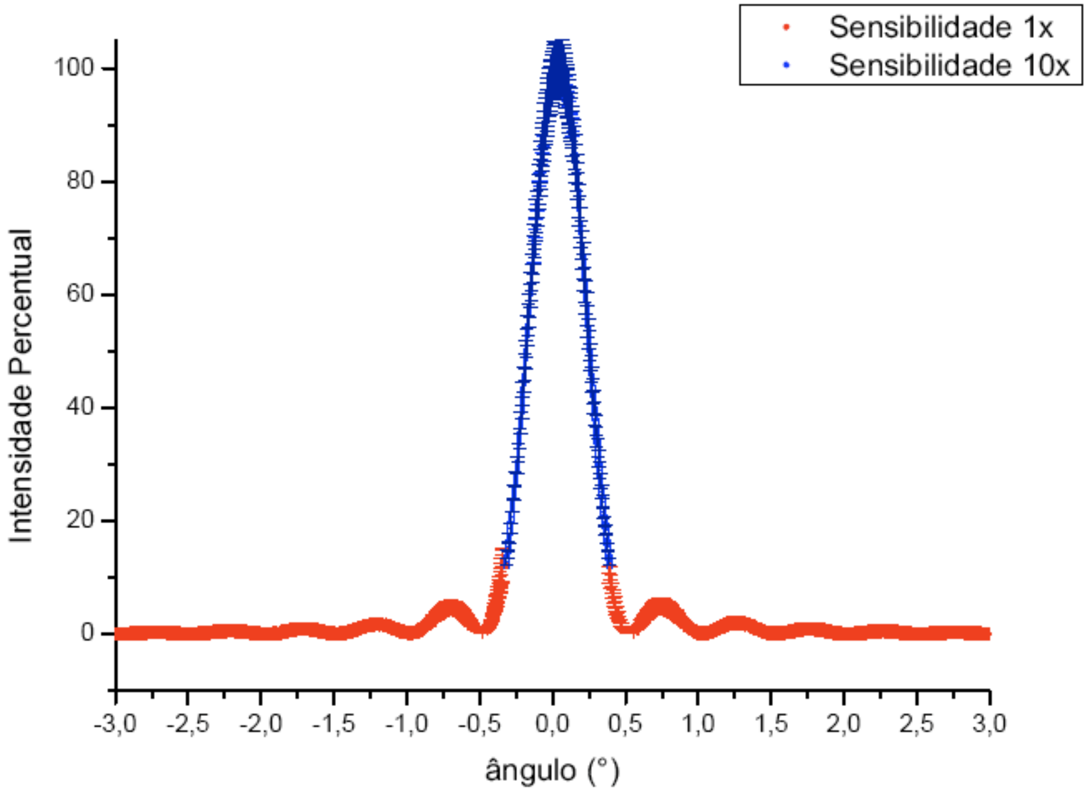


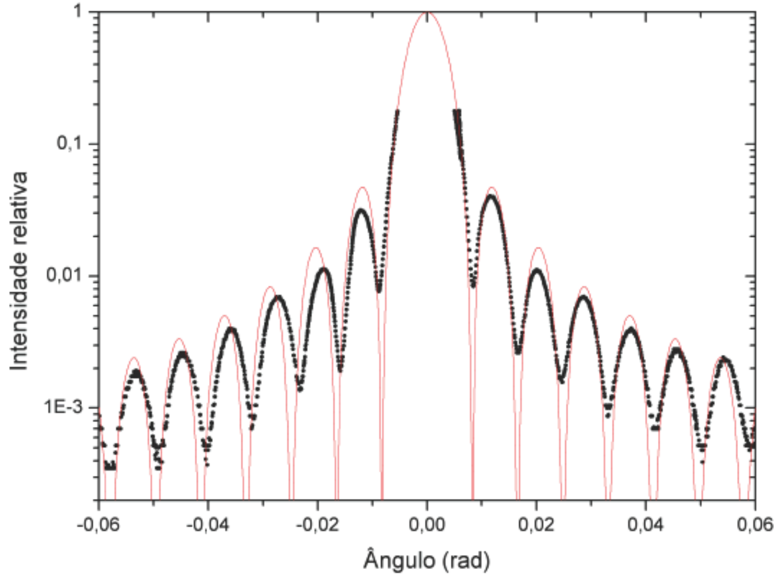
Tabela 1: Valores dos coeficientes de calibração

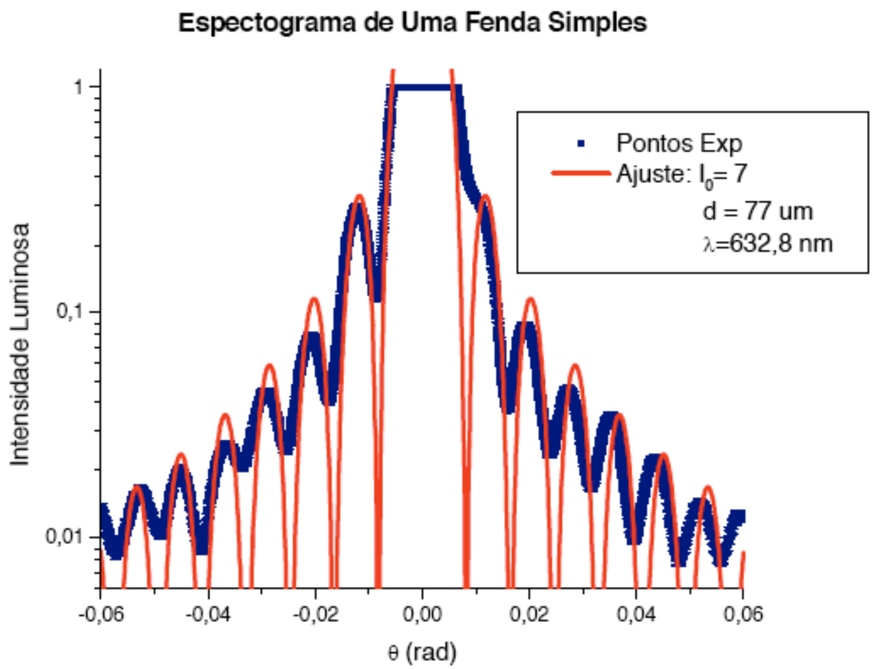
Coeficiente	Valor	Incerteza
Angular	8, 10	0, 12
Linear	0, 50	0, 45

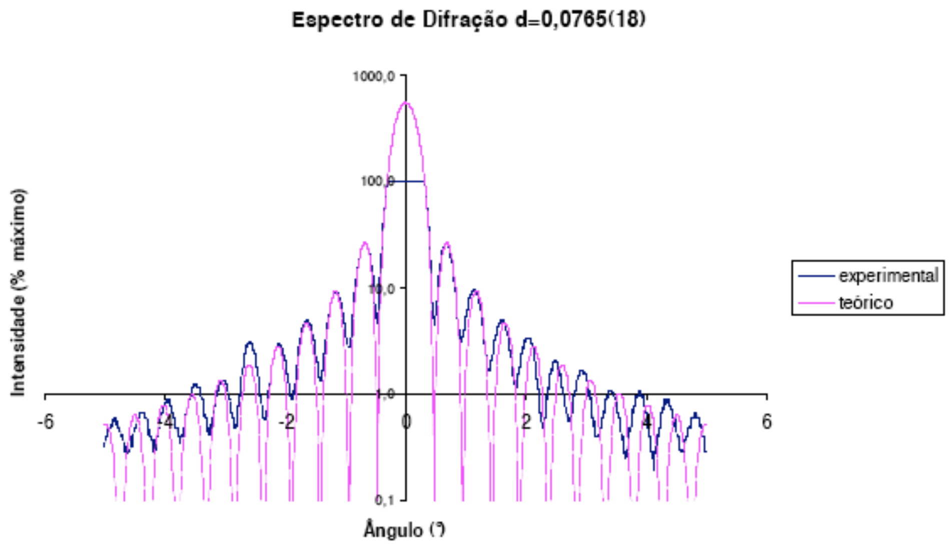
Saturação do pico principal



Dados típicos da sala







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

$$\text{com } \beta = \frac{\pi d}{\lambda} \sin\theta$$

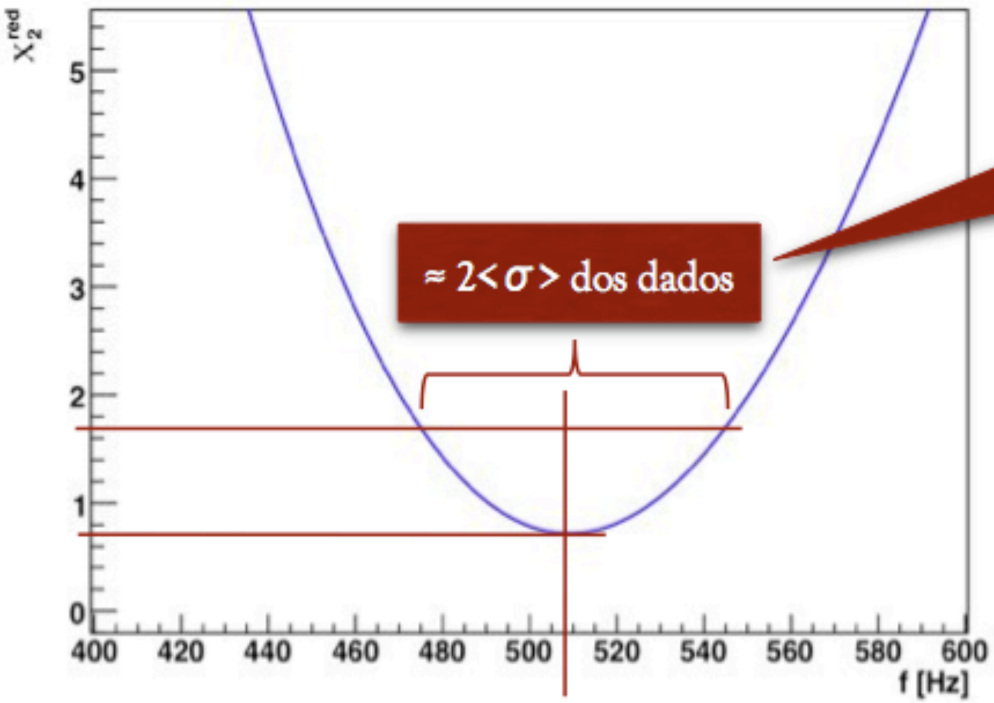
Resultados

- Valor nominal
  - 80 μm
- A maioria dos grupos encontraram valores abaixo do nomial
  - Alguma razão especial ou é assim mesmo?
- As incertezas parecem superestimadas?
  - Dados altamente precisos?

D [μm]
84.5 ± 0.2
76 ± 5
81.0 ± 0.6 (*)
73 ± 6
76.9 ± 2.5
76.5 ± 1.8
77 ± 3 (*)

Lembrando ajuste por mínimos quadrados ‘manual’

- Método de mínimos quadrados: $$X^2_{red} = \frac{1}{N-n}\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{y_i - f(x_i)}{\sigma_i}\right)^2$$

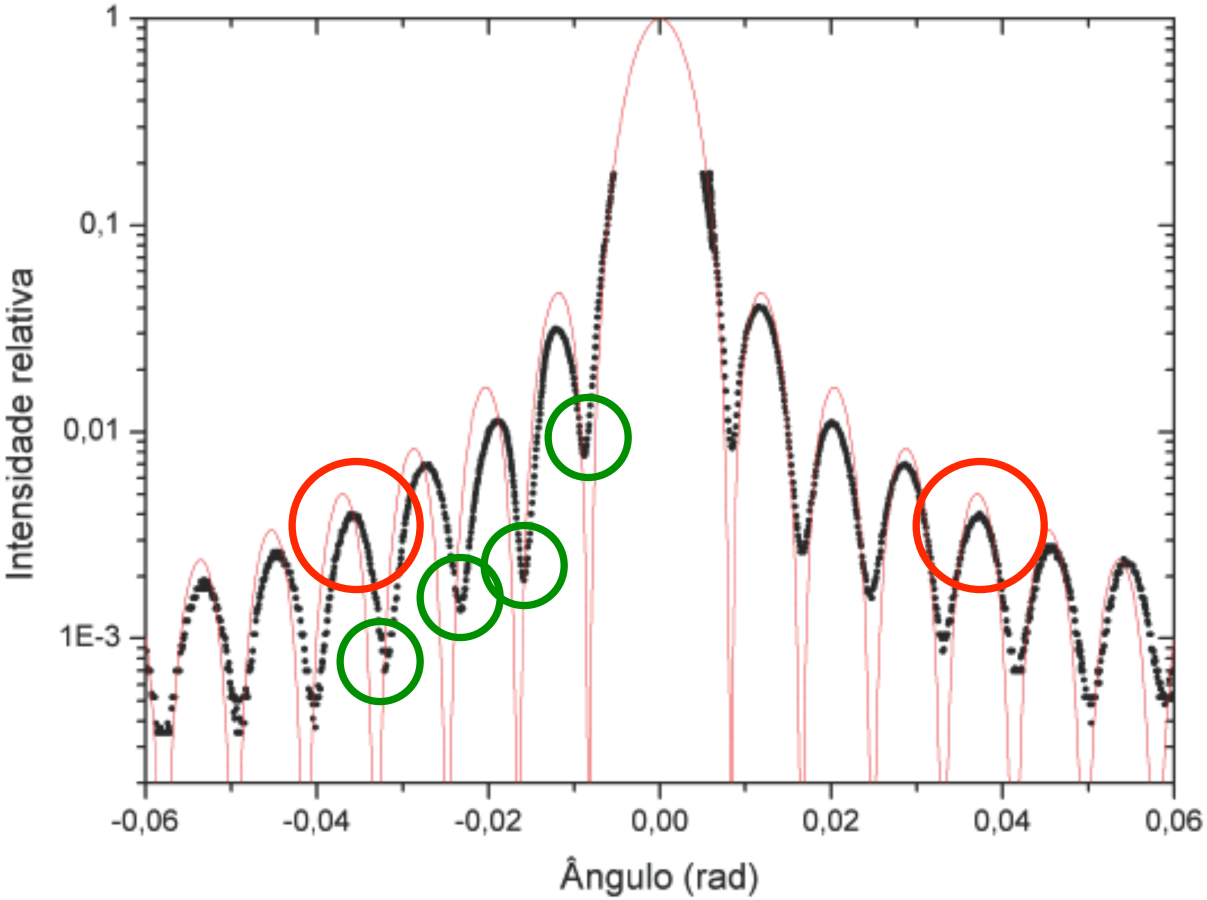


A incerteza do parâmetro ajustado é, aproximadamente, $\sigma/\sqrt{N}$

$$f = 508 \pm 11\ Hz$$

A expressão teórica descreve bem os dados obtidos?

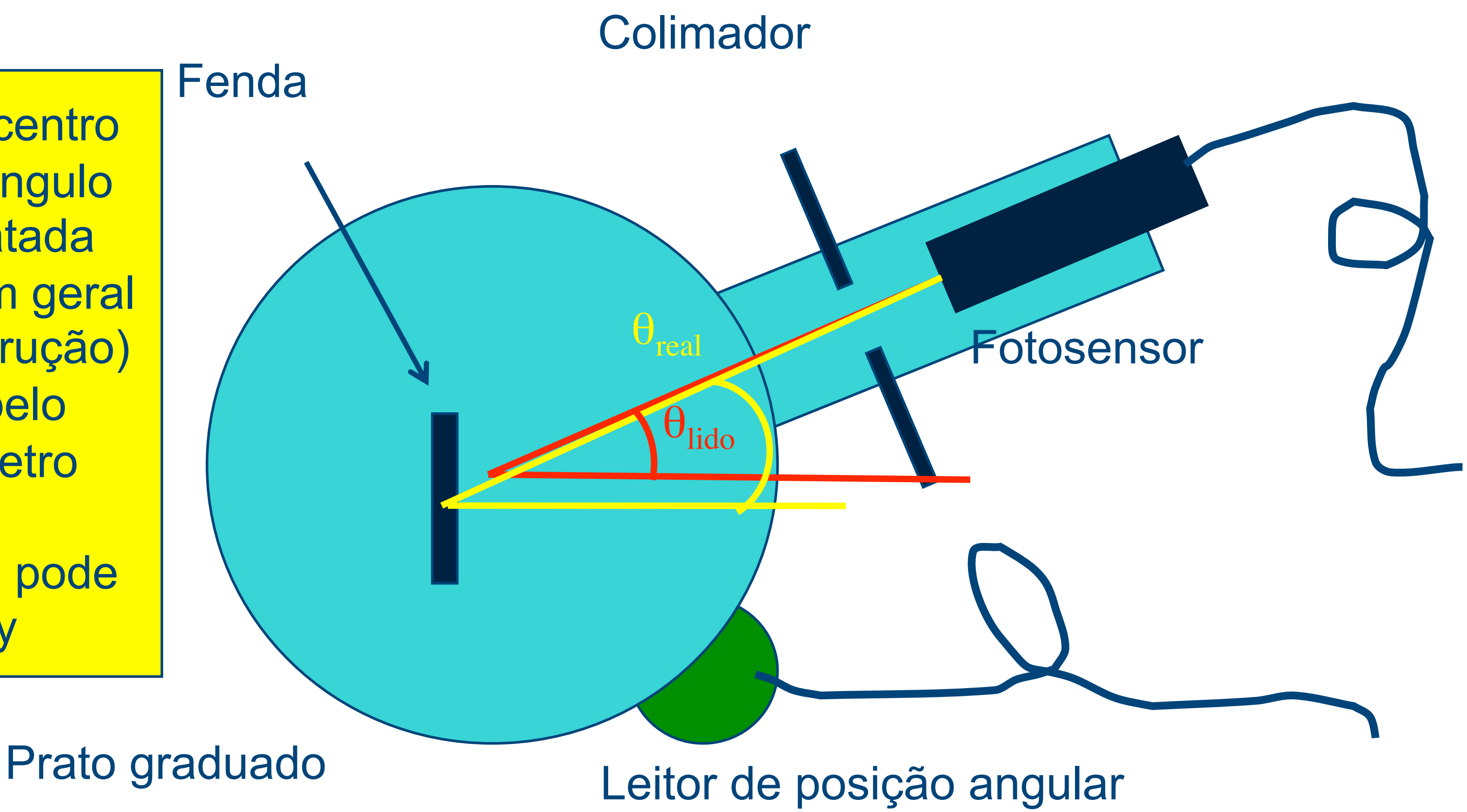
D [μm]
84.5 ± 0.2
76 ± 5
81.0 ± 0.6 (*)
73 ± 6
76.9 ± 2.5
76.5 ± 1.8
77 ± 3 (*)



Situação I: Fenda fora de centro

A fenda fora de centro faz com que o ângulo real da luz difratada seja diferente (em geral menor, por construção) daquele lido pelo espectrofotometro

O deslocamento pode ser em x e y



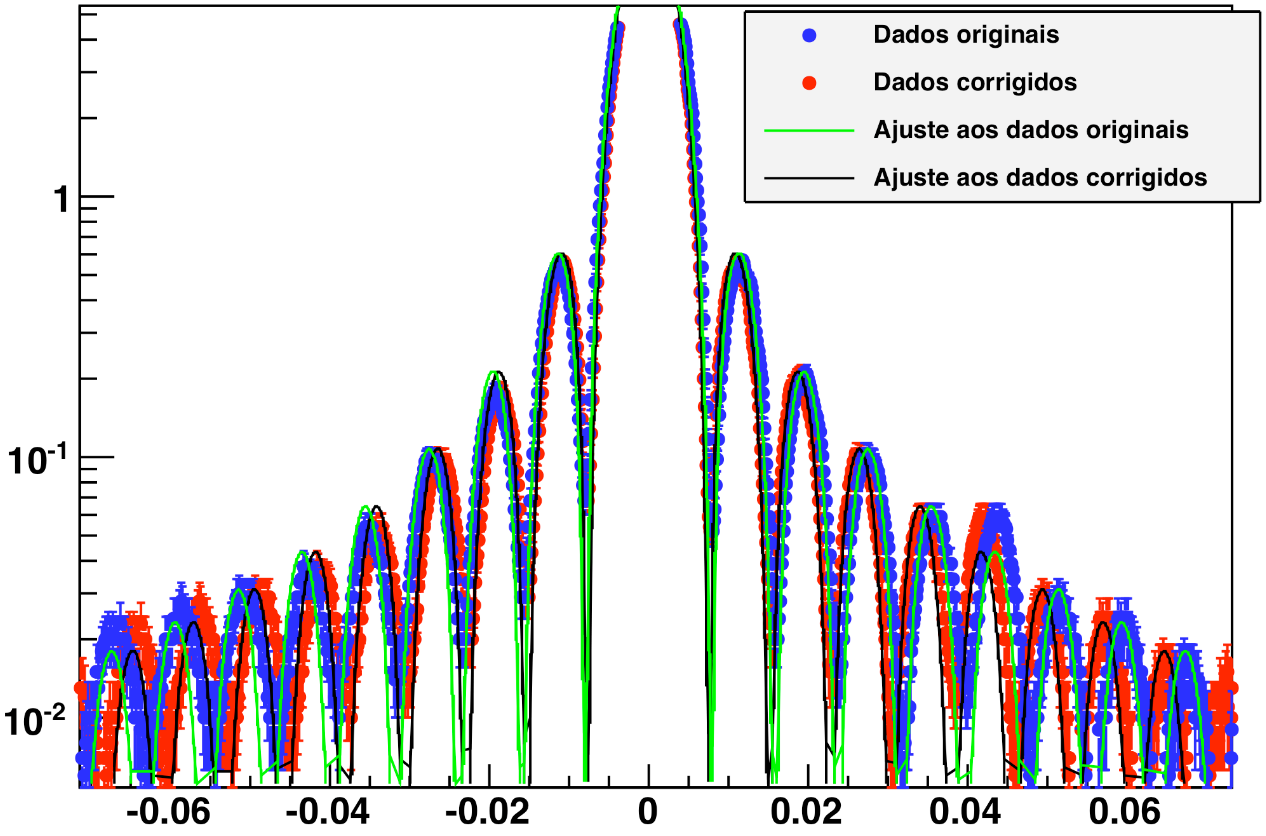
Δx = 6 mm
Δy = -0.1 mm

$$d_{orig} = 79.3 \pm 0.3 \mu m \quad X^2_{red} = 4.2$$

$$d_{corr} = 82.4 \pm 0.3 \mu m \quad X^2_{red} = 4.3$$

Resultados

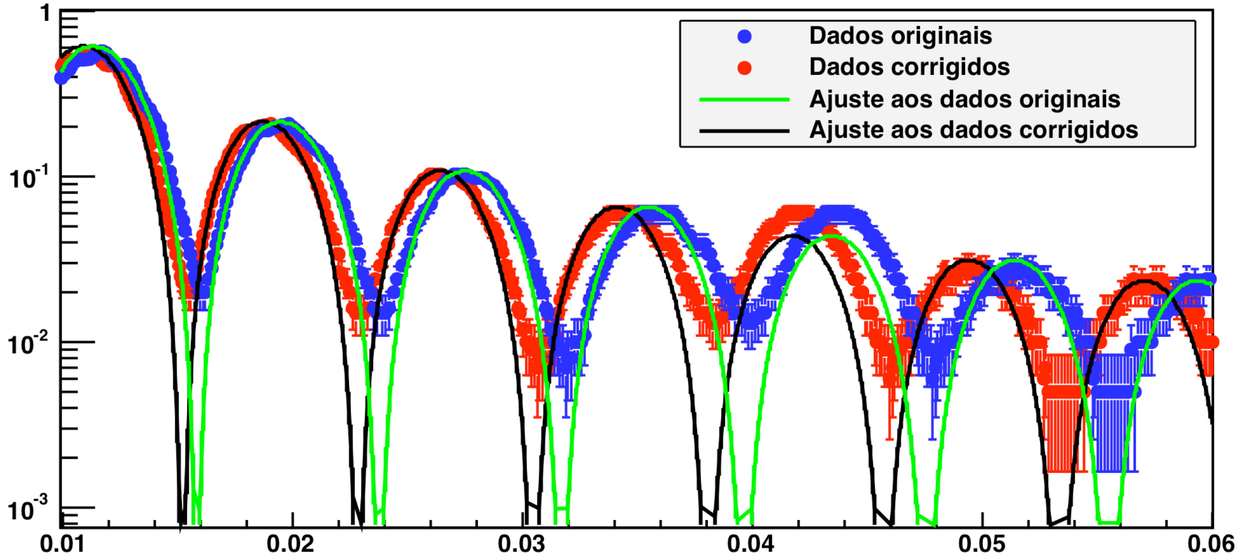
Efeito significativo. Além das incertezas envolvidas. Depende de cada montagem.

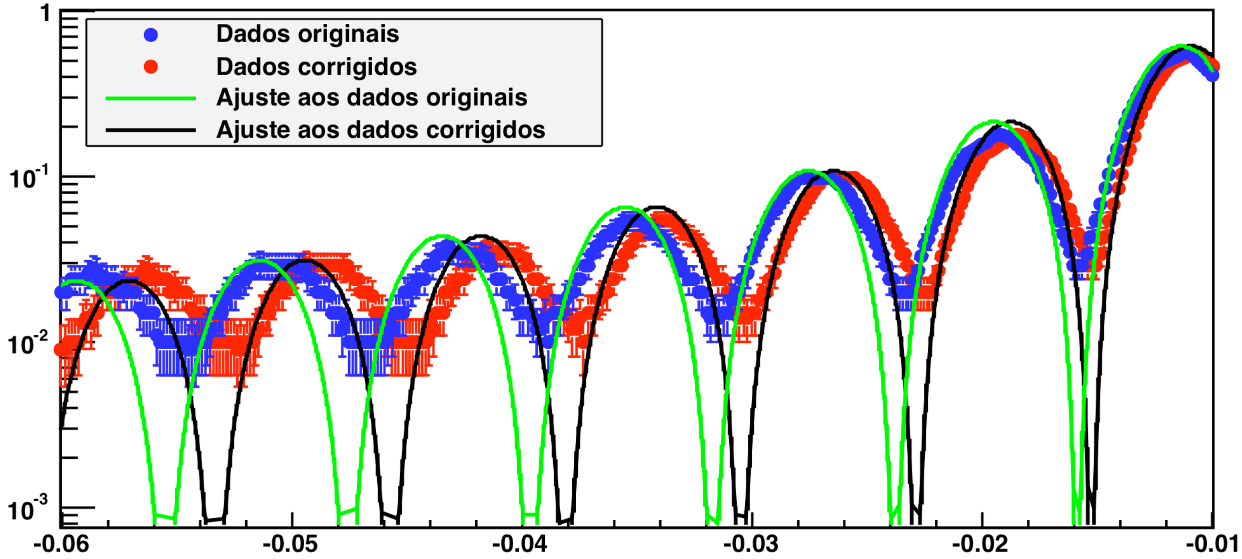


Resultados

$$d_{orig} = 79.3 \pm 0.3\mu m \quad \mathrm{X}^2_{red} = 4.2$$

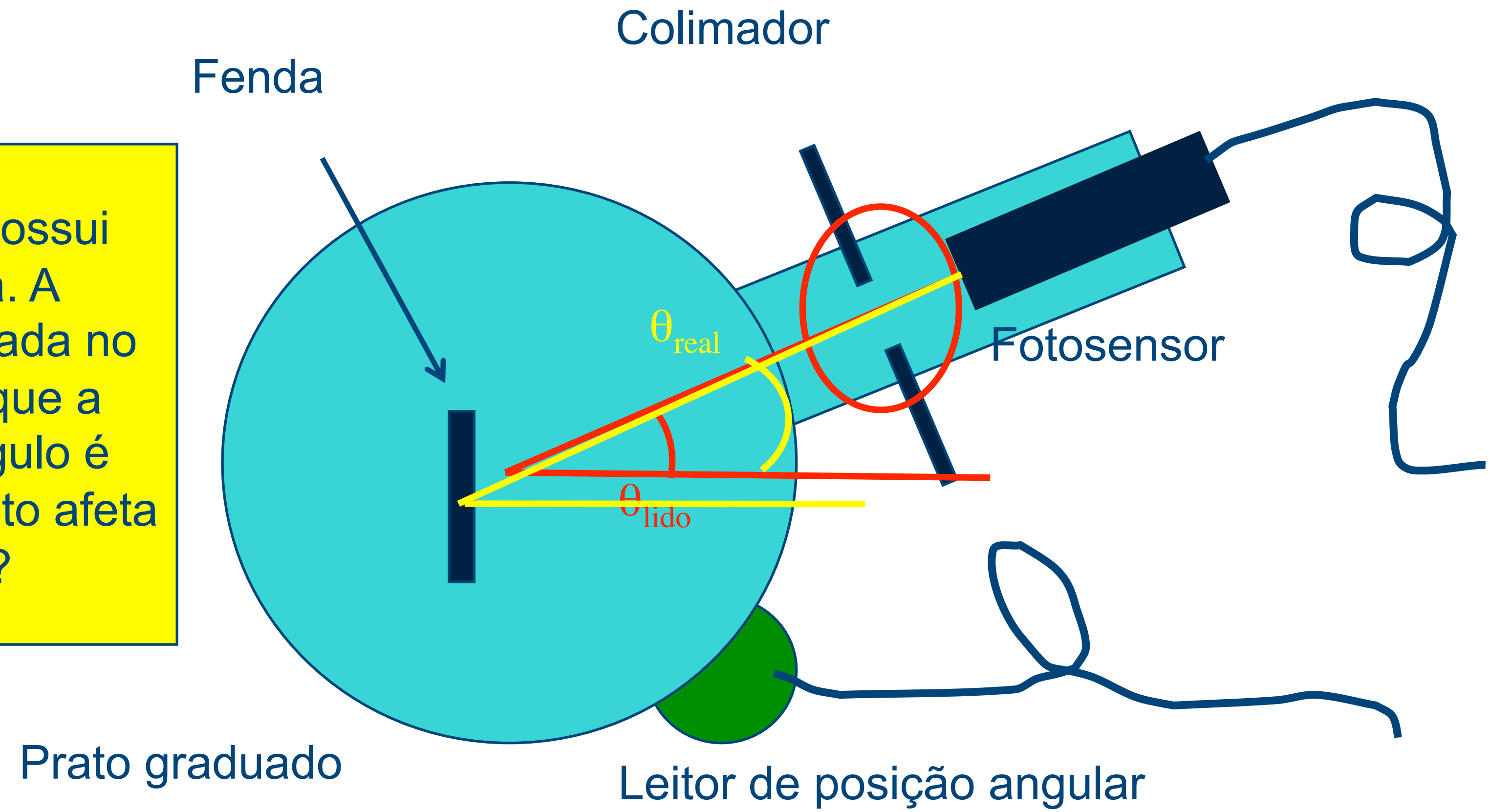
$$d_{corr} = 82.4 \pm 0.3\mu m \quad \mathrm{X}^2_{red} = 4.3$$





Situação II: Colimador finito

O Colimador possui largura finita. A expressão utilizada no ajuste supõe que a medida do ângulo é pontual. Como isto afeta os dados?



Como implementar estas correções?

- Largura do colimador
  - Supondo que o colimador tenha uma abertura angular de δ.
  - A luz medida no sensor corresponde à soma das intensidades sobre todos os ângulos entre $\theta - \delta/2$ até $\theta + \delta/2$.

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

$$b = \frac{\pi d}{\lambda}$$

$$\Downarrow$$

$$I(\theta) = I_0 \int_{\theta-\delta/2}^{\theta+\delta/2} \left(\frac{\sin(b \sin\alpha)}{b \sin\alpha} \right)^2 d\alpha$$

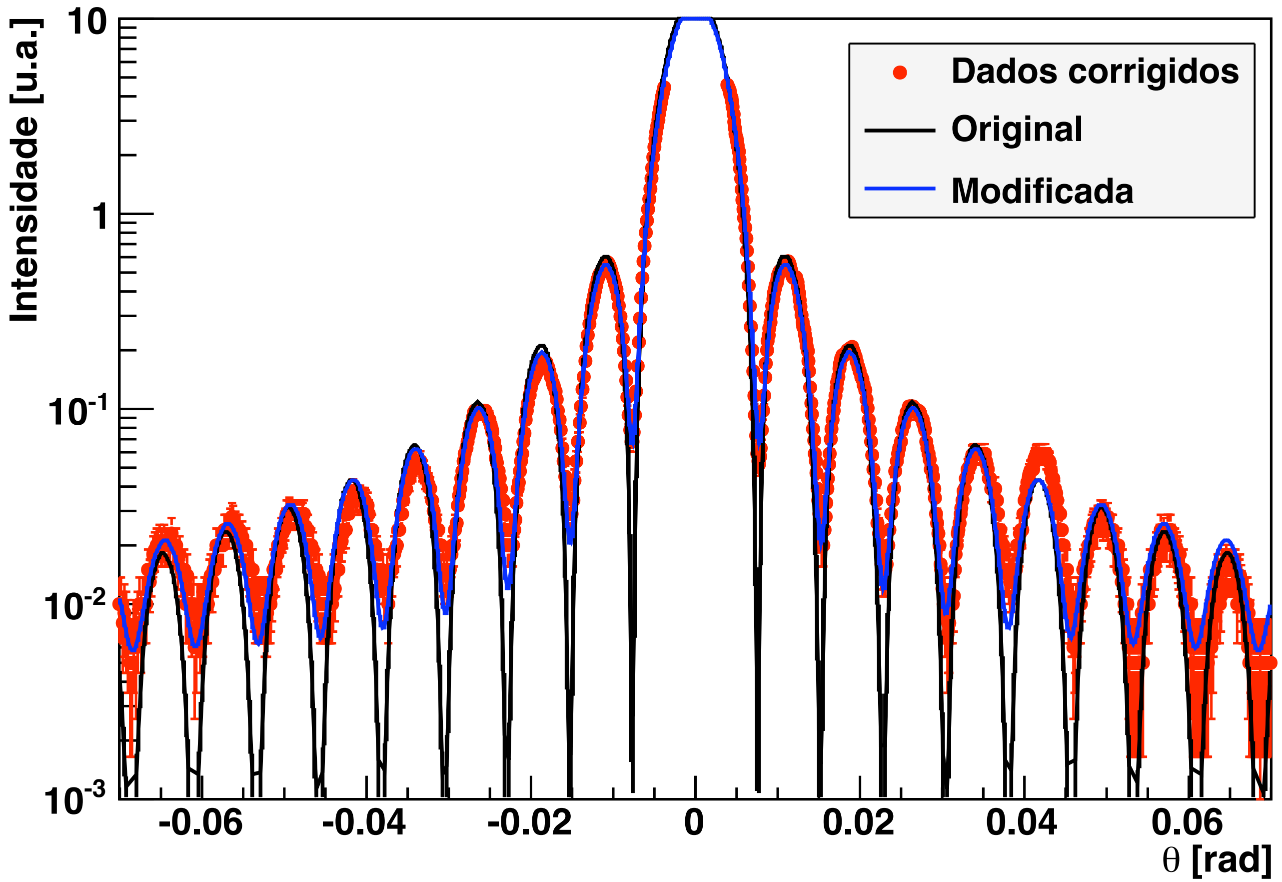
Como implementar estas correções?

- Outros efeitos?
  - Calibração do zero da medida de ângulo?
    - O zero de leitura não é exatamente zero
  - Luz de fundo?
    - Uma constante é razoável?

$$I(\theta) = I_0 \int_{\theta-\delta/2}^{\theta+\delta/2} \left(\frac{\sin\left(b \sin\left(\alpha + \theta_0\right)\right)}{b \sin\left(\alpha + \theta_0\right)} \right)^2 d\alpha + f$$

$$I(\theta) = I_0 \int_{\theta-\delta/2}^{\theta+\delta/2} \left(\frac{\sin\left(b\sin\left(\alpha+\theta_0\right)\right)}{b\sin\left(\alpha+\theta_0\right)} \right)^2 d\alpha + f$$

$$I_0 = (11.9 \pm 0.2),\ f = (4.8 \pm 0.2)\cdot 10^{-3}$$
$$d = (82.6 \pm 0.3)\mu m$$
$$\delta = (0.109 \pm 0.001)^\circ$$
$$\theta_0 = (-5.7 \pm 0.3)\cdot 10^{-5\circ}$$
$$X^2_{red} = 1.17$$



$$I(\theta) = I_0 \int_{\theta-\delta/2}^{\theta+\delta/2} \left(\frac{\sin\left(b\sin\left(\alpha+\theta_0\right)\right)}{b\sin\left(\alpha+\theta_0\right)} \right)^2 d\alpha + f$$

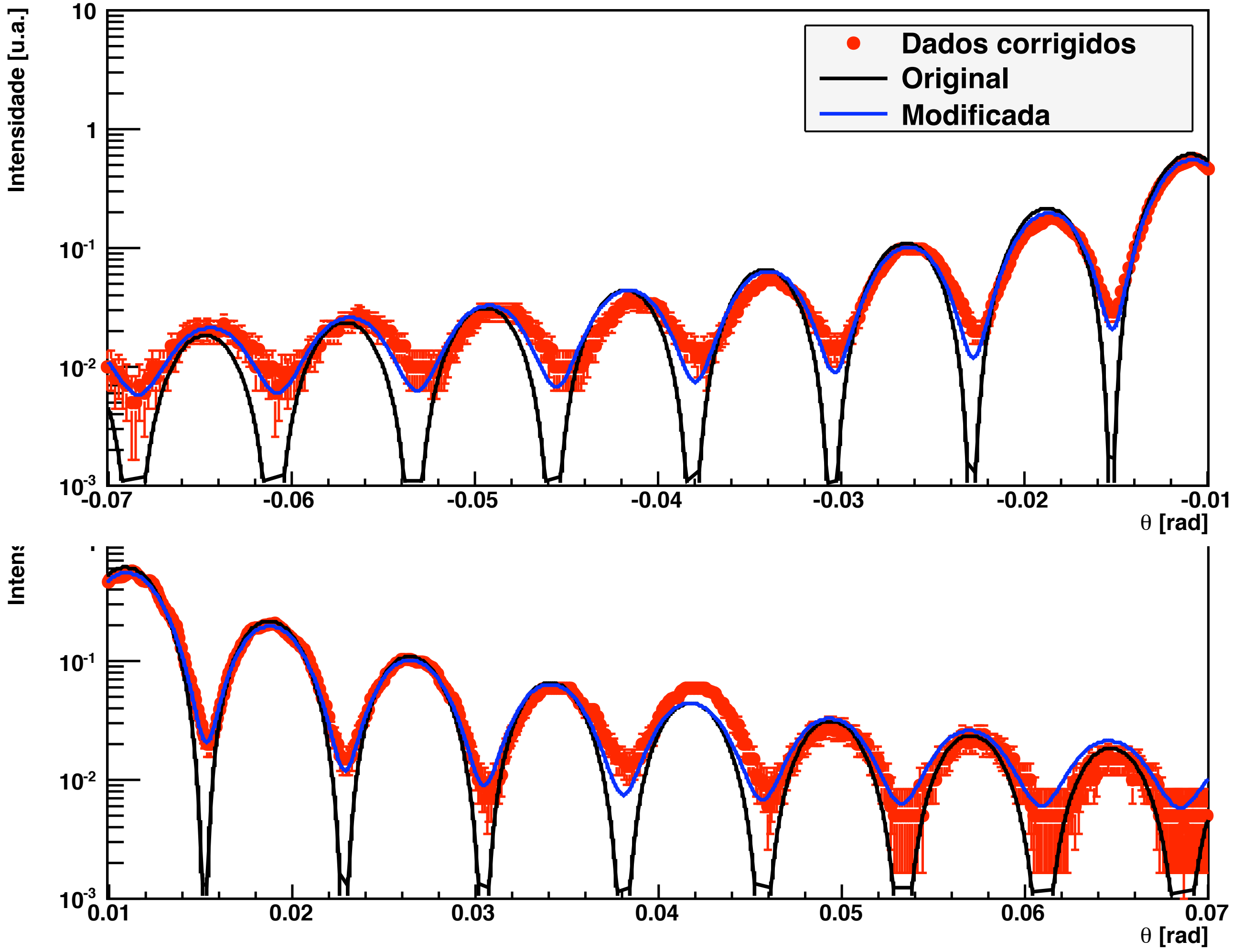
$$I_0 = \left(11.9 \pm 0.2\right),\ f = \left(4.8 \pm 0.2\right)\cdot 10^{-3}$$

$$d = \left(82.6 \pm 0.3\right)\mu m$$

$$\delta = \left(0.109 \pm 0.001\right)^{\circ}$$

$$\theta_0 = \left(-5.7 \pm 0.3\right)\cdot 10^{-5^{\circ}}$$

$$X^2_{red} = 1.17$$



São apenas hipóteses...

- Como checar a correção de ângulo? É fato experimental e induz em erro sistemático.
  - Dados PRECISAM ser corrigidos
  - Mas como ter certeza se estou corrigindo de forma correta e não estou criando um outro erro sistemático?
- Os dados foram ajustados segundo as seguintes hipóteses
  - Colimador possui abertura finita
  - Luz de fundo, calibração do zero, medida de ângulo...
  - Hipóteses necessitam de testes experimentais sistemáticos para serem confirmadas. Outros efeitos podem estar presentes.

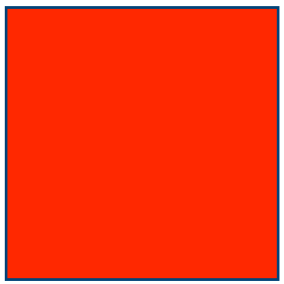
Experiência II
Óptica Geométrica e Física

- Objetivos – Estudar alguns fenômenos de óptica física e geométrica
  - Estudo de lentes simples, sistemas de lentes e construção de imagens
  - Interferência e difração
  - Computador óptico
    - Análise de Fourier bi-dimensional
    - Processamento de imagens

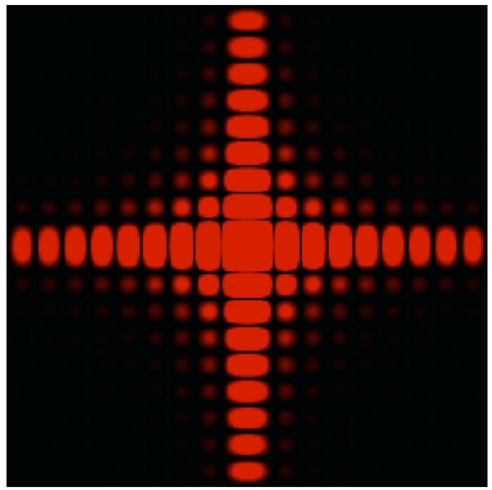
Difração e transformada de Fourier

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

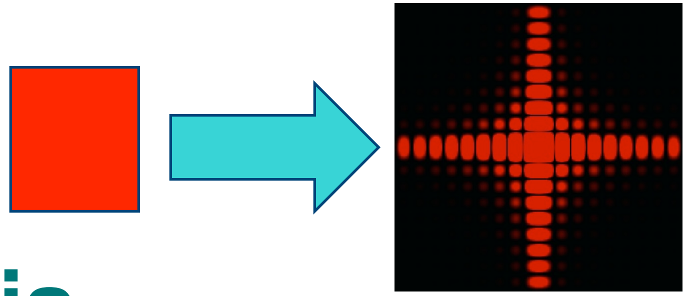
$$\hat{E}(\vec{R}) = \frac{e^{jkR}}{R} \int E_0(x,y) e^{-j(k_x x + k_y y)} dxdy$$



Objeto



Difração



Freqüências espaciais

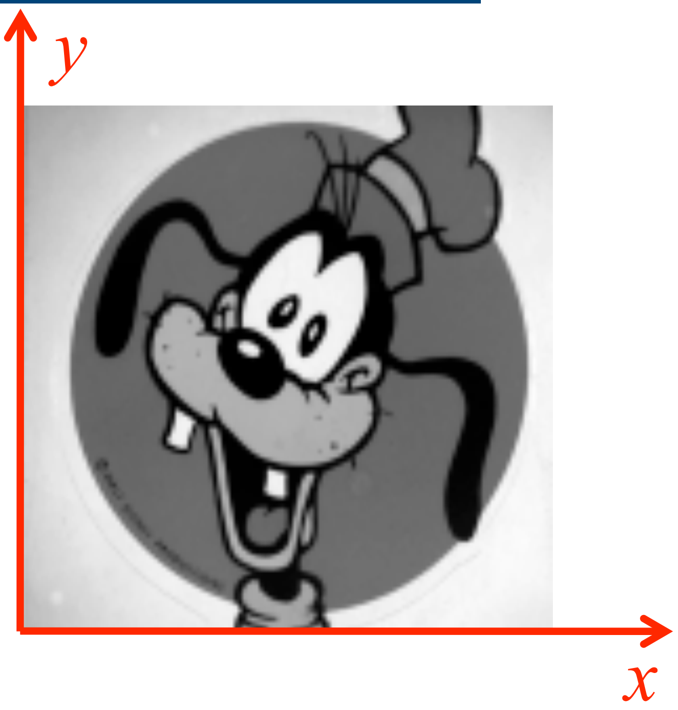
- A intensidade luminosa em uma dada posição está relacionada às intensidades para cada freqüência espacial

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

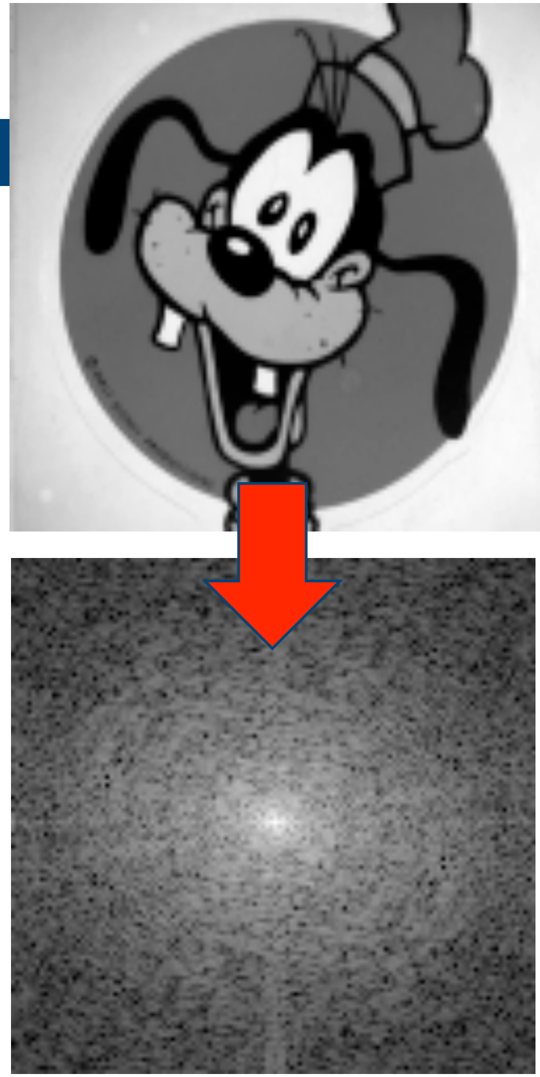
$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad \begin{cases} k_x = k \sin\theta \cos\phi \\ k_y = k \sin\theta \sin\phi \end{cases}$$

Transformada de Fourier (F.T.) de uma imagem

- Seja uma imagem bi-dimensional qualquer. Para simplificar, vamos pensar em uma imagem monocromática
- Podemos representar qualquer ponto na imagem por uma intensidade luminosa $I(x,y)$



Transformada de Fourier (F.T.) de uma imagem

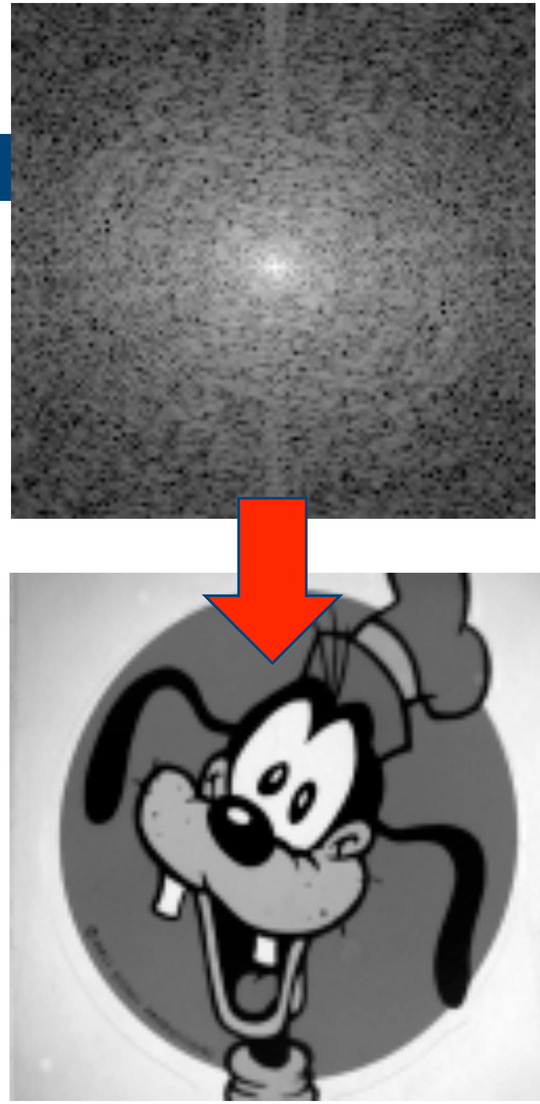


- No caso bi-dimensional, basta decompor em duas freqüências, uma para cada dimensão da imagem

$$c_{nm} = \frac{1}{2\pi}\int_{-\pi}^{\pi} I(x,y)e^{-j(nx+my)}dxdy$$

- Neste caso, ao invés de fazer um gráfico unidimensional, a transformada de Fourier corresponde a um gráfico bi-dimensional cujo valor no 3º eixo corresponde a y.

Transformada inversa



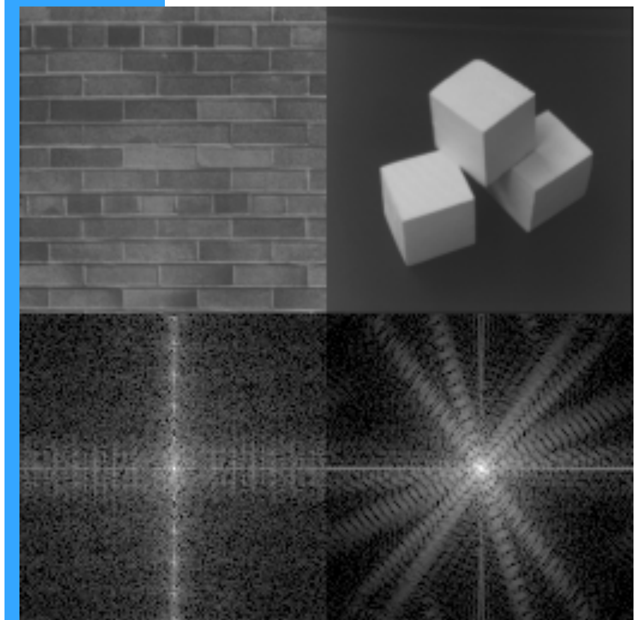
- Se eu conheço c_{nm} eu posso recuperar a informação de intensidade espacial através de

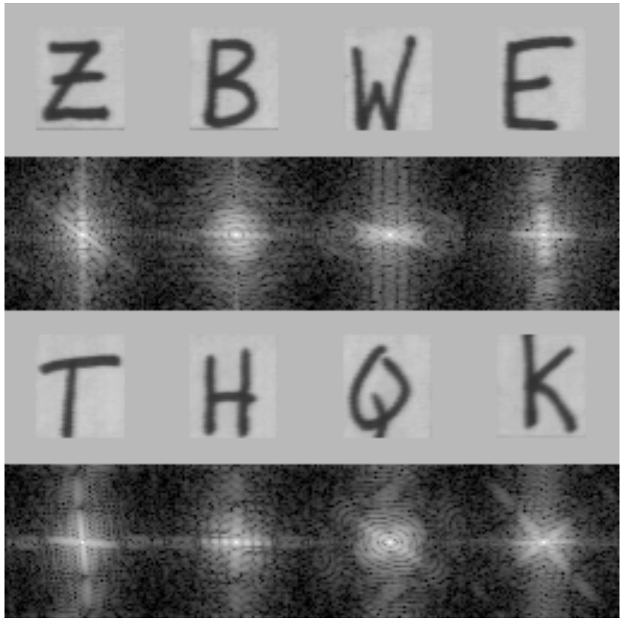
$$I(x,y) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} c_{nm} e^{j(nx+my)}$$

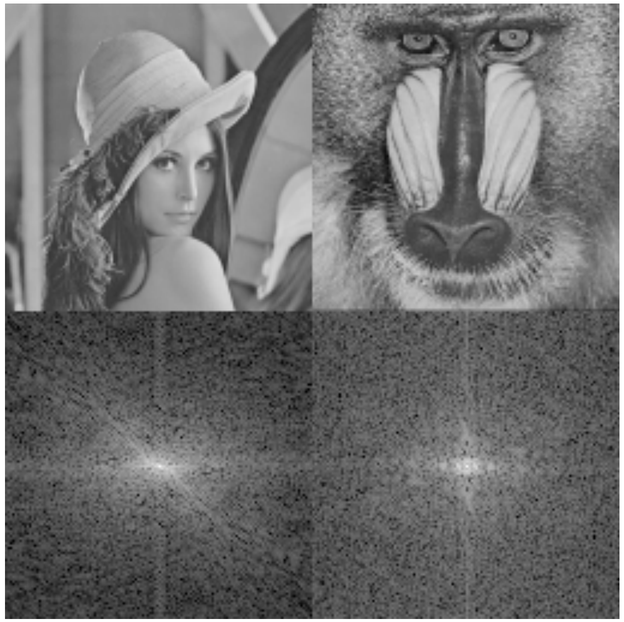
- Isto é chamado transformada inversa de Fourier.

Algumas transformadas de Fourier

- Imagens do site: http://www.cs.unm.edu/~brayer/vision/fourier.html

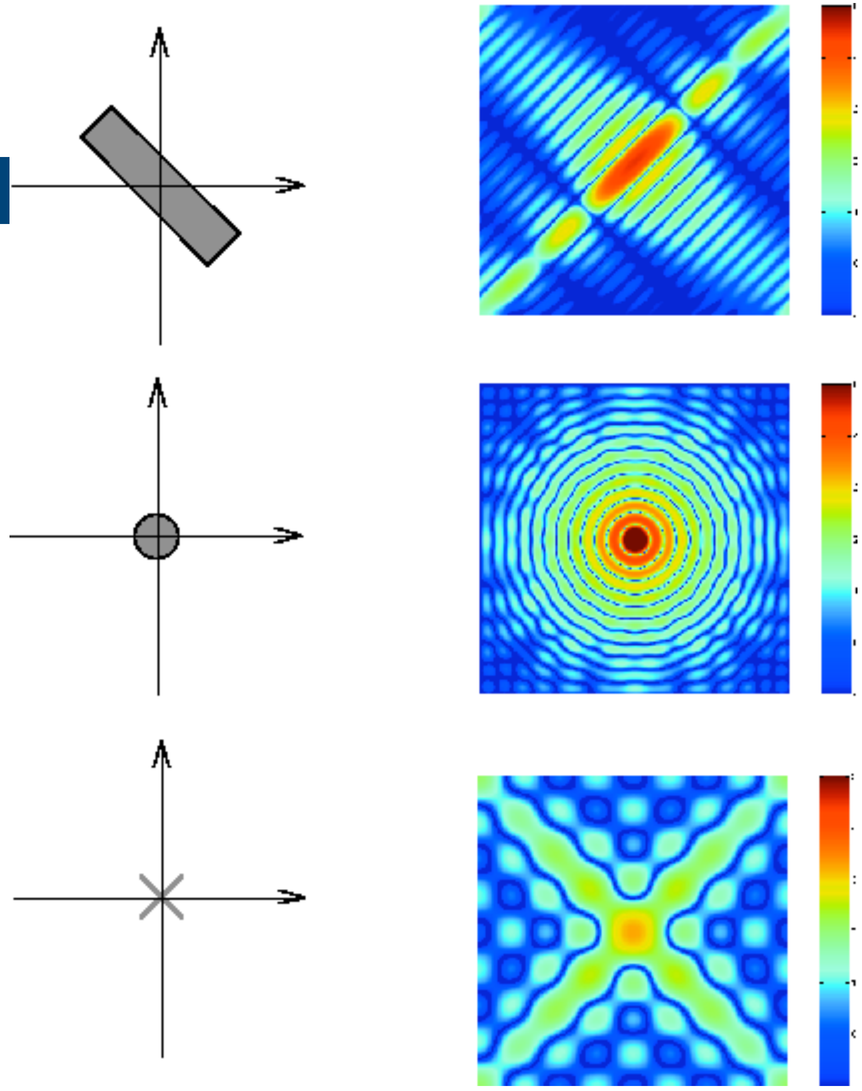






Padrões possuem estruturas evidentes

- Em uma foto, em geral, há padrões bem definidos que aparecem de forma clara na T.F.
- Dependendo da imagem, é mais fácil remover o padrão da T.F. do que da própria foto.

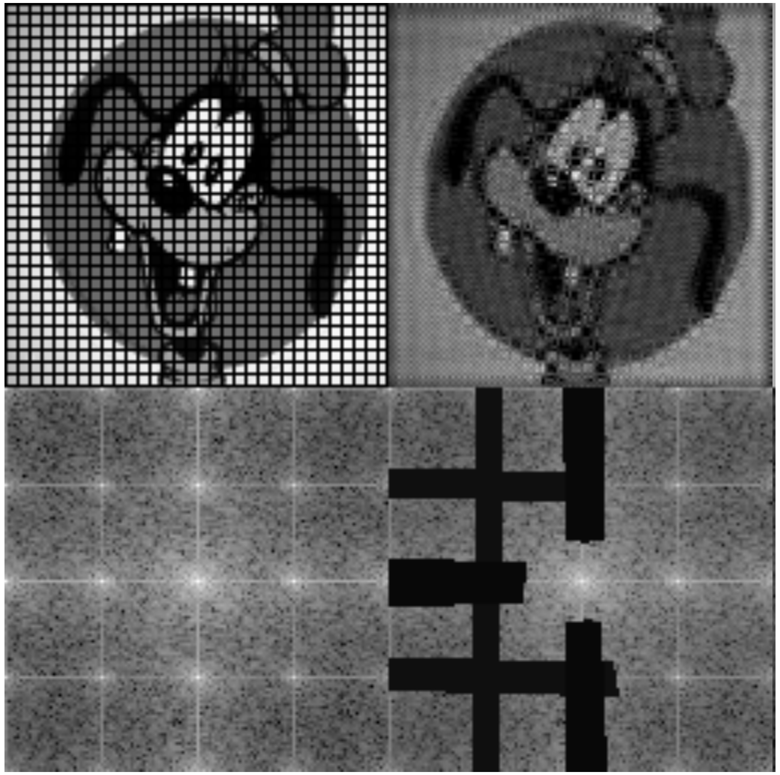


O uso de transformadas de Fourier como método de edição de imagens

- Em algumas circunstâncias, o uso da F.T. pode ser bastante útil na edição de imagens
- Por exemplo:
  - Remoção de ruídos e artefatos
    - Quando estes possuem freqüência muito bem definida, sendo bem localizada na F.T.
  - Remoção de padrões
    - Por exemplo, uma cerca pode ter um padrão de freqüências bem definidas.
  - Filtros de efeitos especiais
    - A remoção de algumas freqüências pode criar efeitos interessantes

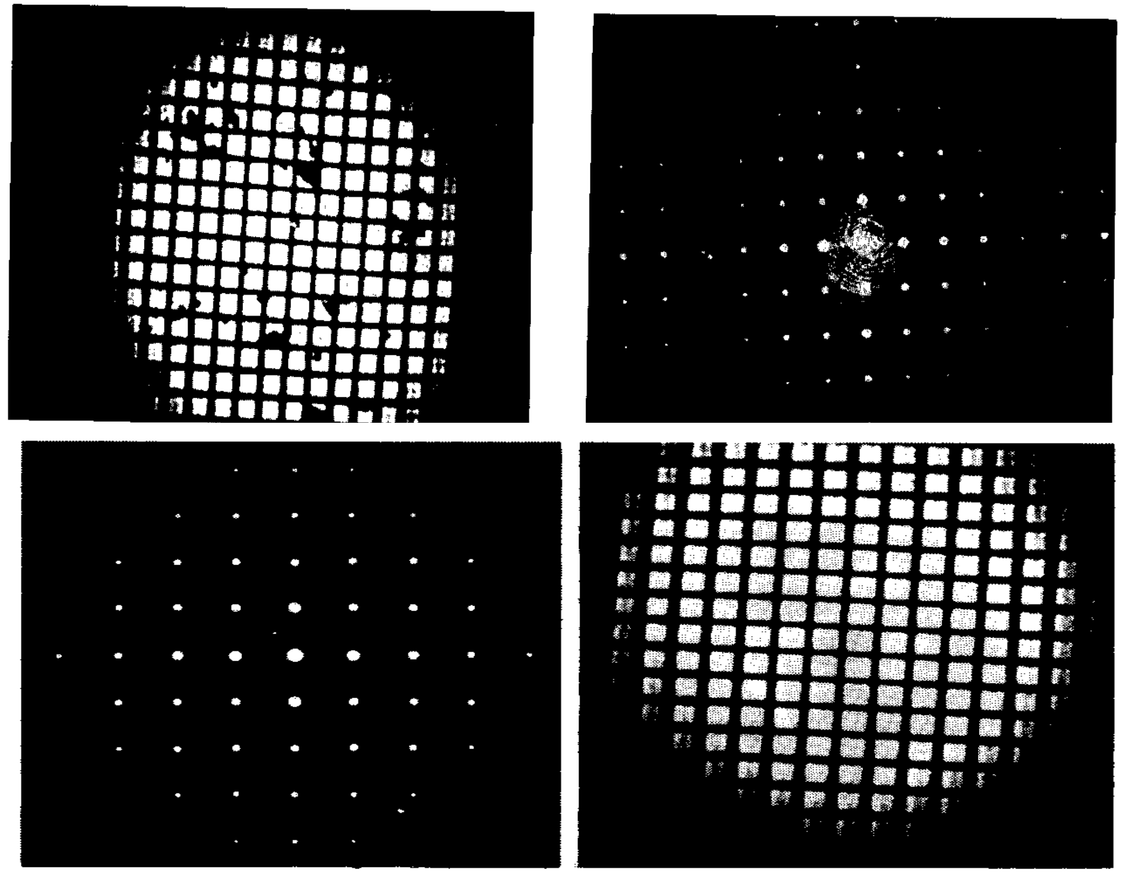
Alguns exemplos:

- Filtro para fazer contorno
  - Neste caso, remove-se as baixas freqüências
- Aumento de contraste
  - Neste caso, amplia-se as altas freqüências, que amplificam as bordas
- Remoção de sombras
  - Neste caso, a sombra possui estrutura muito característica em freqüência
- Outros métodos
  - Por exemplo, remoção de uma estrutura espúria



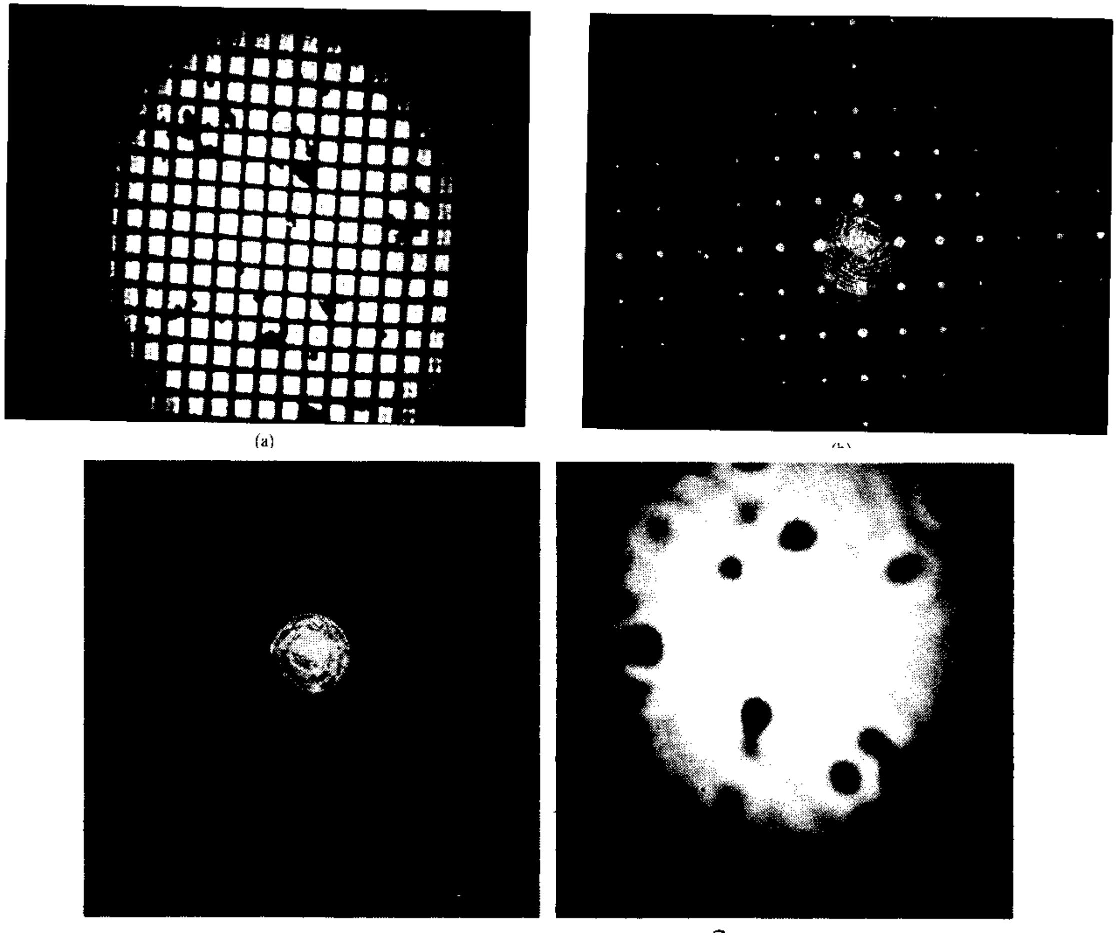
Um outro exemplo: impurezas em uma grade

- Grade com sujeiras
- Filtro para observar somente a grade



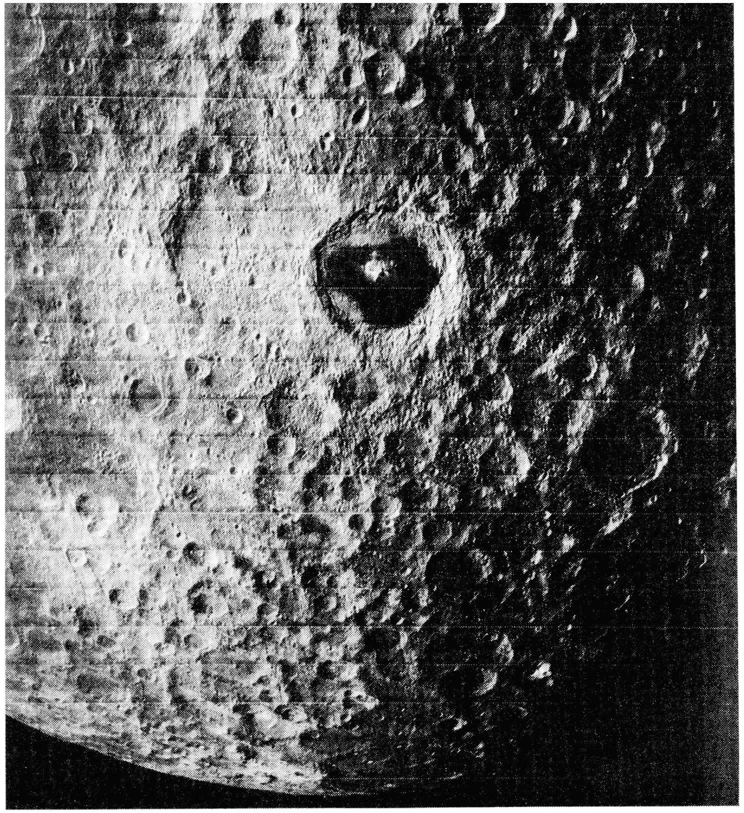
Um outro exemplo: impurezas em uma grade

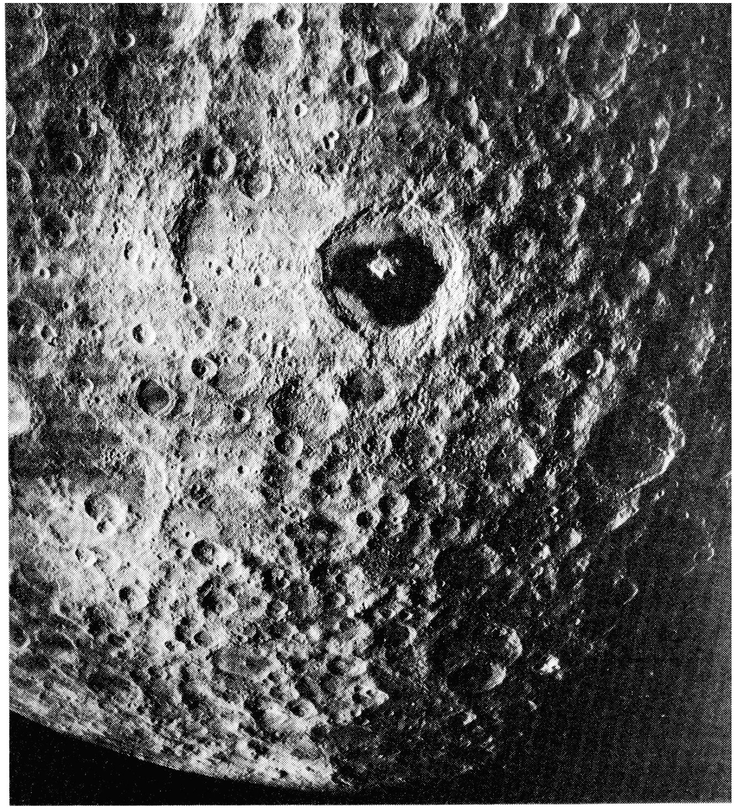
- Grade com sujeiras
- Filtro para observar somente a grade
- Filtro para observar somente a sujeira



Aperfeiçoamento de imagens

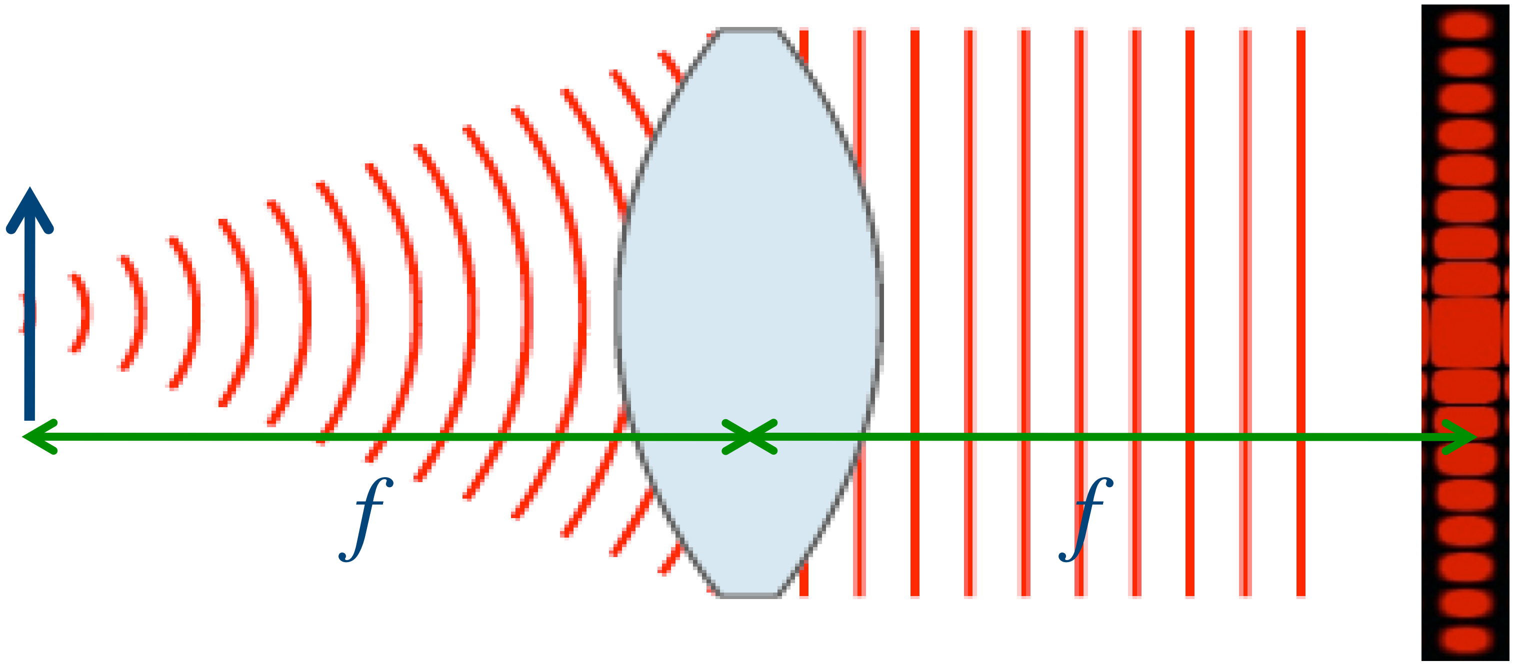
- Foto da lua antes e depois de filtragem





Lente no formalismo de Fourier

- No formalismo de Fourier, pode-se demonstrar (ver Hecht, cap. 10) que, colocando um objeto no plano focal de uma lente, a figura no plano focal corresponde à transformada de Fourier (figura de difração) do objeto.

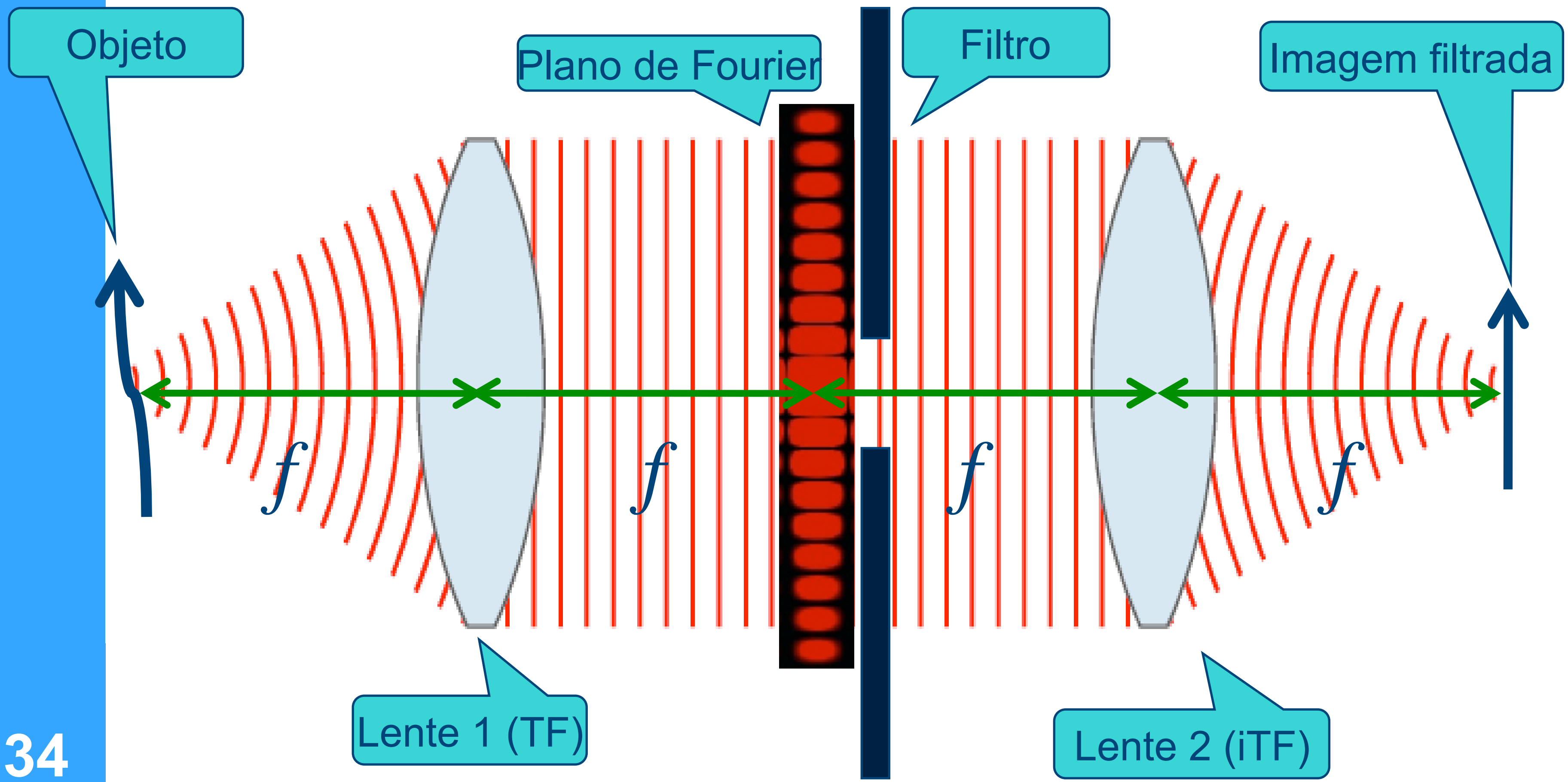


Lente no formalismo de Fourier

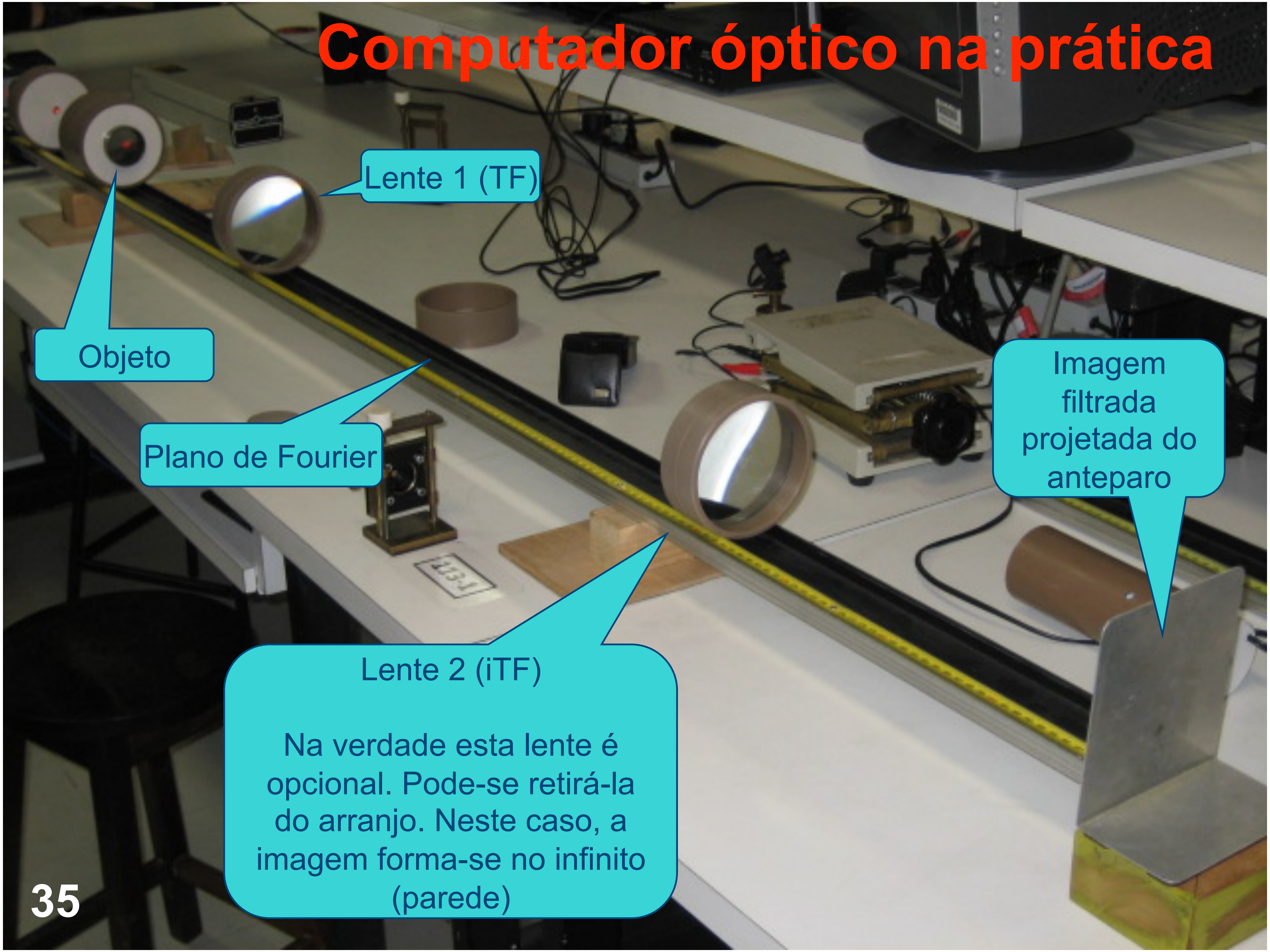
- No formalismo de Fourier, pode-se demonstrar (ver Hecht, cap. 10) que, colocando um objeto no plano focal de uma lente, a figura no outro plano focal corresponde à transformada de Fourier (figura de difração) do objeto.

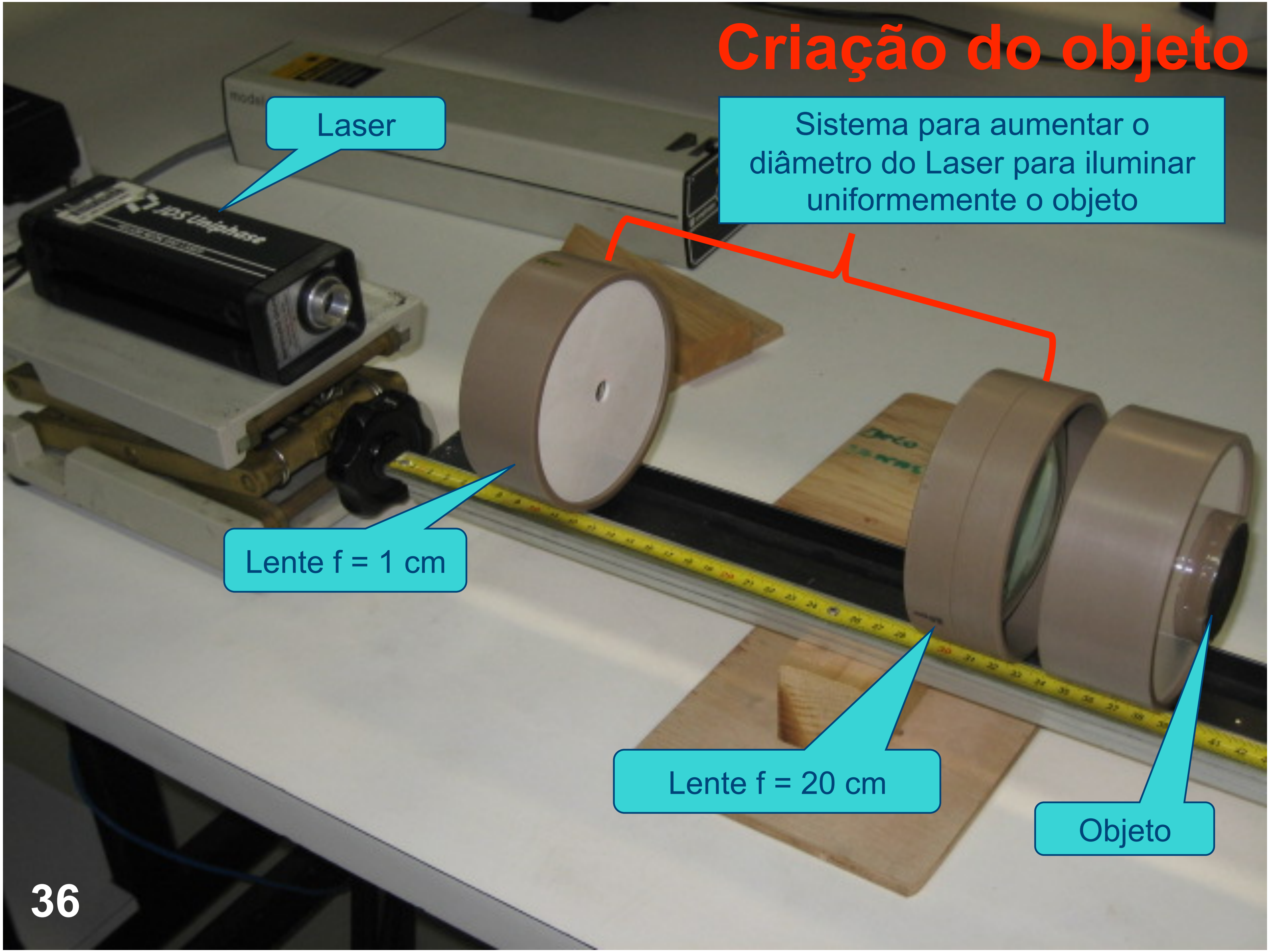
- Podemos usar este fato para construir um computador óptico
  - Colocamos um objeto no ponto focal de uma lente
  - No outro plano focal temos a transformada de Fourier do objeto
    - Podemos manipular esta transformada (por exemplo, anteparos para cortar algumas freqüências)
  - Utilizamos esta TF filtrada como objeto para outra lente
  - A imagem no plano focal da outra lente é a T.F. Da T.F. filtrada, ou seja, a imagem do objeto após filtrarmos algumas freqüências

Computador óptico

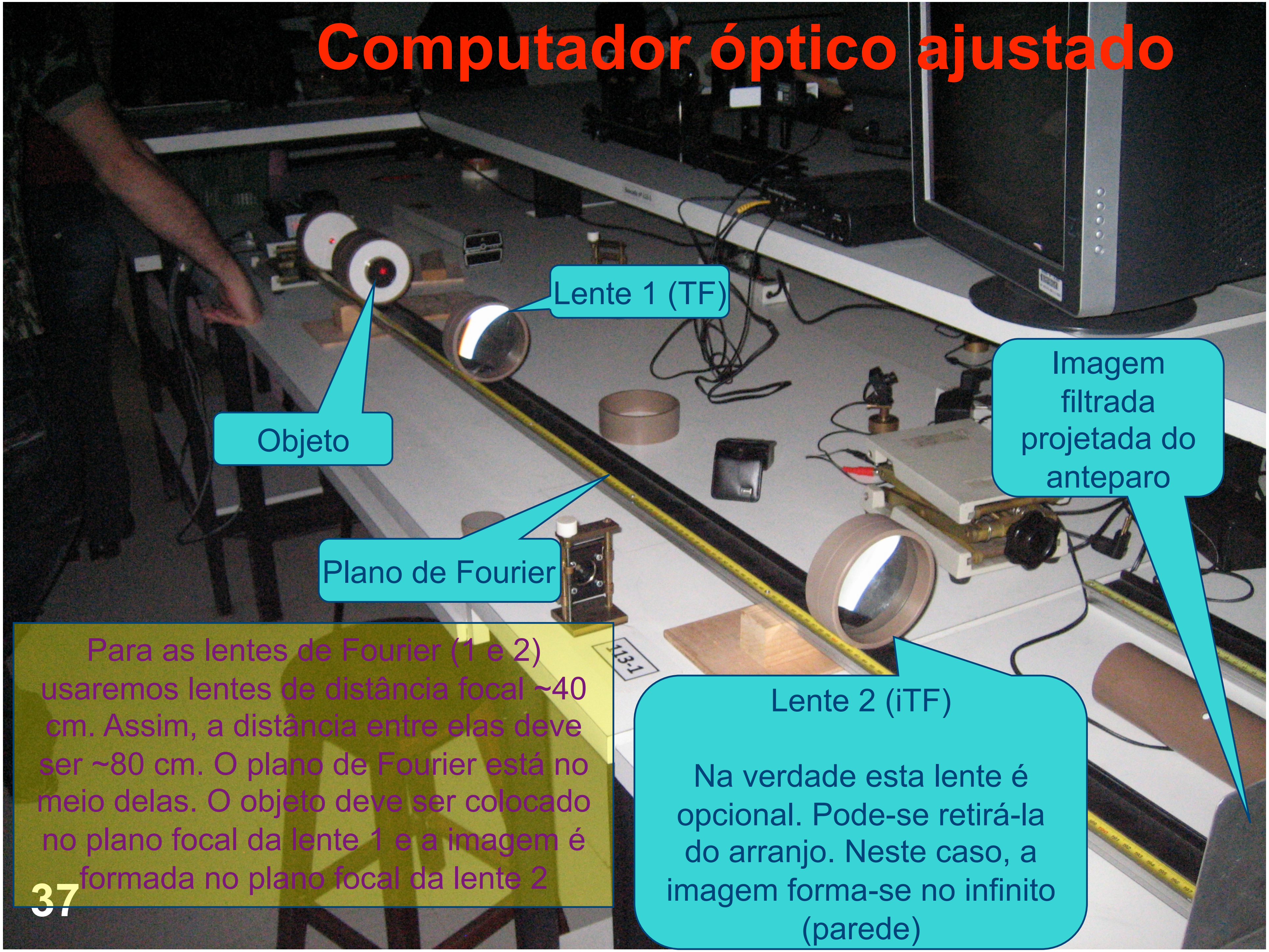


Computador óptico na prática



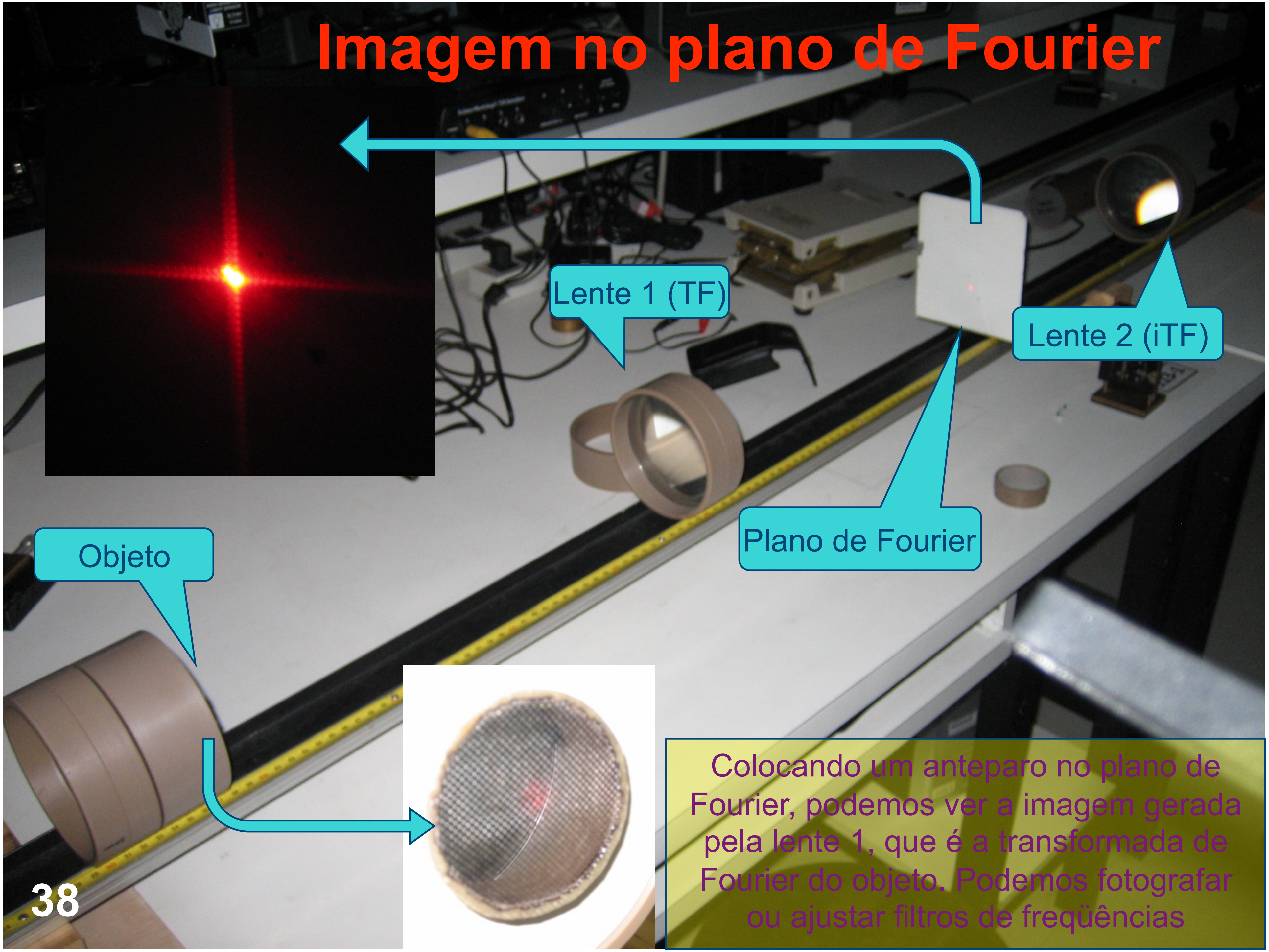

Criação do objeto
Laser
Sistema para aumentar o diâmetro do Laser para iluminar uniformemente o objeto
Lente f = 1 cm
Lente f = 20 cm
Objeto
36

Computador óptico ajustado



Para as lentes de Fourier (1 e 2) usaremos lentes de distância focal ~40 cm. Assim, a distância entre elas deve ser ~80 cm. O plano de Fourier está no meio delas. O objeto deve ser colocado no plano focal da lente 1 e a imagem é formada no plano focal da lente 2

Imagem no plano de Fourier



Colocando um anteparo no plano de Fourier, podemos ver a imagem gerada pela lente 1, que é a transformada de Fourier do objeto. Podemos fotografar ou ajustar filtros de freqüências

Atividades da semana

- Dois conjuntos de atividades diferentes
  - Grupo A
    - Montar o computador óptico e obter imagens diversas, a partir de filtros simples
      - Mais dificuldade experimental
  - Grupo B
    - Estudar mais detalhadamente as correções nas figuras de difração obtidas na semana passada
      - Mais dificuldade de análise

Atividades da semana (grupo A)

- Montar o computador óptico
  - Objetivos: Acostumar com o uso do computador óptico, sentir as dificuldades de montagem, principalmente no alinhamento e ajuste do diâmetro do laser
  - Lentes para aumentar o diâmetro do feixe de laser
  - Objetos
  - Lentes para a transformada e transformada inversa
  - Anteparo para visualização de imagens
  - Alinhamento é crítico. Tomem cuidado. Em geral são necessários ajustes finos para cada objeto estudado

Atividades da semana (grupo A)

- Usando como objeto uma fenda simples (do slide usado semana passada)
  - Posicione o objeto adequadamente no sistema, de forma a ser iluminado pelo feixe de laser
  - Procure, no plano focal da lente 1 (TF), a transformada de Fourier (figura de difração) do objeto. Fotografe.
  - Procure, no plano focal da lente 2 (ITF), a transformada inversa de Fourier (imagem da fenda). Fotografe.
    - Se necessário, retire a lente 2 e vislumbre a imagem formada a grandes distâncias.
- Resumindo: você vai precisar de imagens do:
  - Arranjo experimental
  - Do objeto, da transformada de Fourier e da transformada inversa (imagem)

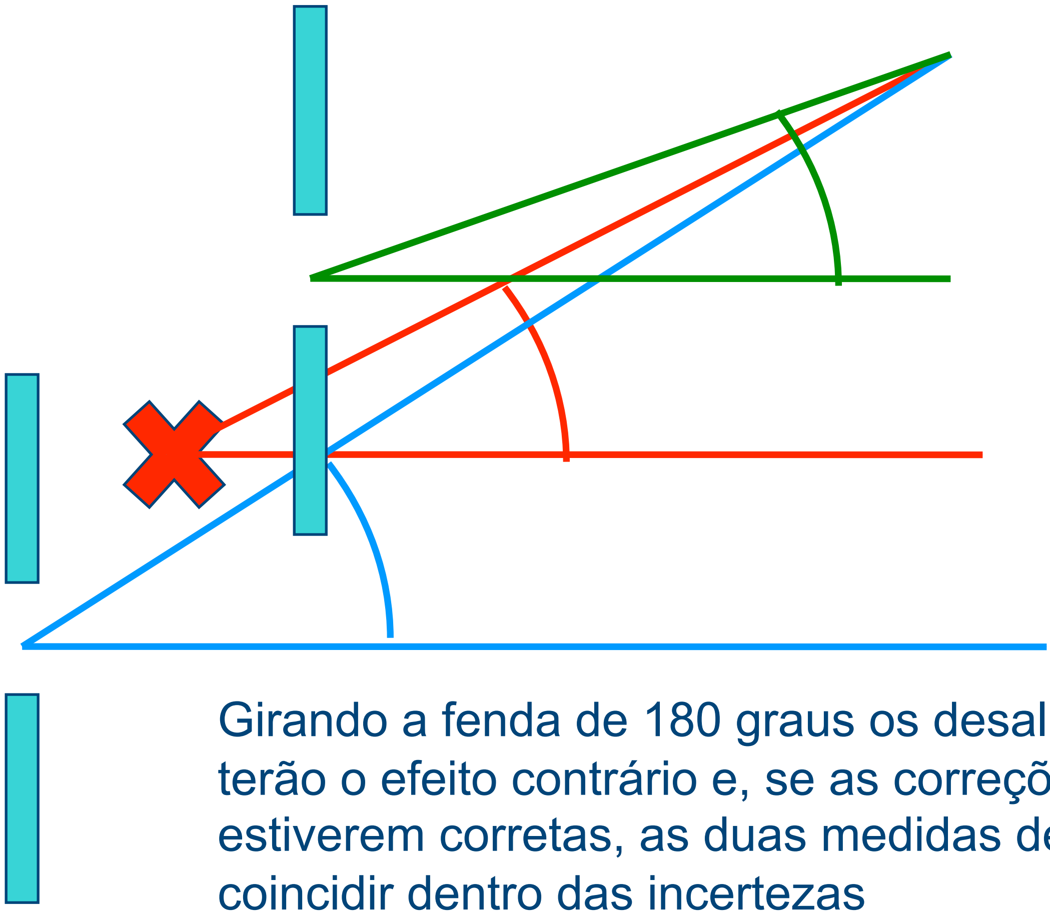
Atividades da semana (grupo A)

- Troque o objeto de uma fenda para uma grade.
  - Observe, e fotografe, novamente as figuras geradas
  - Descubra qual é o filtro, a ser aplicado na transformada de Fourier, capaz de eliminar as linhas verticais da imagem formada.
  - Aplique este filtro na transformada de Fourier
  - Fotografe a imagem filtrada
  - Agora aplique um filtro que elimine os cantos vivos da grade, tornando-os arredondados. Repita o procedimento acima.
- Discuta todos os resultados obtidos.

Atividades da semana (grupo B)

- Com o mesmo arranjo da semana passada, e usando a mesma fenda como objeto, medir espectro de difração para as situações:
  - Duas medidas de posição da fenda
    - Duas medidas com fenda girada de 180º uma em relação à outra
    - Testar a hipótese de deslocamento em relação ao centro.
  - Pelo menos 4 colimadores de larguras diferentes
    - Testar a hipótese do mínimo de difração não ser nulo
  - Ajustar os espectros com expressões apropriadas e verificar a validade das hipóteses.

Porque medir a 180º?



Girando a fenda de 180 graus os desalinhamentos terão o efeito contrário e, se as correções estiverem corretas, as duas medidas devem coincidir dentro das incertezas

Porque medir com vários colimadores?