Experimento 3

Ótica ondulatória

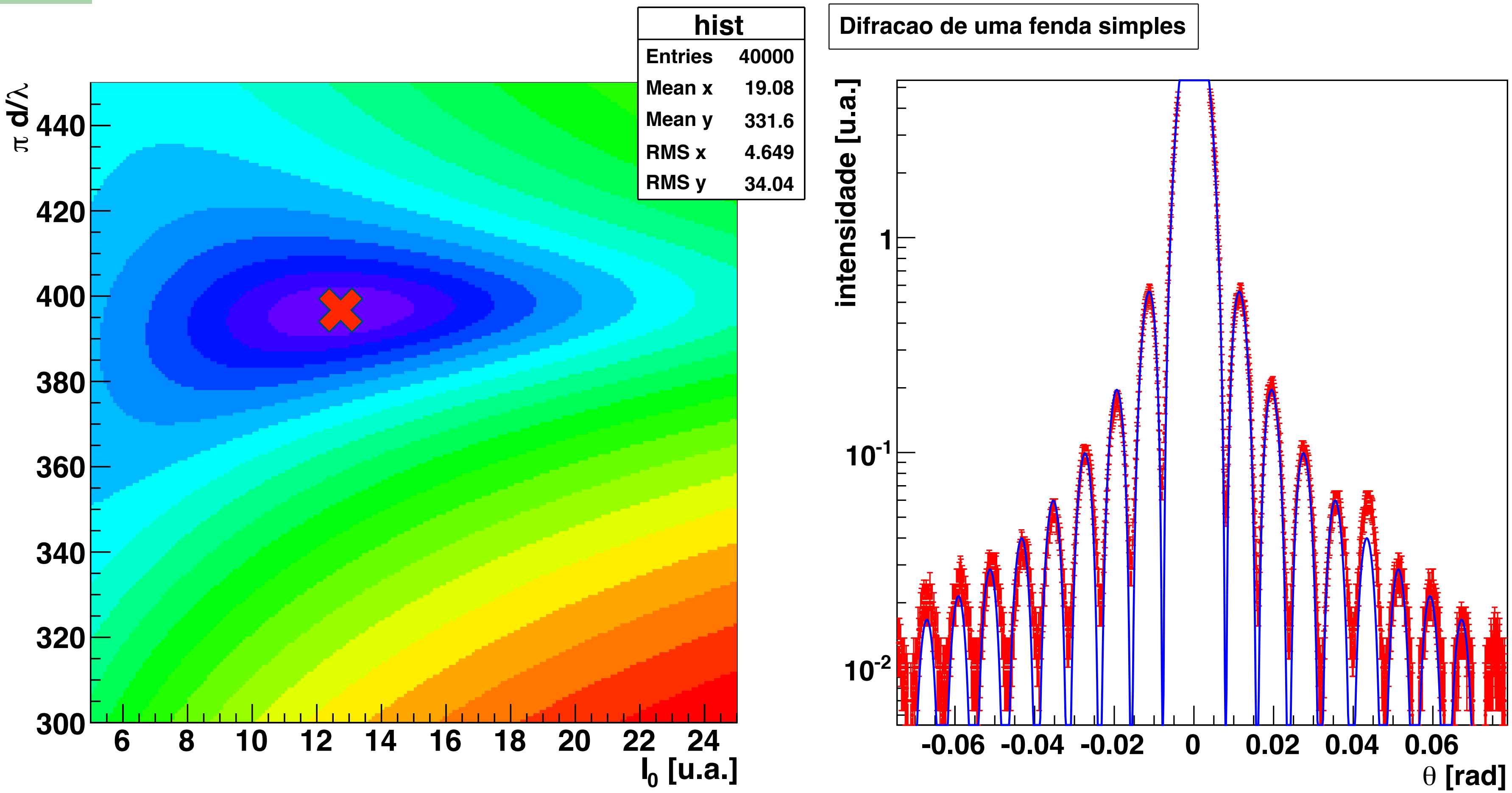
Análise do espectro de difração

- Aplicar a expressão teórica aos dados experimentais
- Mas esta expressão representa uma situação idealizada do fenômeno de difração por uma fenda
- E a situação real?

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

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

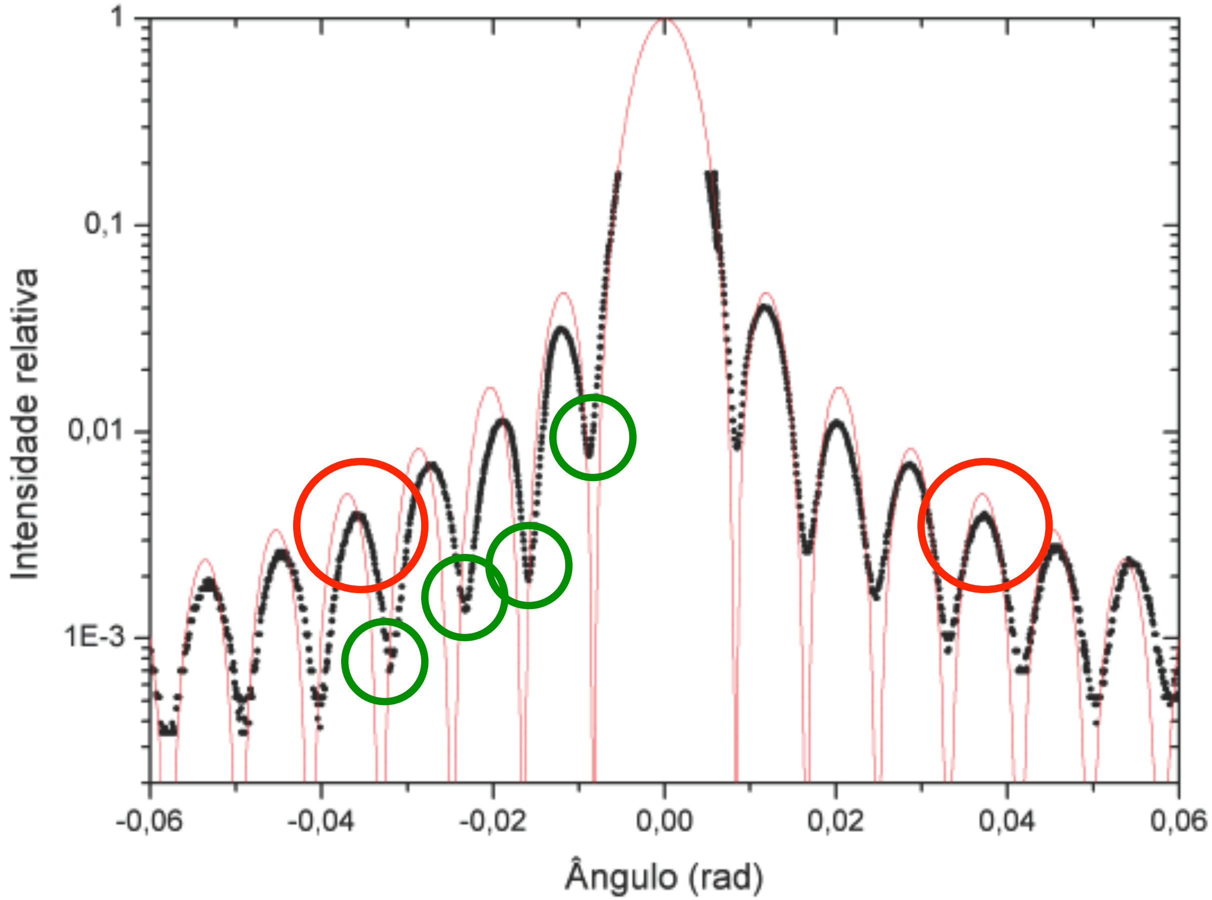
Ajuste da expressão ideal aos dados



A expressão teórica descreve bem os dados obtidos?

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

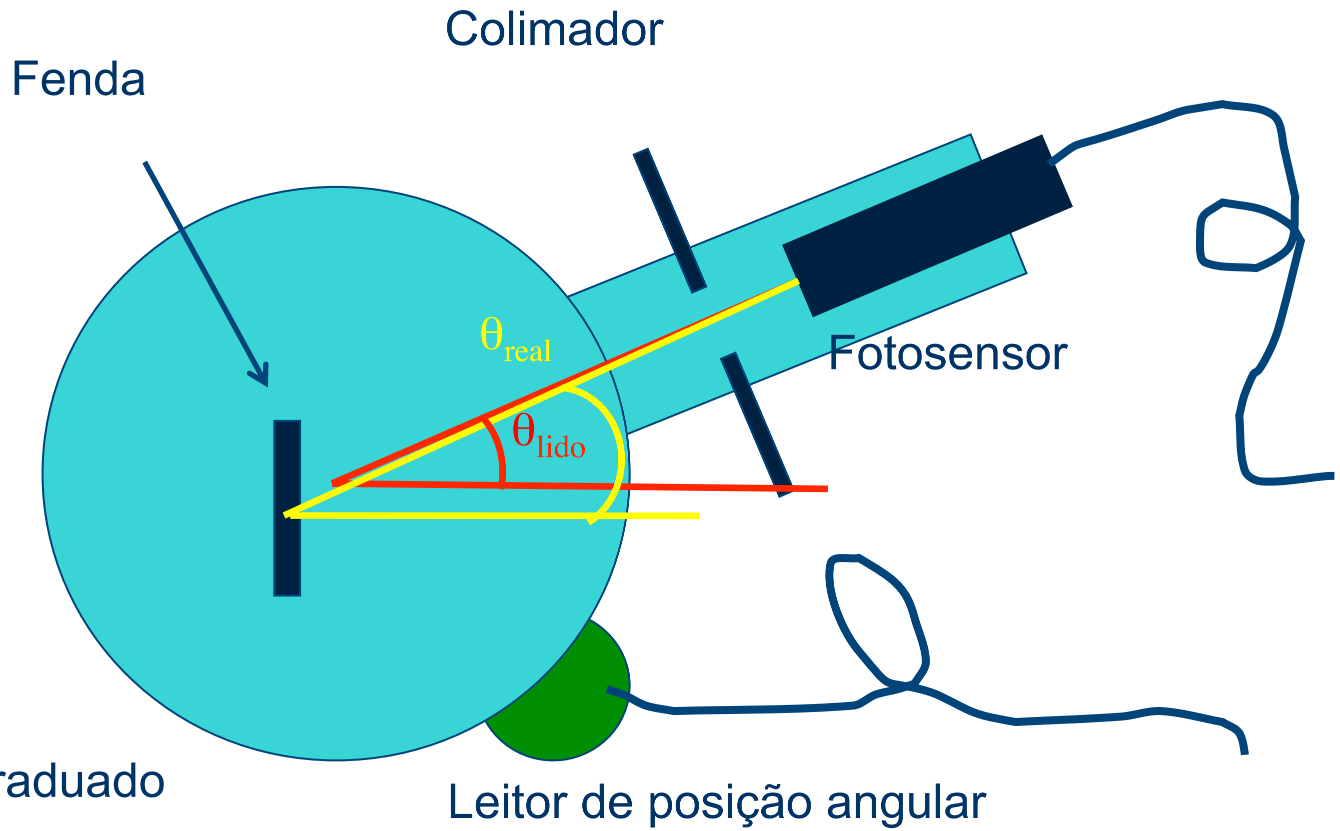
$$\text{com } \beta = \frac{\pi d}{\lambda}\sin\theta$$



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



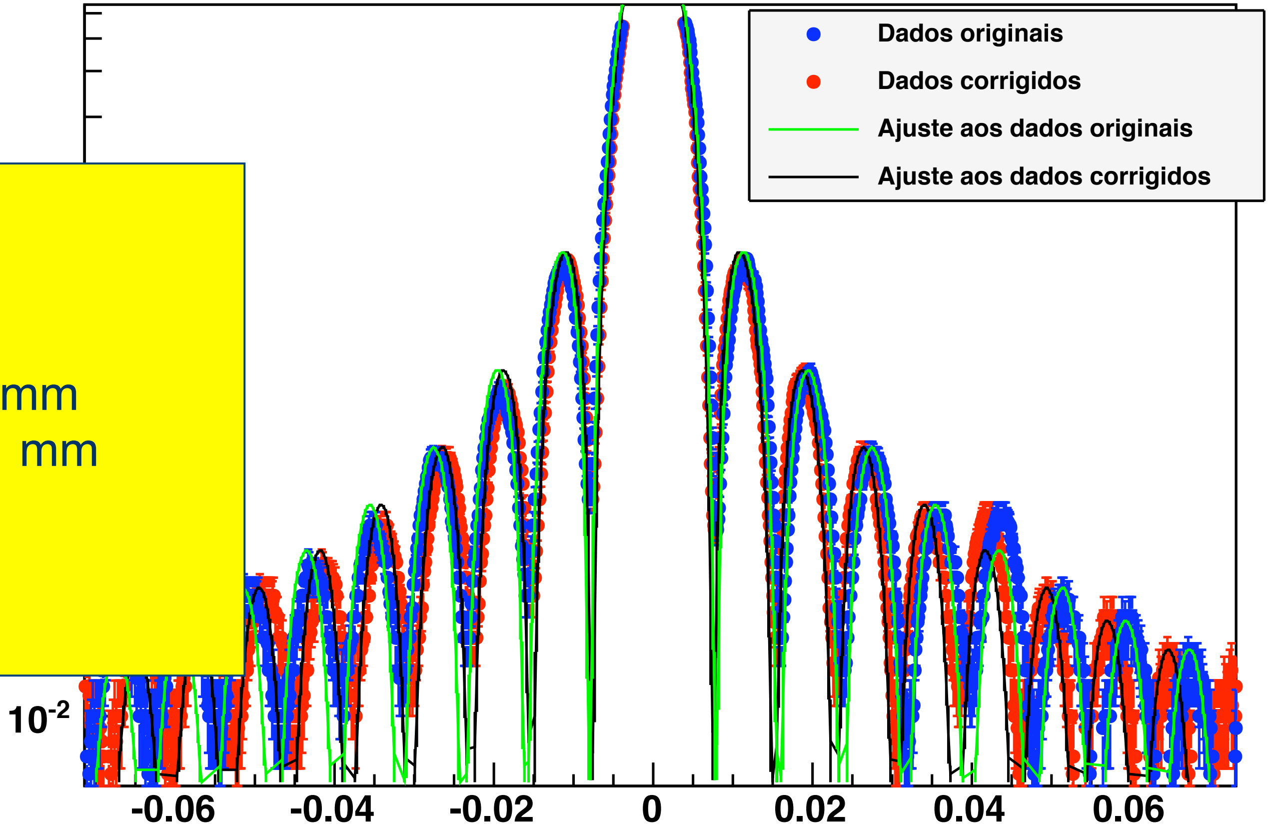
$$d_{orig} = 79.3 \pm 0.3\mu m \quad X^2_{red} = 4.2$$

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

Resultados

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

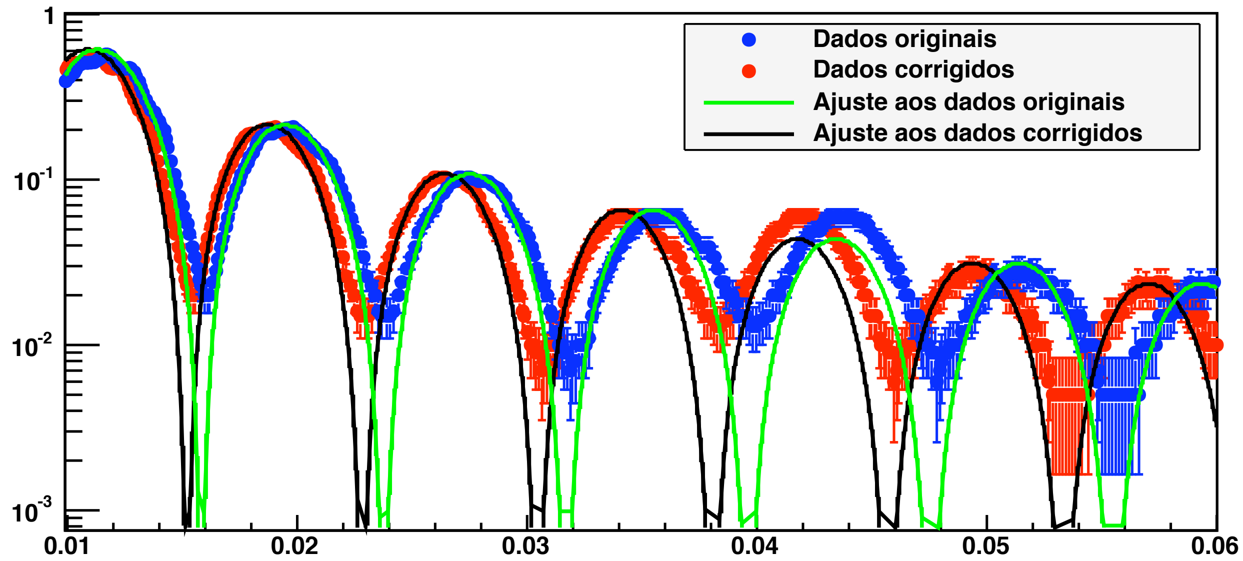
Δx = 6 mm
Δy = 0.1 mm

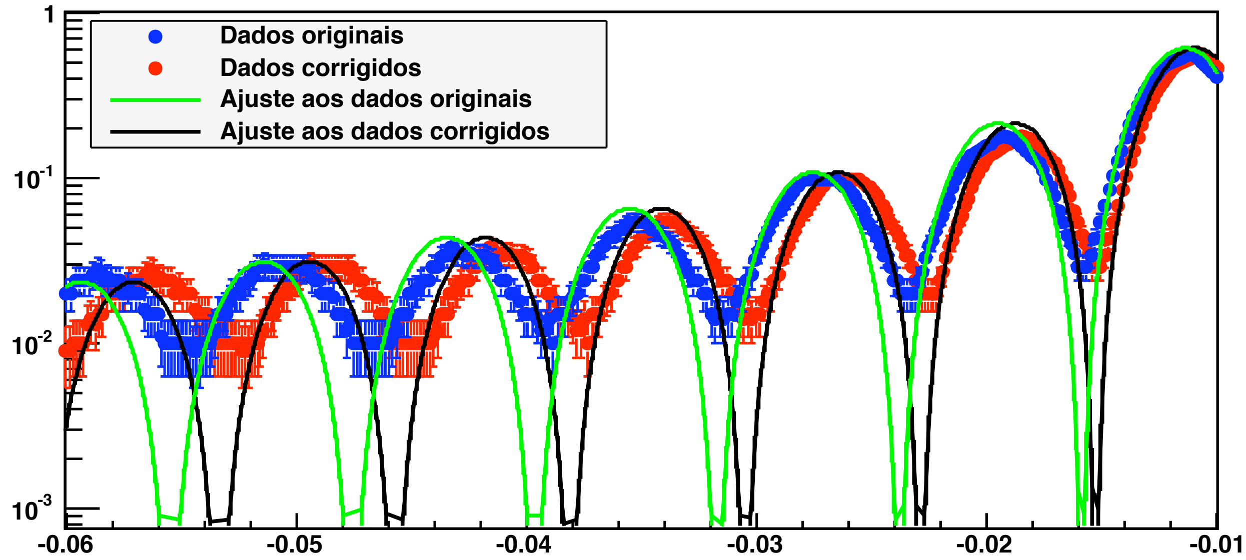


Resultados

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

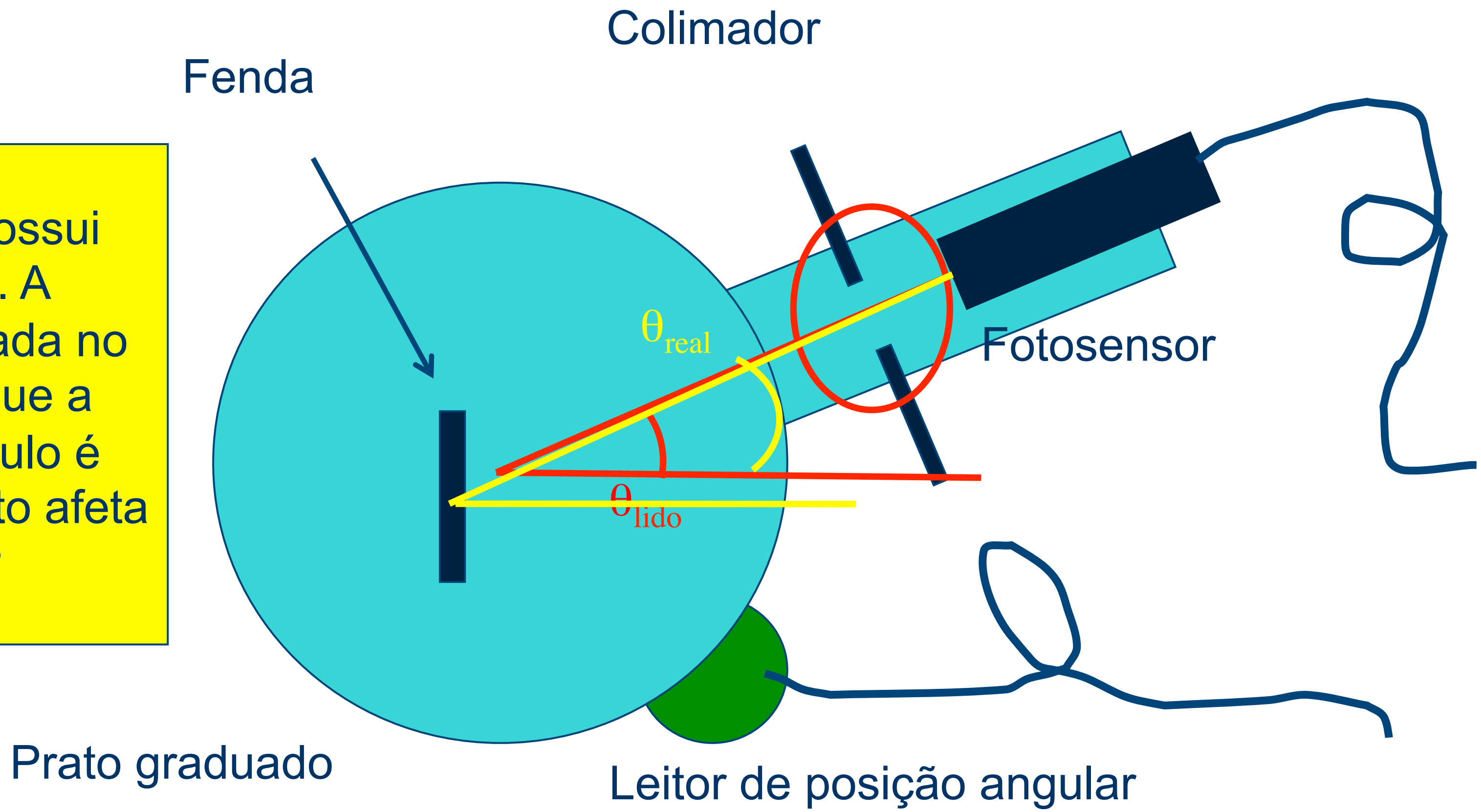
$$d_{corr} = 82.4 \pm 0.3\mu m \quad X^2_{red} = 4.3$$





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 θ – δ/2 até θ + δ/2.

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

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

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

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

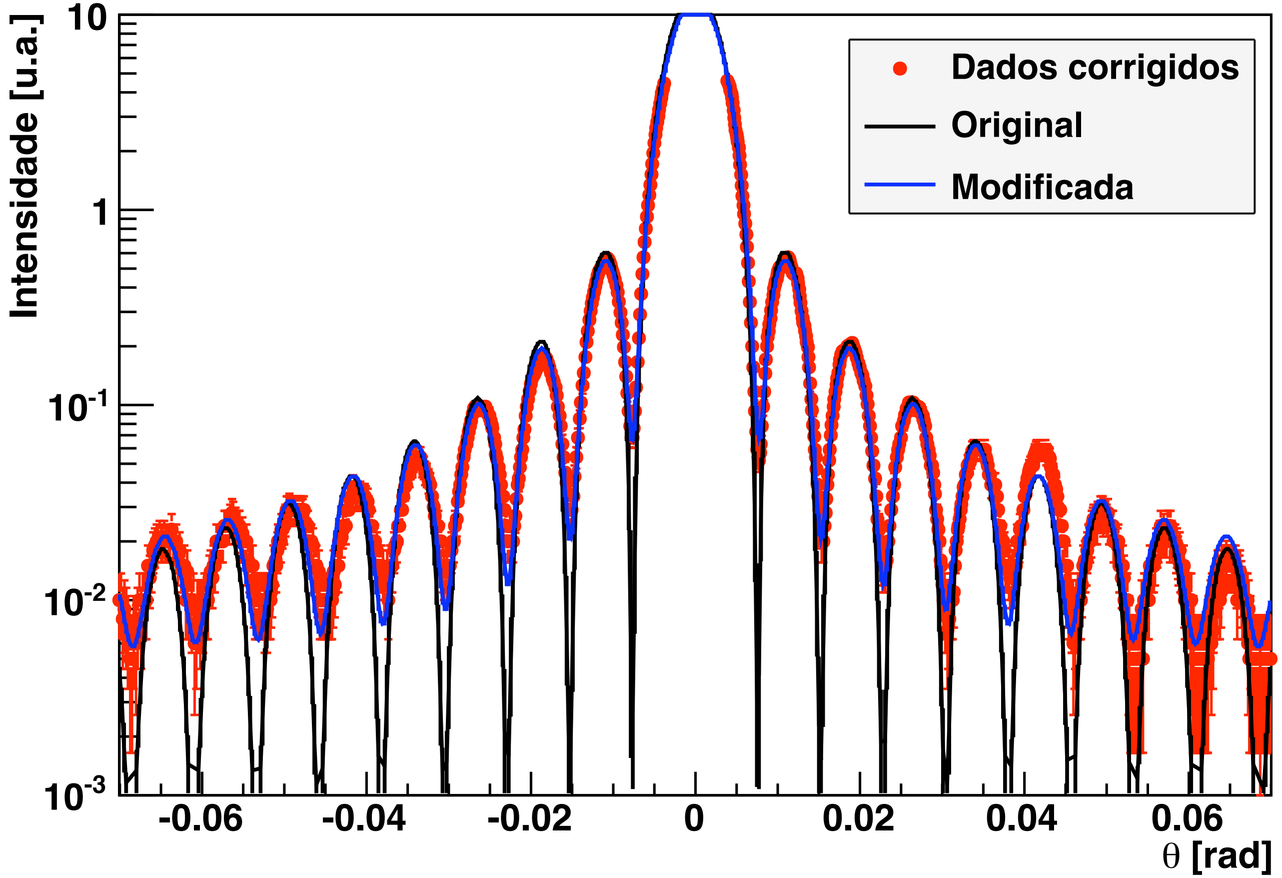
$I_0 = (11.9 \pm 0.2),\ f = (4.8 \pm 0.2)\cdot 10^{-3}$

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

$\delta = (0.109 \pm 0.001)^\circ$

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

$X^2_{red} = 1.17$



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

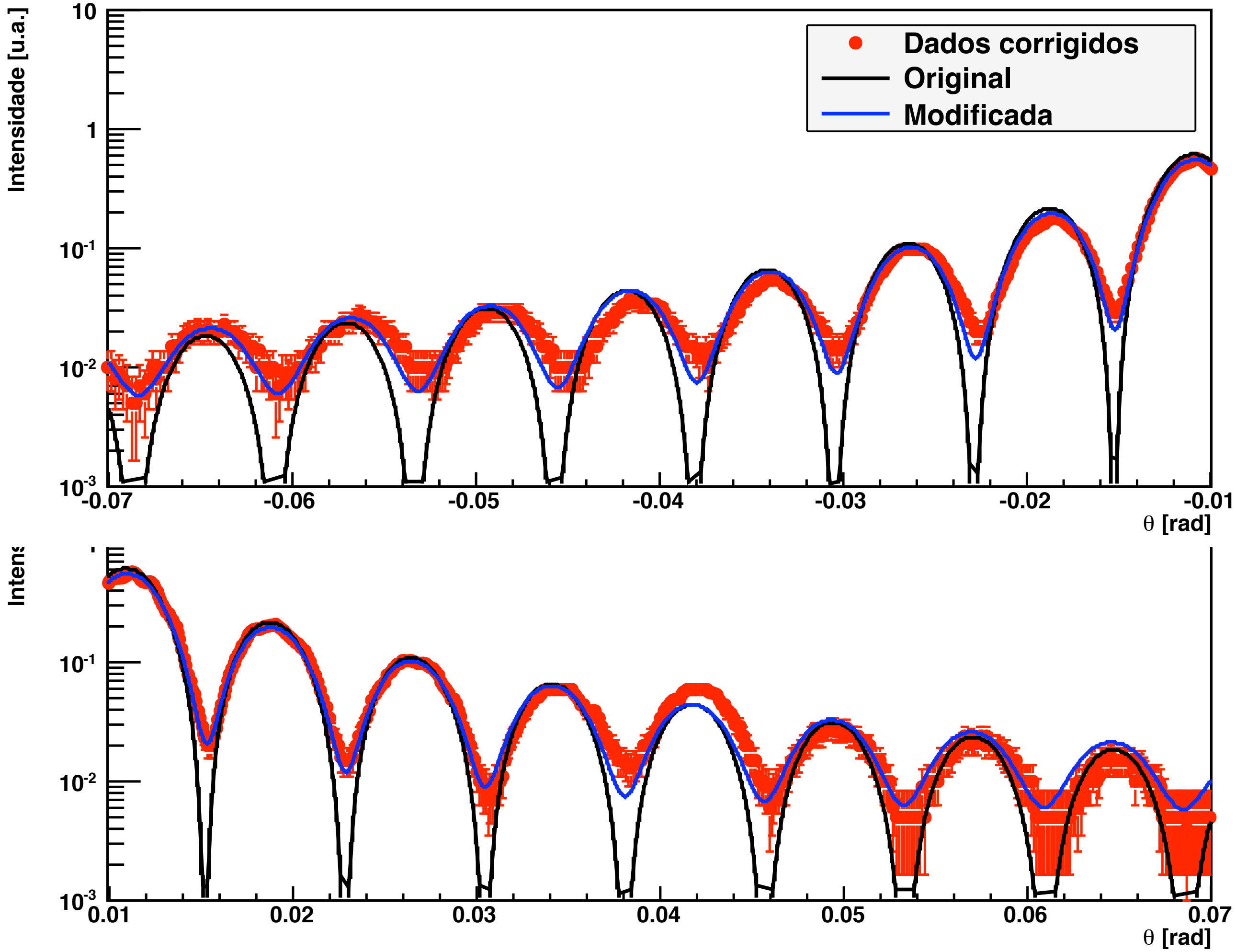
$$I_0 = (11.9 \pm 0.2),\ f = (4.8 \pm 0.2) \cdot 10^{-3}$$

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

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

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

$$X_{\text{red}}^2 = 1.17$$



Uma das questões do experimento ...

- Fazer o ajuste considerando os efeitos experimentais envolvidos (e outros, dependendo de como cada grupo fez suas medidas)

- Comparar os resultados desse ajuste com o realizado utilizando a expressão ideal e discutir os resultados.

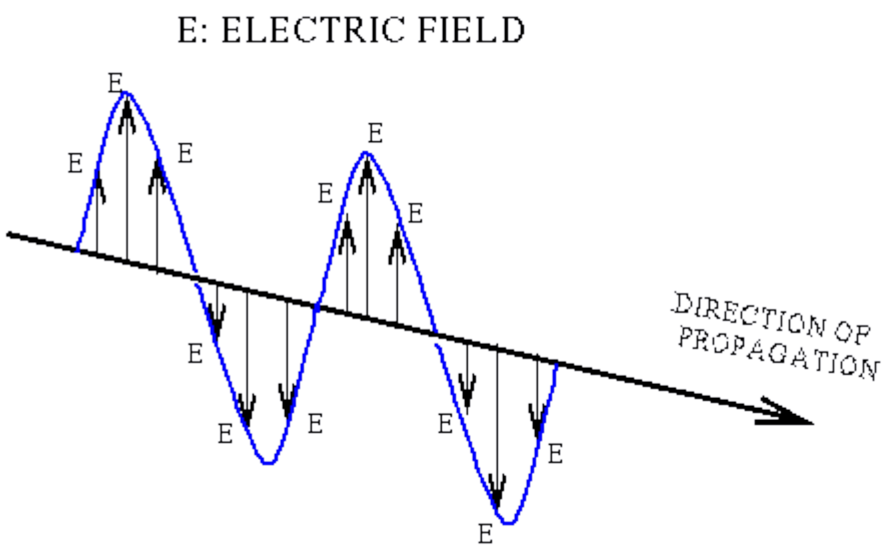
- Como fazer um ajuste complexo como este?
  - Dica: mapa de chi-quadrado e ajuste manual!

Mudança na direção de polarização da luz

- Esta semana iremos estudar como a polarização da luz pode ser alterada por determinados materiais
  - Materiais oticamente ativos

Polarização linear

- É aquela na qual a direção do campo elétrico não se altera com o tempo, somente a sua intensidade

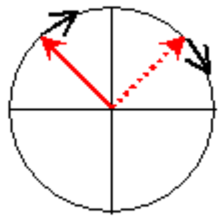


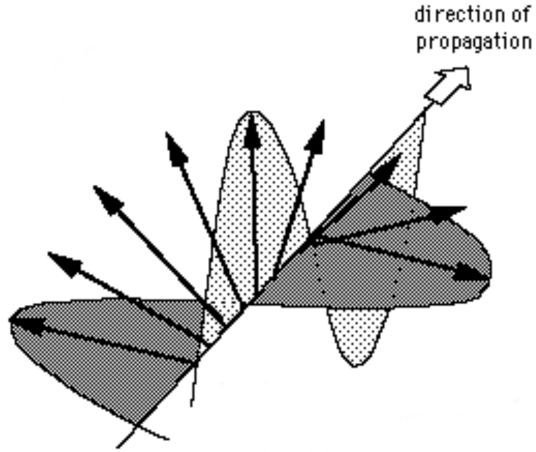
- No caso de uma onda de freqüência bem definida, podemos escrever o campo elétrico como:

$$\vec{E}(z,t) = E_0 \cos(kz - \omega t)\,\hat{j}$$

$$k = 2\pi / \lambda$$

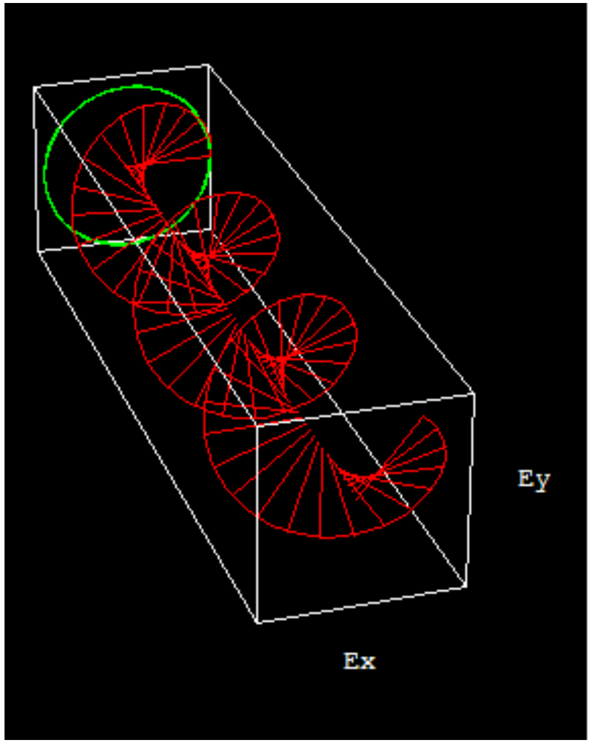
$$\omega = 2\pi f$$





Polarização circular

- É aquela na qual a direção do campo elétrico depende do tempo mas a intensidade é constante

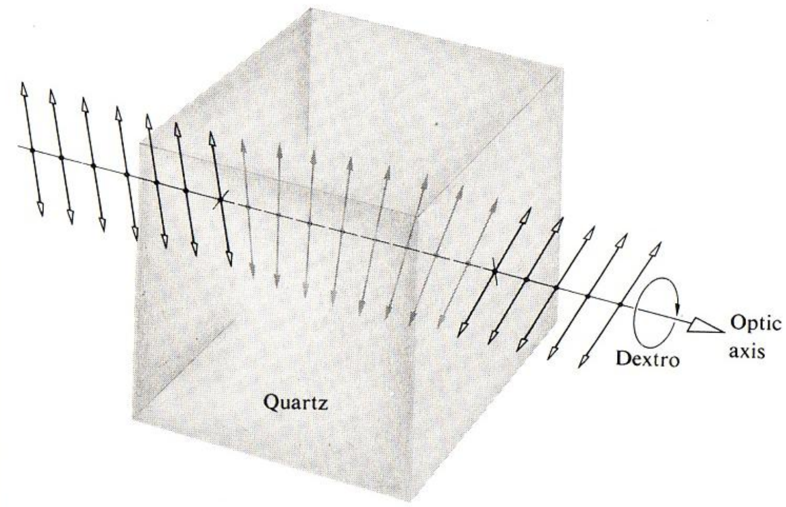


- No caso da polarização circular, podemos escrever o campo elétrico como a superposição de dois campos linearmente polarizados, defasados de 90º, ou seja:

$$\vec{E}(z,t) = E_0 \begin{bmatrix} \cos(kz - \omega t)\hat{j} \\ + \\ sen(kz - \omega t)\hat{i} \end{bmatrix}$$

Atividade óptica

- Foi descoberto pelo físico francês D. F. J. Arago em 1811 que o plano de vibração de um feixe de luz polarizada sofria uma rotação constante à medida que se propagava dentro de um cristal de quartzo.
- Alguns materiais (incluindo cristais e soluções líquidas) têm a propriedade de induzir a rotação contínua da polarização da luz
  - Chamada atividade óptica
  - Dextro-rotatória
    - Para a direita
  - Levo-rotatória
    - Para a esquerda

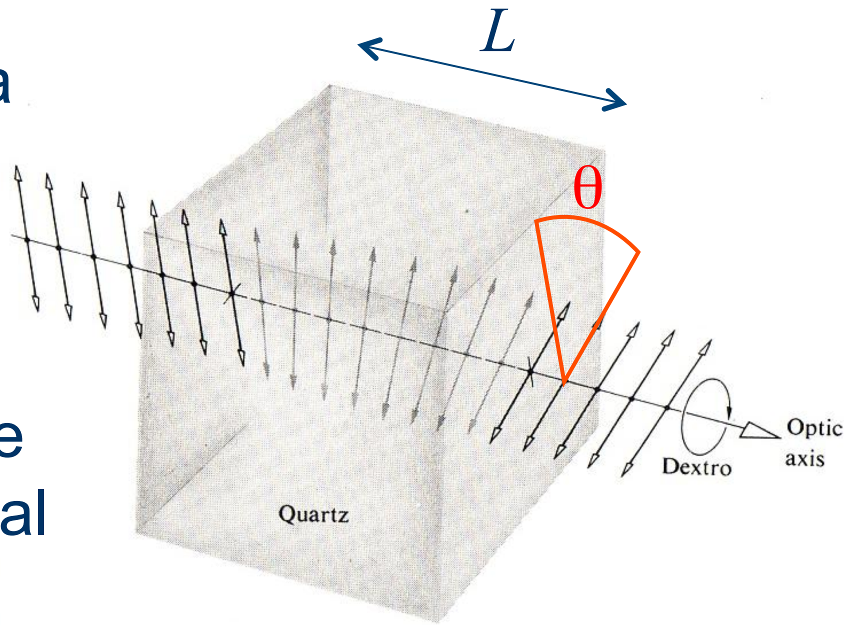


Atividade óptica

- Seja um material de espessura L.
- Qual o ângulo θ de giro da polarização?
- Sendo β (rad/cm) a capacidade de rotação da polarização (constante)

$$\theta = \beta L$$

  - A constante β depende da estrutura do material



Atividade óptica

- Fresnel explicou (1825) o efeito através de um modelo fenomenológico
- Seja uma onda linearmente polarizada

$$\vec{E} = E_0 \cos(kx - \omega t)\hat{i}$$

- Podemos escrever esta onda como sendo a superposição de duas ondas circularmente polarizadas

$$\vec{E} = \frac{E_0}{2}\begin{bmatrix} \cos(kx - \omega t)\hat{i} + \sin(kx - \omega t)\hat{j} + \\ \cos(kx - \omega t)\hat{i} - \sin(kx - \omega t)\hat{j} \end{bmatrix}$$

Atividade óptica

- Ou seja, podemos descrever o campo elétrico como

$$\vec{E} = \frac{E_0}{2}\left[\vec{d} + \vec{e}\right]$$

- Onde os vetores d e e representam ondas circularmente polarizadas para a direita e esquerda
- Fresnel propôs que estes materiais possuem índice de refração diferentes para cada sentido de polarização.

$$n_d = \frac{c}{v_d} \qquad n_e = \frac{c}{v_e}$$

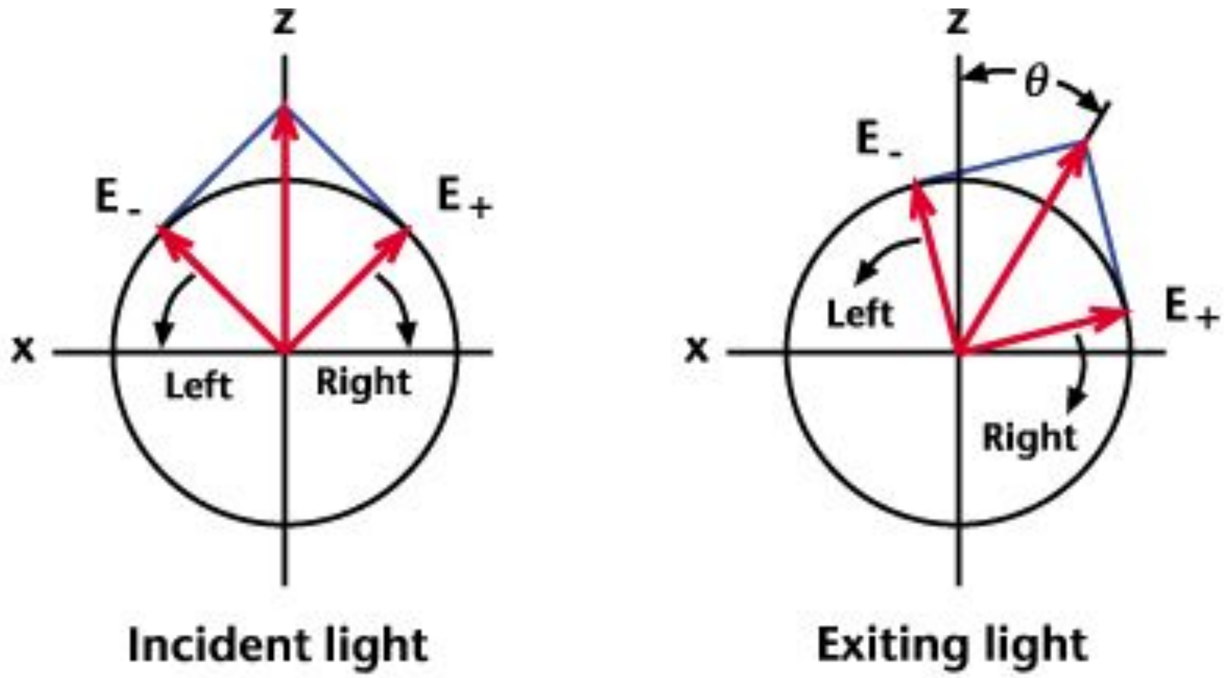
Atividade óptica

- Ou seja, podemos descrever o campo elétrico como

$$\vec{E} = \frac{E_0}{2}\left[\vec{d} + \vec{e}\right]$$

- Neste caso, a velocidade de propagação diferente para cada polarização acarretaria em um atraso de uma onda em relação a outra, dependendo da espessura, L, do material
  - Isto provocaria a rotação contínua da polarização da onda.
  - Ver o livro Optics de E. Hecht para demonstração deste modelo.

Visualmente



Objetivos da aula de hoje

- Estudar a atividade óptica de uma solução de açúcar

$$\theta = \beta L \quad \Rightarrow \quad \beta = \alpha C^{\gamma} \quad \Rightarrow \quad \theta = \alpha C^{\gamma} L$$

- No caso da solução de açúcar, a atividade óptica depende fortemente da concentração de açúcar na água

Objetivos da aula de hoje

- Mostrar que a mudança na direção da polarização de um feixe linearmente polarizado depende:

$$\theta = \alpha C^{\gamma} L$$

  - Linearmente da concentração de açúcar (γ = 1)
  - Linearmente do comprimento de solução (L)
  - Obter a constante de proporcionalidade (α)

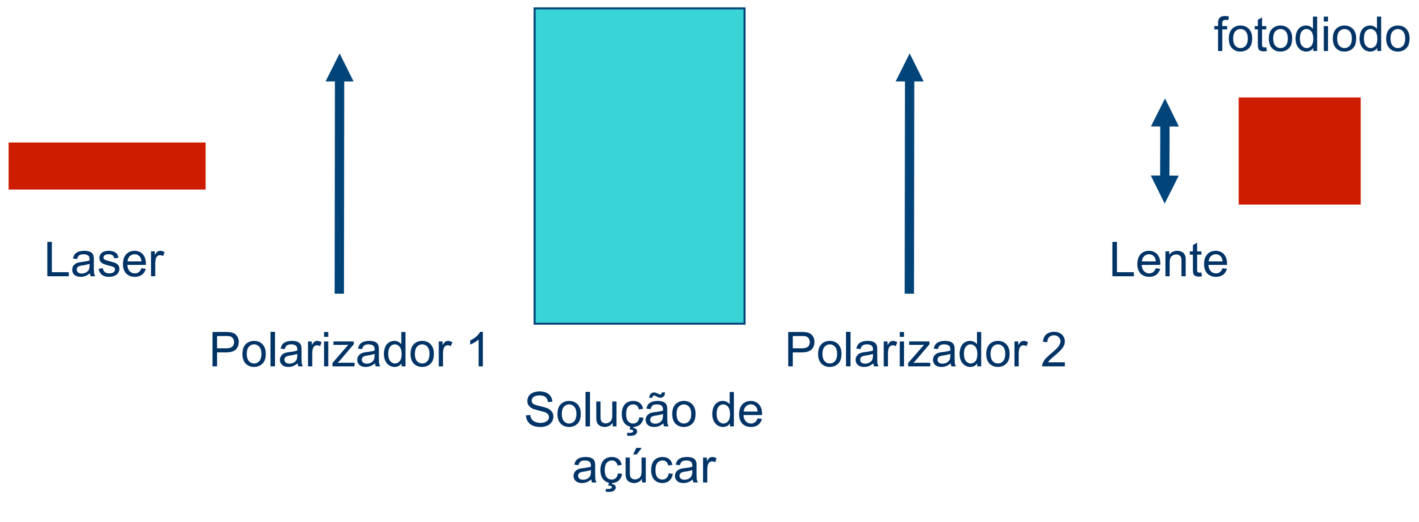
Solução de
açúcar

Arranjo experimental

- Montar o arranjo do laser + polarizador 1 + polarizador 2 + fotodiodo
- Girar o polarizador 2 até a intensidade no fotodiodo ser mínima (90º)

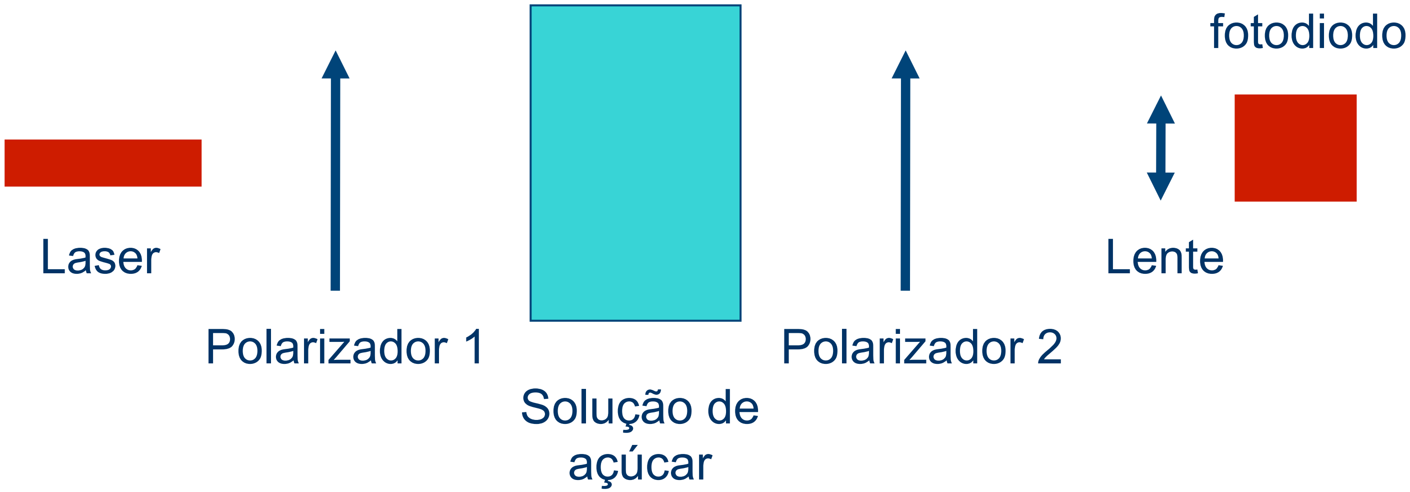
Arranjo experimental

- Colocar a solução de açúcar
- Como a solução alterou a polarização, a intensidade no fotodiodo muda



Arranjo experimental

- Girar o polarizador 2 até que a intensidade volte a ser mínima
- Medir o quanto precisou girar o polarizador 2. Este é o ângulo θ.



Realize as medidas necessárias para:

- Mostrar que o ângulo θ varia linearmente com o comprimento L.
- Mostrar que o ângulo θ varia linearmente com a concentração da solução de açúcar (obter a constante γ).
- Obter o valor da constante α para o açúcar.
- Porque ajustar o polarizador 2 para o mínimo e não para o máximo? Existe diferença?

- Vocês têm à disposição vários tubos contendo soluções com diferentes soluções de açúcar
  - Combine estes tubos em seqüência para simular diferentes comprimentos, por exemplo