

Este ser é até o momento o único terrestre que distingue luz polarizada circularmente. Ele é o camarão gafanhoto. Ele consegue distinguir 100.000 cores diferentes 10 vezes mais que o homem.

**Alexandre Suaide**

Ed. Oscar Sala

sala 246

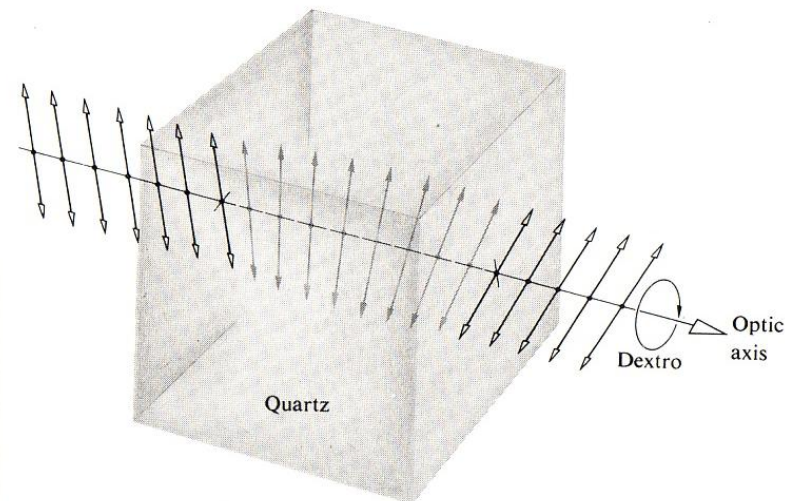
ramal 7072

**Física Experimental IV - 14ª aula**  
**<http://www.dfn.if.usp.br/~suaide/>**

# 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



# Estudo da atividade óptica

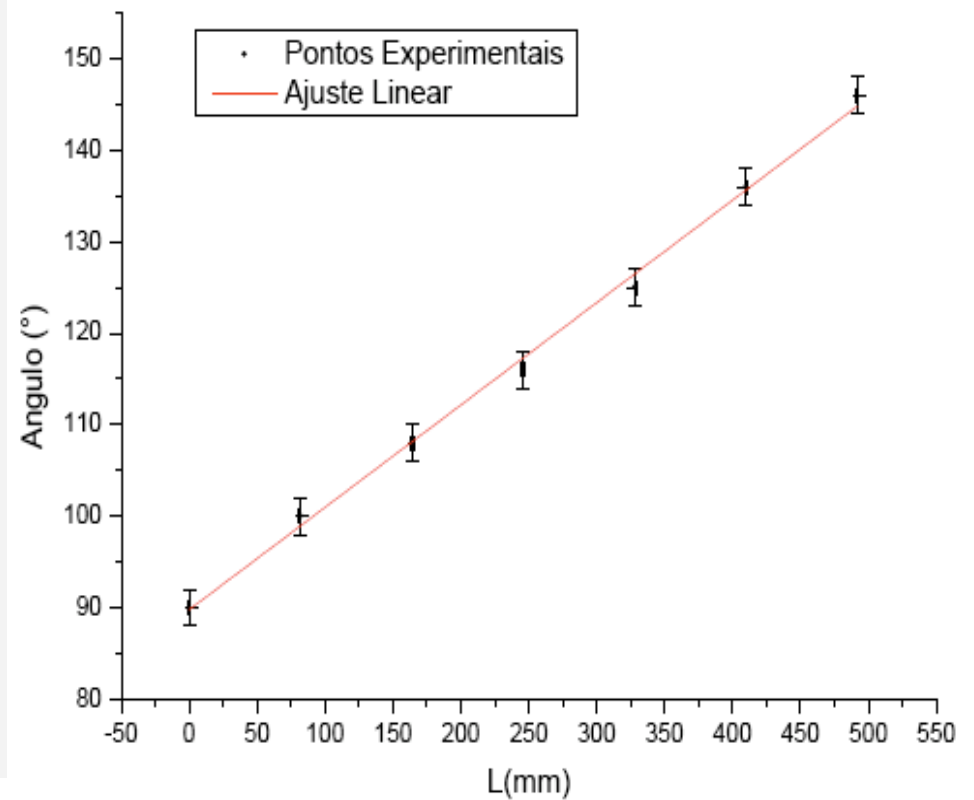
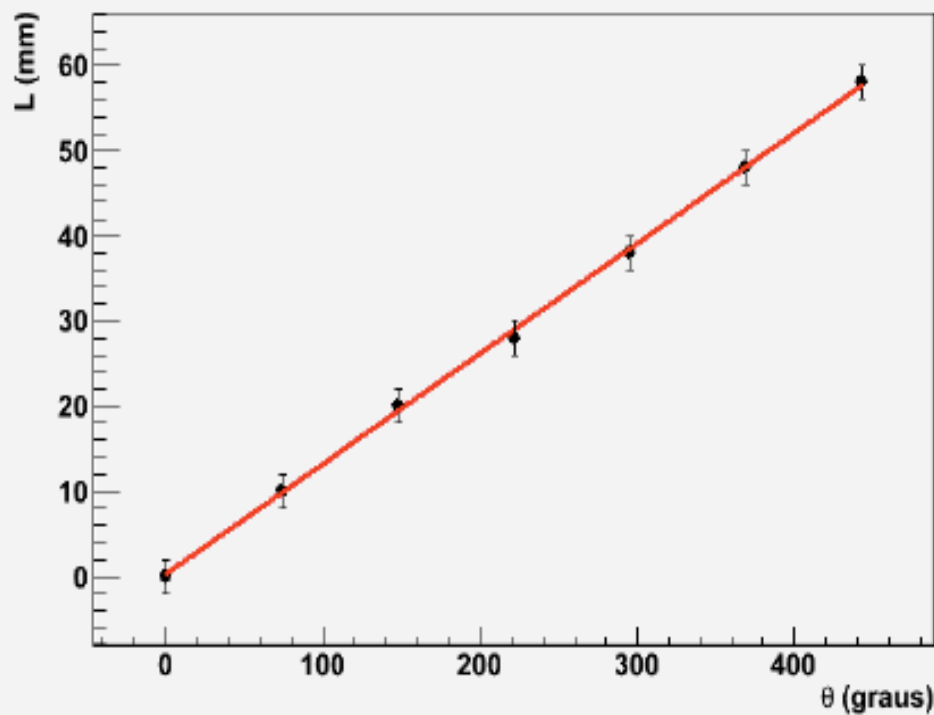
- Mostrar que a mudança na direção da polarização de um feixe linearmente polarizado depende:

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

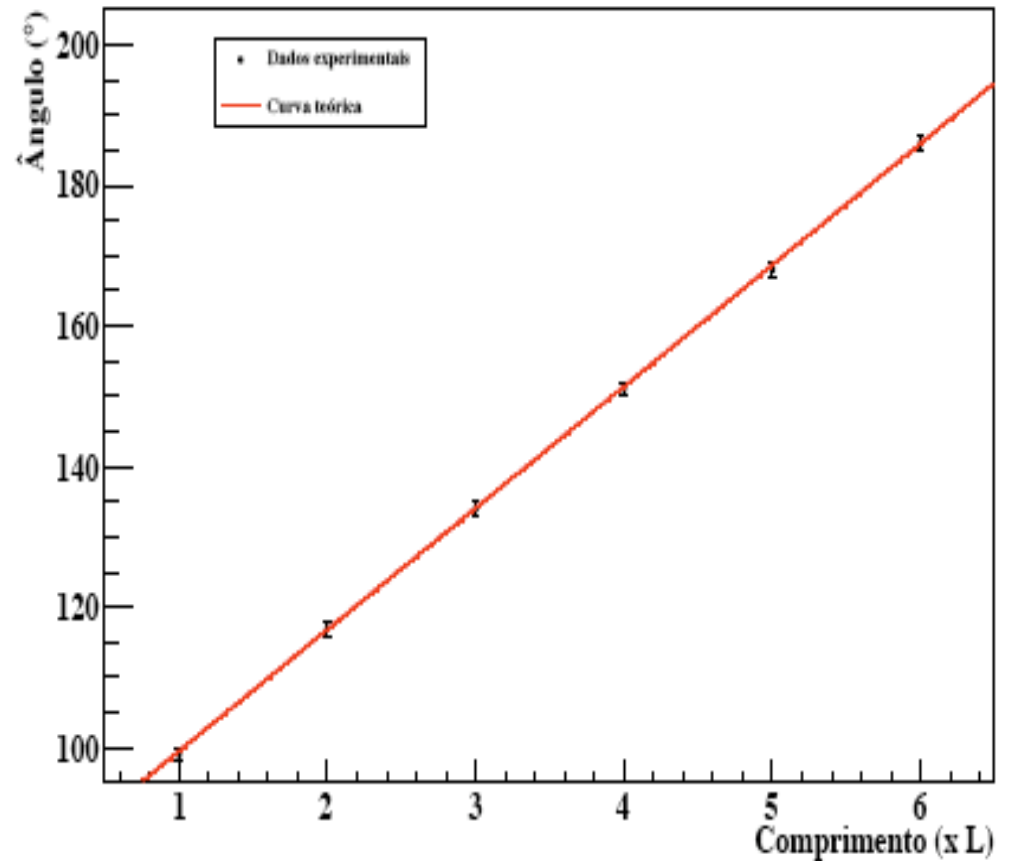
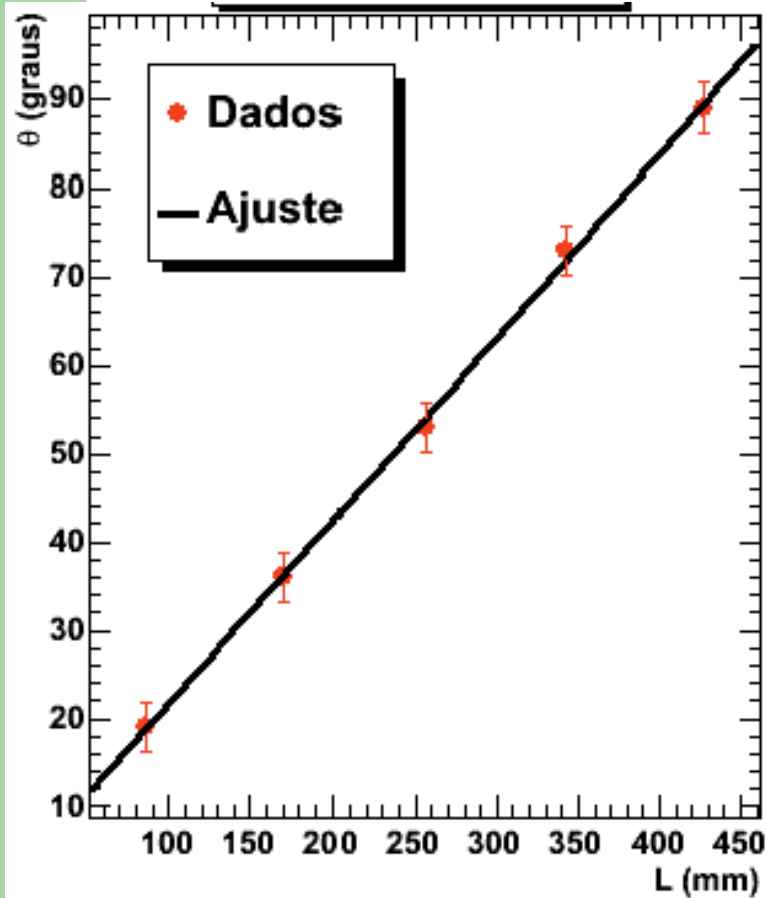
- Linearmente da concentração de açúcar ( $\gamma = 1$ )
- Linearmente do comprimento de solução ( $L$ )
- Obter a constante de proporcionalidade ( $\alpha$ )

# Dependência com L (C = 200g/l)

Espessura (mm) vs  $\theta$  (graus)



# Dependência com L (C = 400g/l)



# E a dependência com a concentração

- Como, com duas concentrações disponíveis, eu determino  $\gamma$ ?
  - É compatível com um?

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

## Situação mais simples

- Para um mesmo comprimento, a razão entre os ângulos permite determinar  $\gamma$ ?

$$\theta_{200} = \alpha C_{200}^{\gamma} L \quad \theta_{400} = \alpha C_{400}^{\gamma} L$$

$$\frac{\theta_{400}}{\theta_{200}} = \left( \frac{C_{400}}{C_{200}} \right)^{\gamma}$$

## Situação mais simples

- Para um mesmo comprimento, a razão entre os ângulos permite determinar  $\gamma$ ?

Um modo de verificar que  $\gamma = 1$  é usando o fato de que  $a = \alpha \cdot C^\gamma$ . Assim, se  $\gamma = 1$ , o valor de  $a_2 = \alpha \cdot (C_{400g/L})^\gamma = \alpha \cdot 2 \cdot (C_{200g/L})^\gamma = 2 \cdot a_1$ , já que  $C_{400g/L} = 2 \cdot C_{200g/L}$ . Realizando o teste de compatibilidade entre  $a_2$  e  $2 \cdot a_1$  temos,  $Z = 2, 2$ .

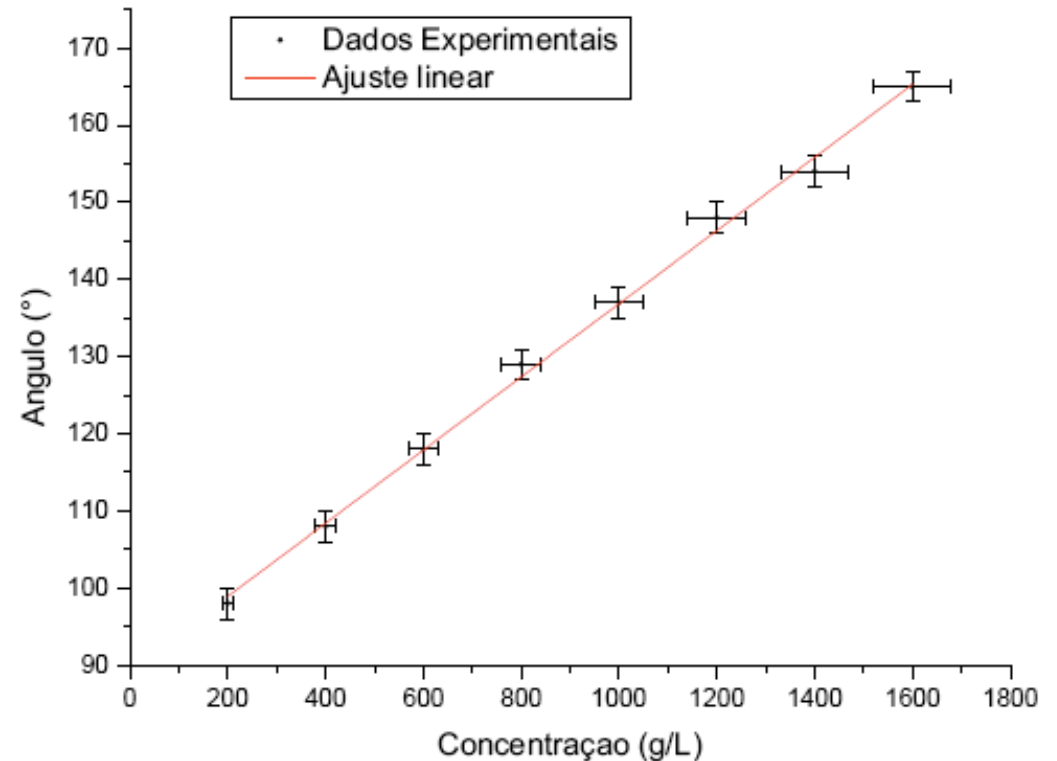
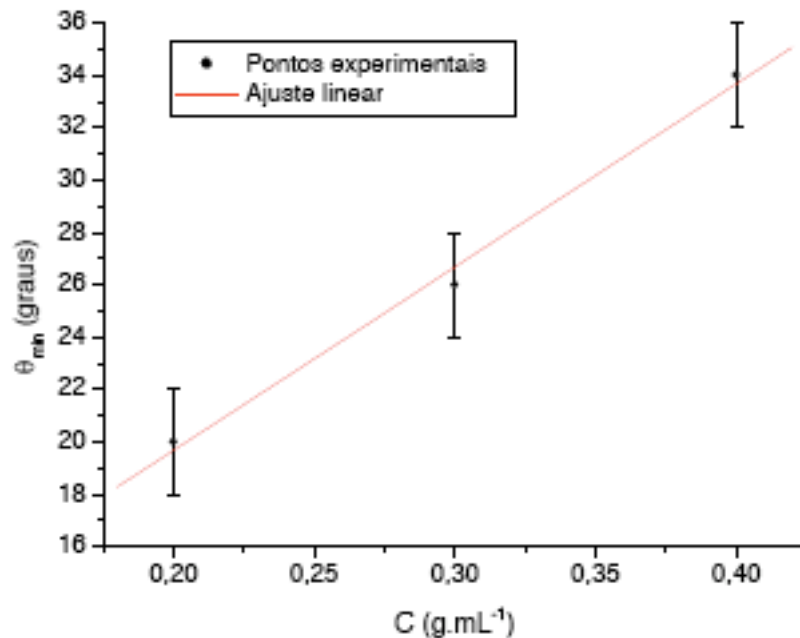
$$\alpha \cdot 2 \cdot (C_{200g/L})^\gamma = 2 \cdot a_1, \text{ já que } C_{400g/L} = 2 \cdot C_{200g/L}.$$

$Z = 2, 2$



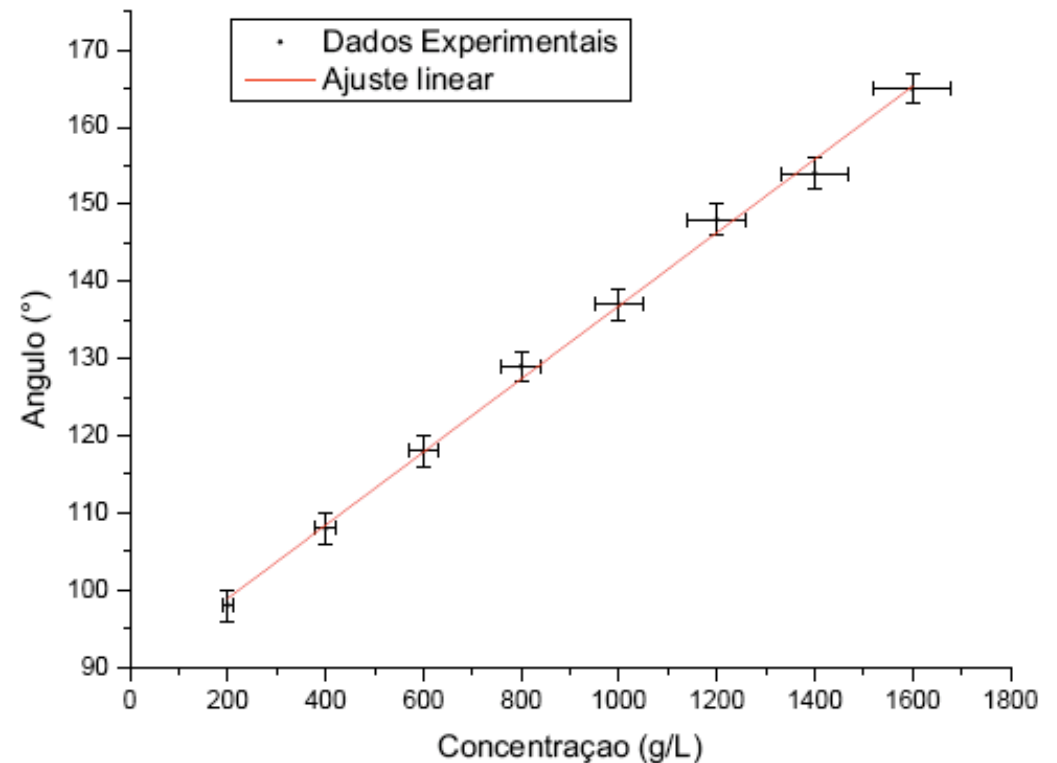
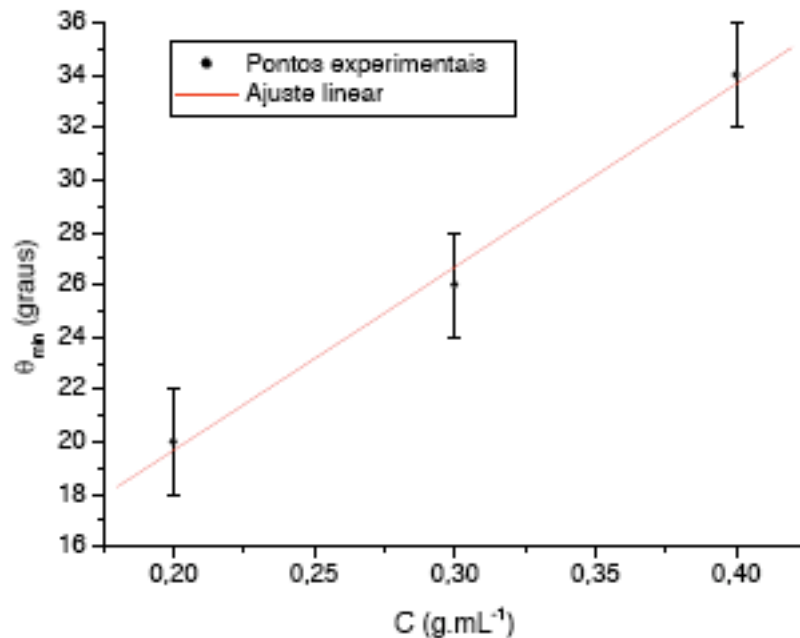
# Muitos grupos usaram o conceito de concentração média (ou equivalente)

- 1 tubo de 200 g/l com um tubo de 400 g/l equivale a um tubo de 300 g/l



# Muitos grupos usaram o conceito de concentração média (ou equivalente)

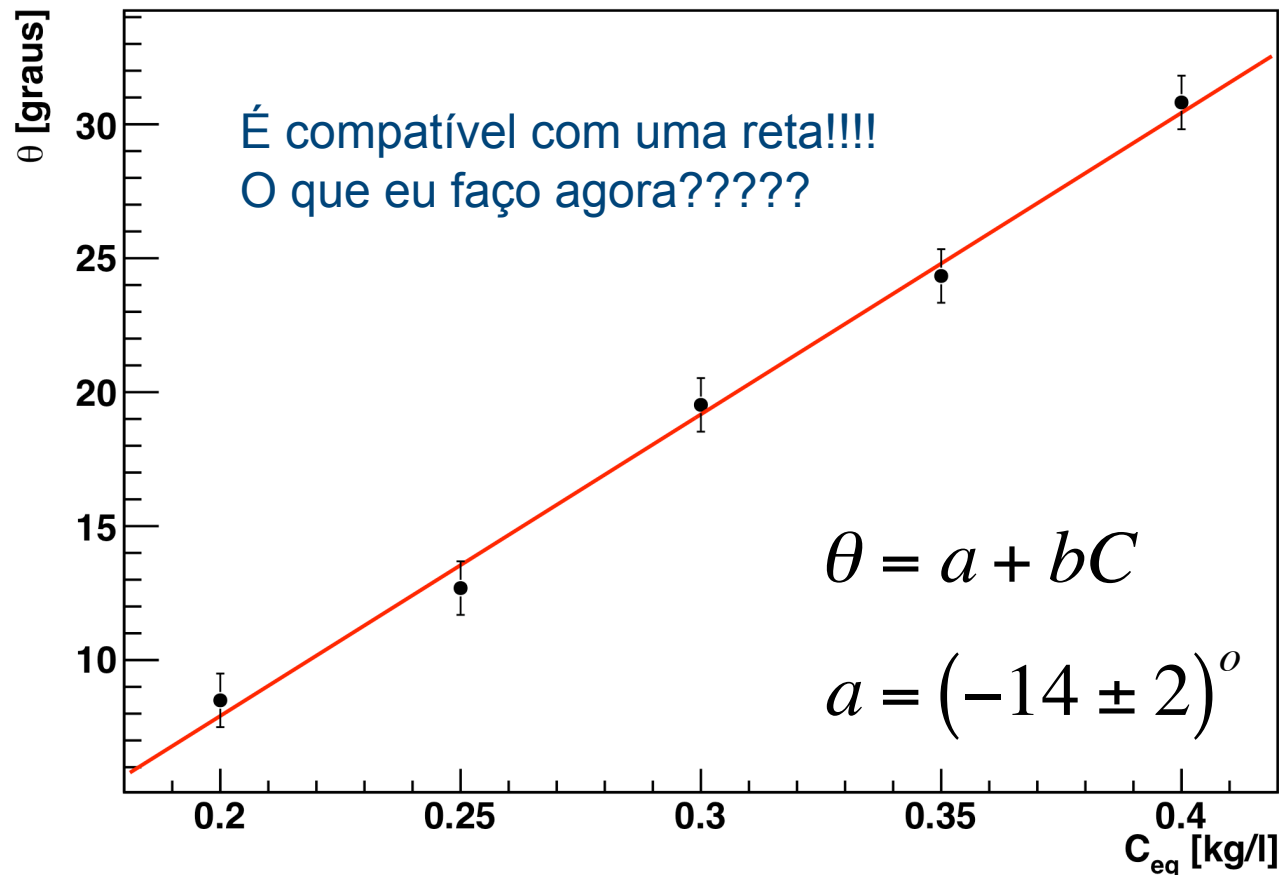
- A dependência linear com a concentração equivalente assegura que é  $\gamma = 1$ ?



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

## Simulação da medida supondo um valor de $\gamma$ diferente de um

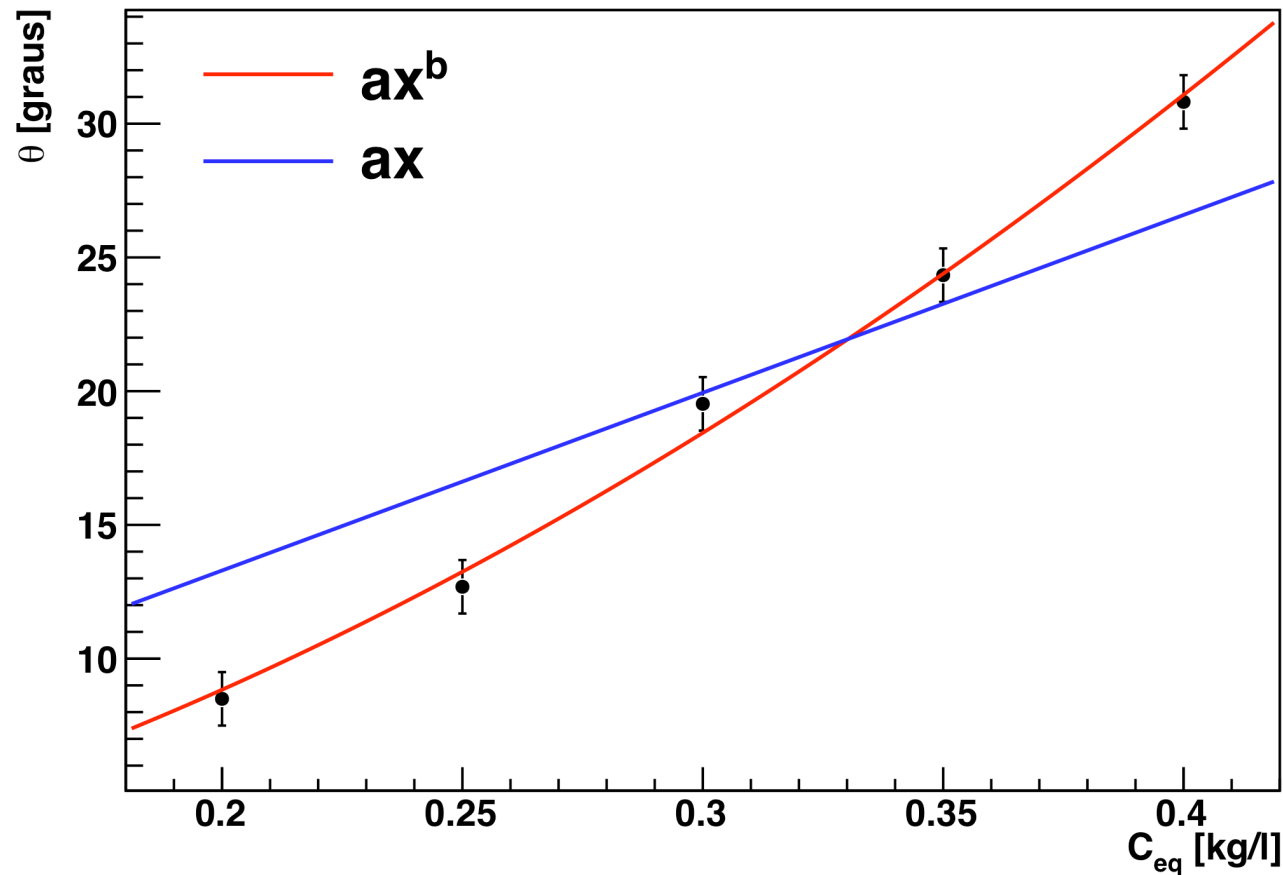
simulando com  $\gamma = 2$



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

# Simulação da medida supondo um valor de $\gamma$ diferente de um

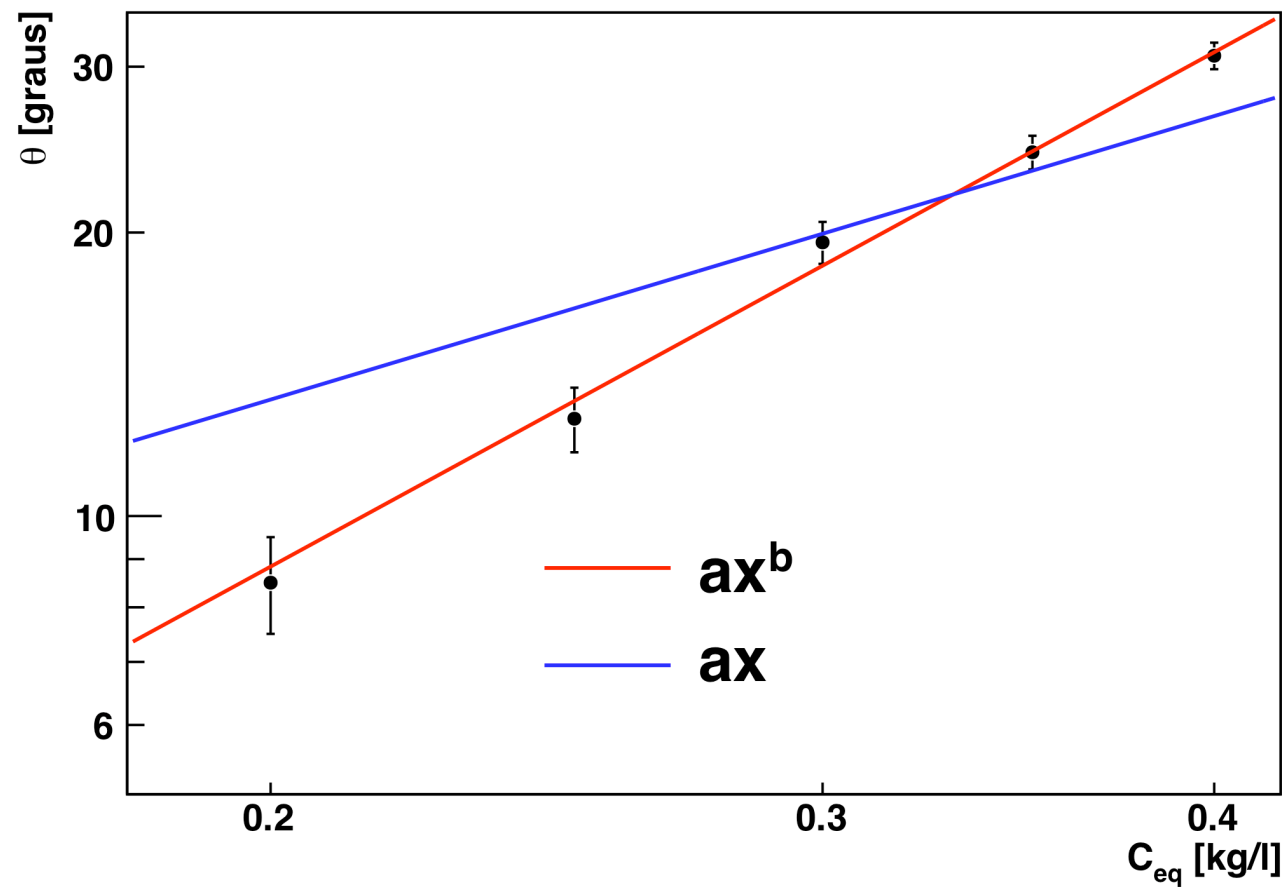
simulando com  $\gamma = 2$



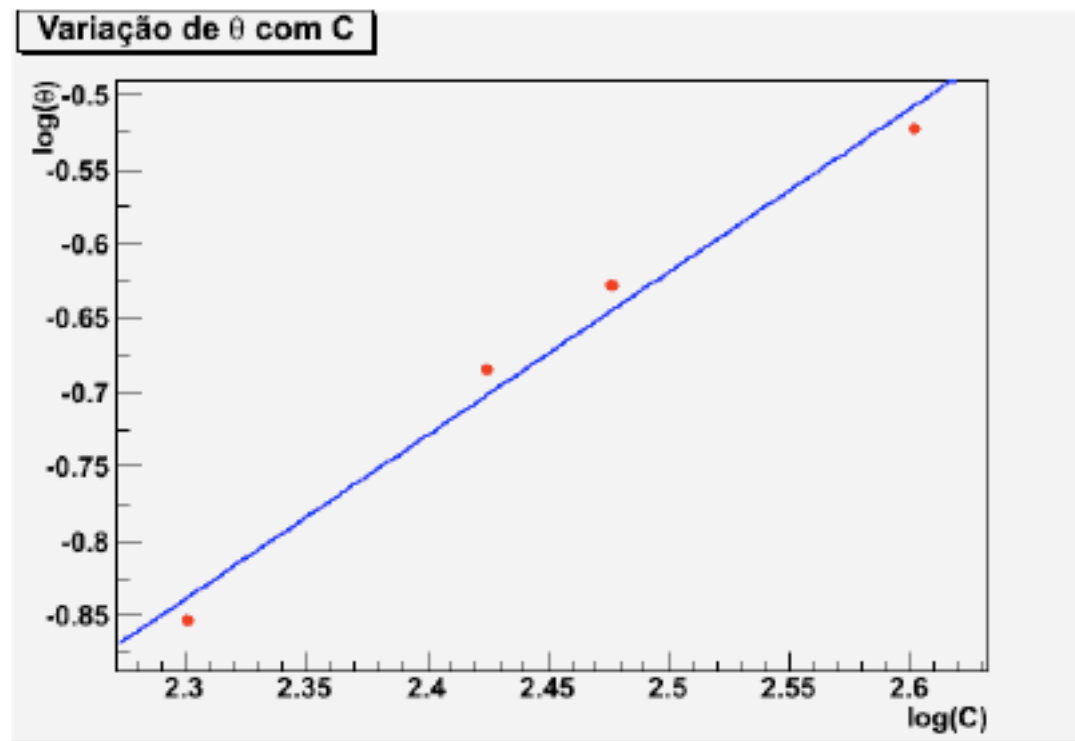
$$\theta = \alpha C^\gamma L$$

# Simulação da medida supondo um valor de $\gamma$ diferente de um

simulando com  $\gamma = 2$

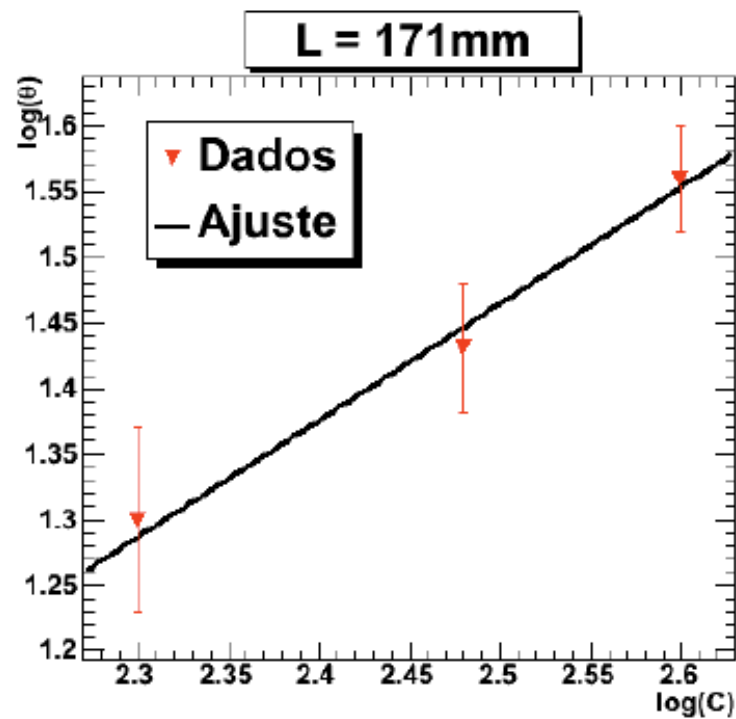


# Resultados

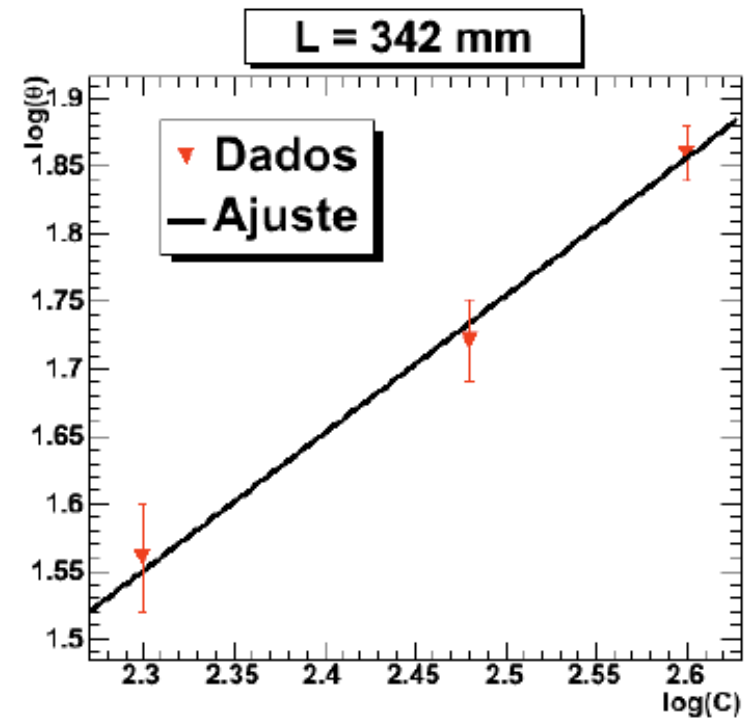


A variação é linear e encontramos um  $\gamma$  de 1,09(12), compatível com 1.

# Resultados



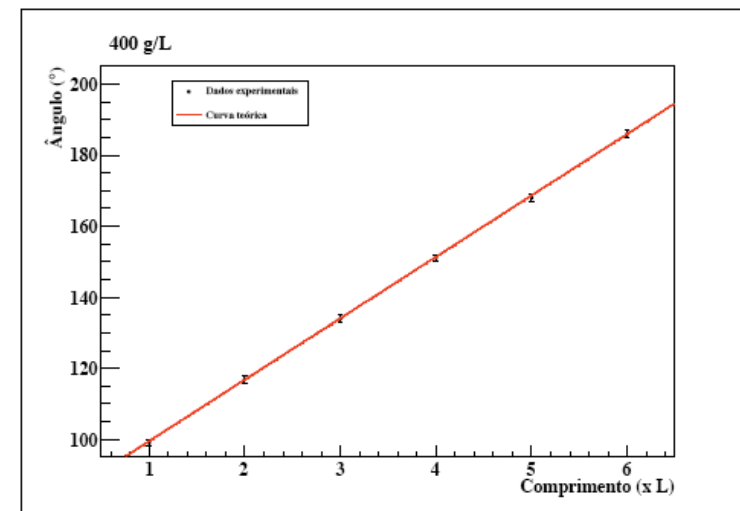
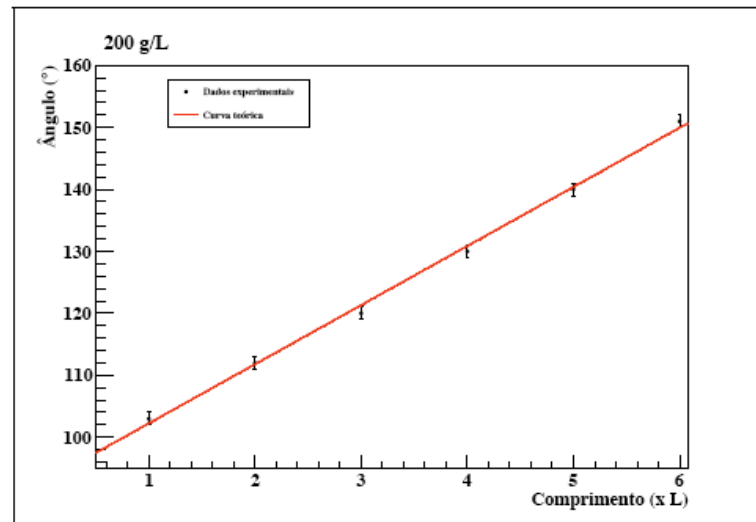
$$\gamma = (1,0 \pm 0,1)$$



$$\gamma = (0,9 \pm 0,3)$$

Os valores obtidos de  $\theta_0$  estão muito diferentes entre si (deveriam ser próximos entre si e próximos de  $90^\circ$ ), e a razão entre os coeficientes angulares é menor que 2, o que seria esperado ao tentar provar que  $\gamma$  é unitário (uma vez que uma concentração é o dobro da outra). Suspeitou-se, então, que a solução em repouso poderia decantar, produzindo uma diminuição no valor das concentrações (especialmente para a solução de  $400\text{g/L}$ ), como se observa pelo coeficiente menor que o esperado. Deste modo, repetiu-se a experiência sacudindo as soluções a fim de melhorar os resultados.

## Um resultado interessante

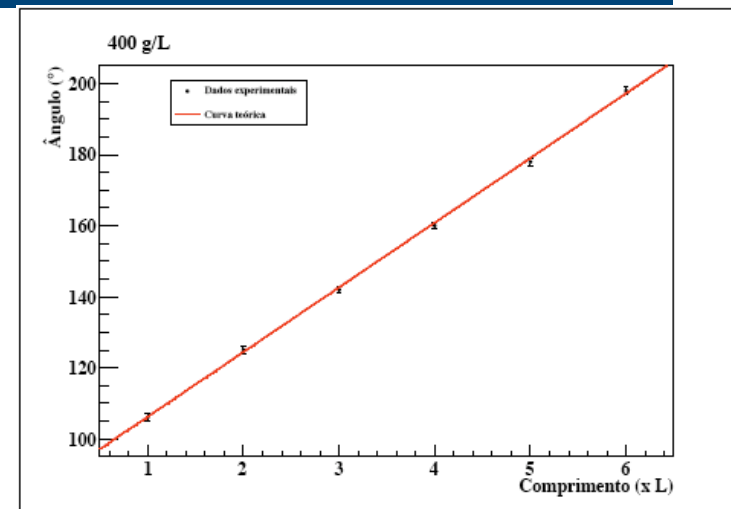
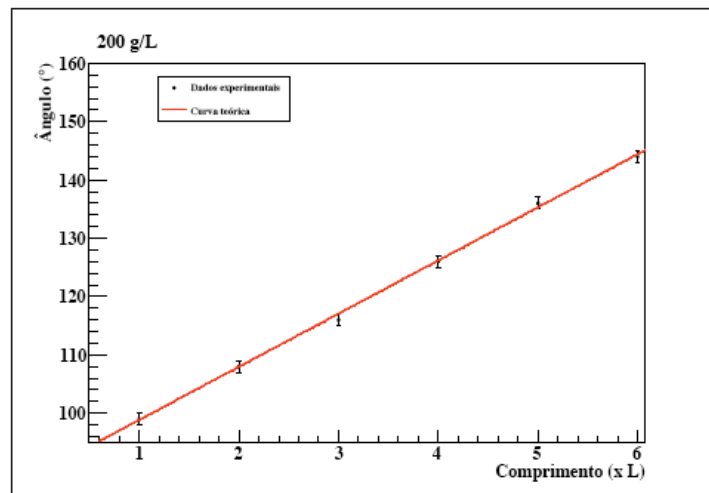


Parâmetro	200g/L	400g/L
$\alpha C^\gamma L$	9,54(24)	17,29(24)
$\theta_0$	92,6(9)	82,0(9)
$\chi_{red}^2$	1,09	0,14

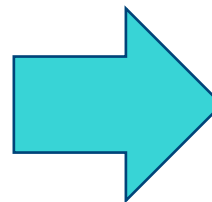


Os valores obtidos de  $\theta_0$  estão muito diferentes entre si (deveriam ser próximos entre si e próximos de  $90^\circ$ ), e a razão entre os coeficientes angulares é menor que 2, o que seria esperado ao tentar provar que  $\gamma$  é unitário (uma vez que uma concentração é o dobro da outra). Suspeitou-se, então, que a solução em repouso poderia decantar, produzindo uma diminuição no valor das concentrações (especialmente para a solução de  $400\text{g/L}$ ), como se observa pelo coeficiente menor que o esperado. Deste modo, repetiu-se a experiência sacudindo as soluções a fim de melhorar os resultados.

## Um resultado interessante



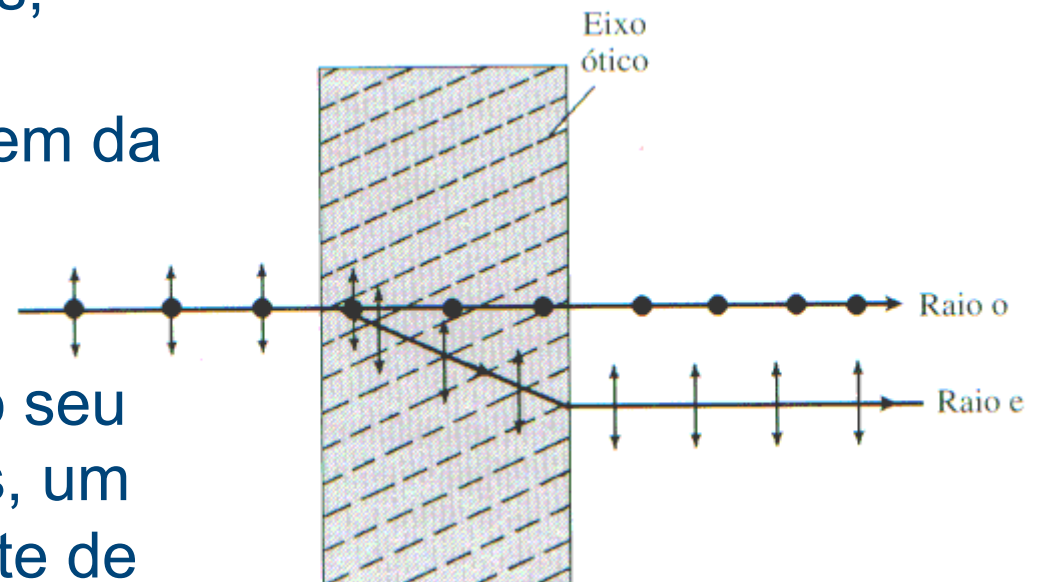
Parâmetro	200g/L	400g/L
$\alpha C^\gamma L$	9,54(24)	17,29(24)
$\theta_0$	92,6(9)	82,0(9)
$\chi_{red}^2$	1,09	0,14



Parâmetro	200g/L	400g/L
$\alpha C^\gamma L$	9,11(24)	18,20(24)
$\theta_0$	89,6(9)	87,8(9)
$\chi_{red}^2$	0,44	0,70

# birrefringência

- Alguns materiais, principalmente cristais, possuem índices de refração que dependem da polarização da luz.
- Assim, uma luz tem o seu feixe dividido em dois, um para cada componente de polarização



# Placas de $\frac{1}{4}$ de onda

- Assim, o campo elétrico na saída da placa

$$\vec{E} = E_o \cos(kx - \omega t) \hat{o}$$

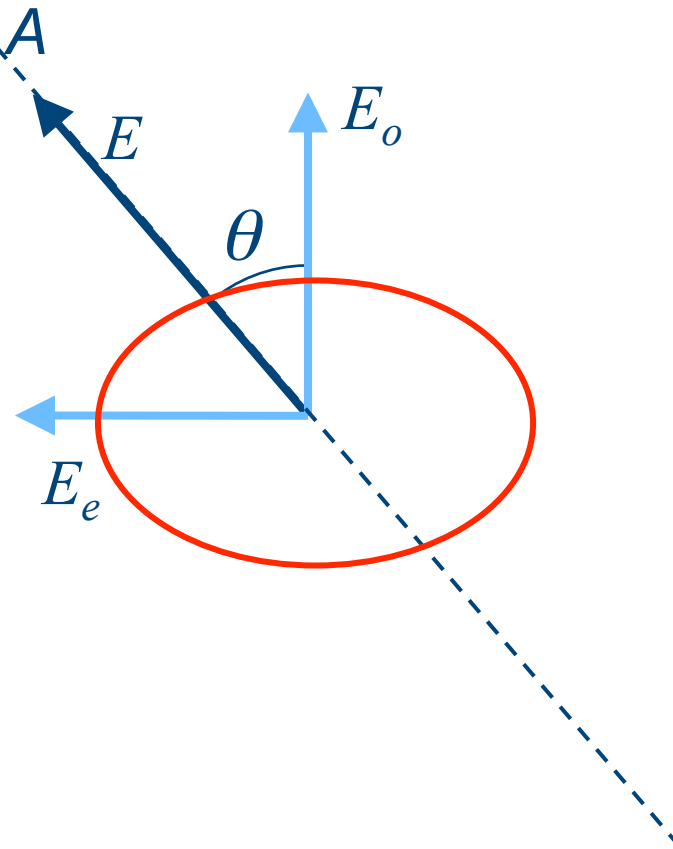
$$+ E_e \cos(kx - \omega t + \frac{\pi}{2}) \hat{e}$$

- Ou seja:

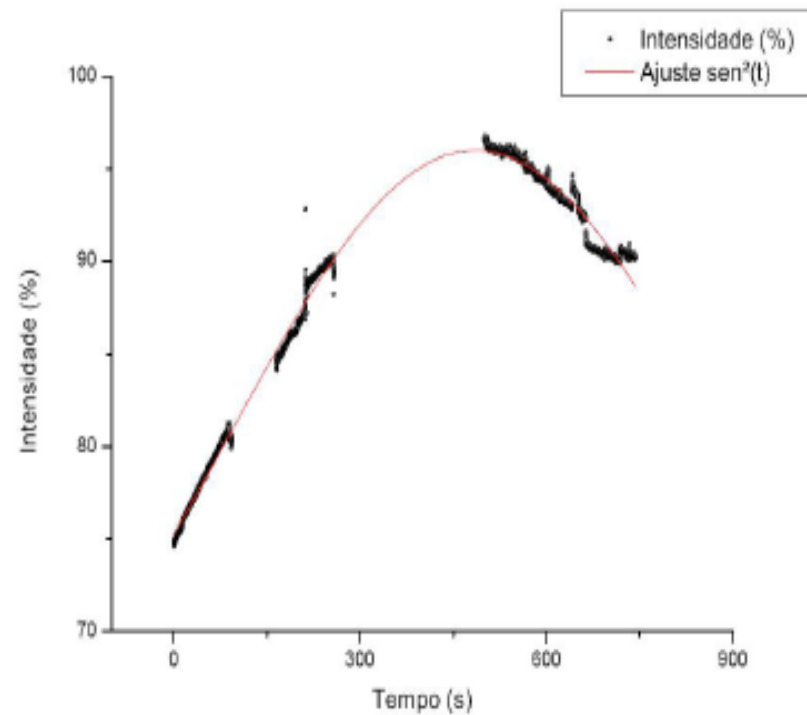
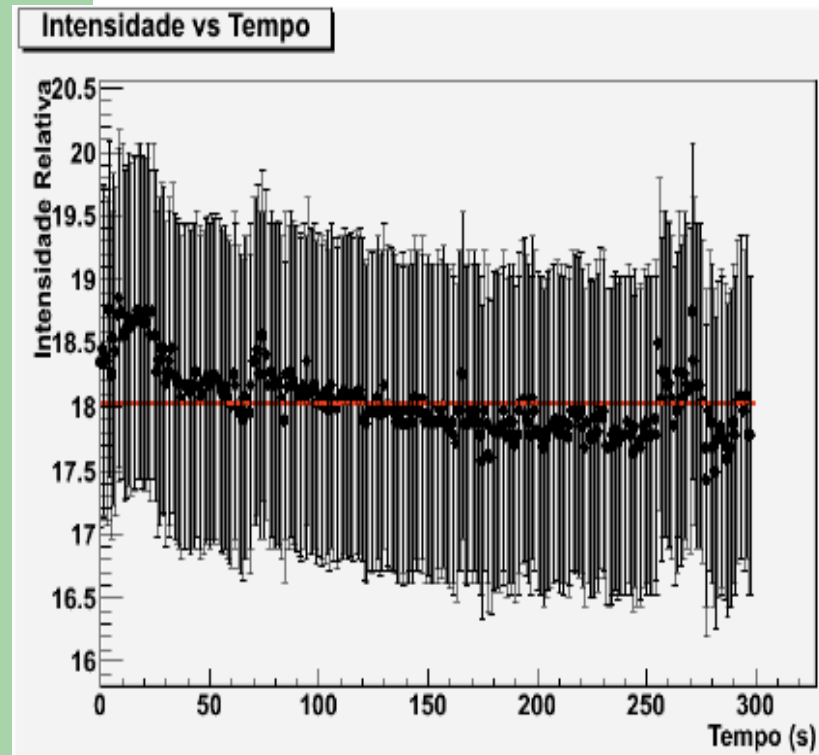
$$\vec{E} = E_o \cos(kx - \omega t) \hat{o}$$

$$+ E_e \sin(kx - \omega t) \hat{e}$$

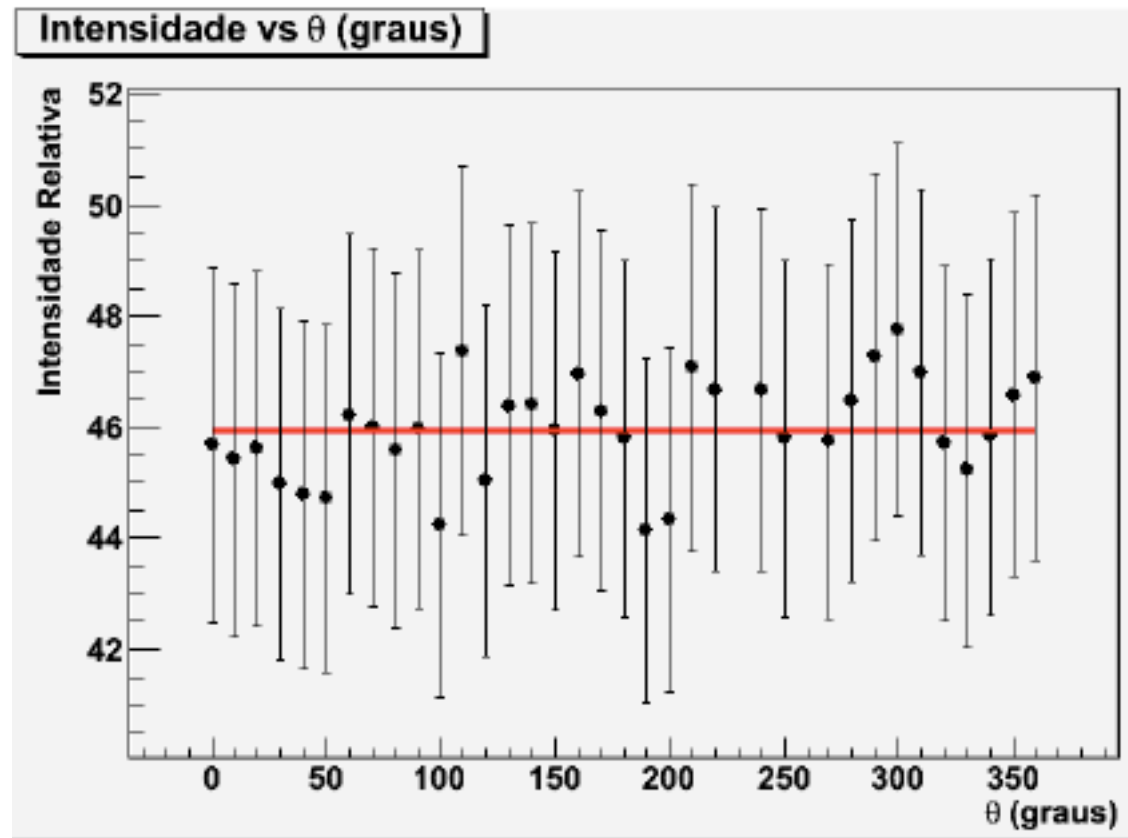
- A onda que era inicialmente polarizada torna-se elipticamente polarizada



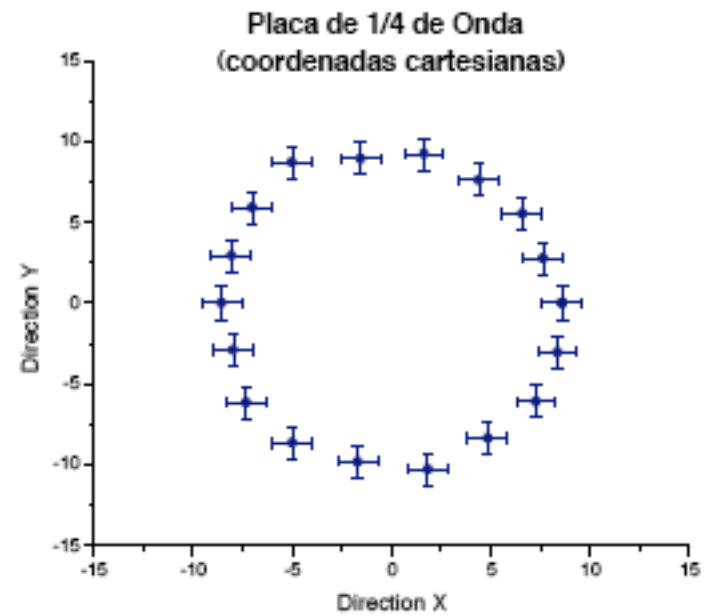
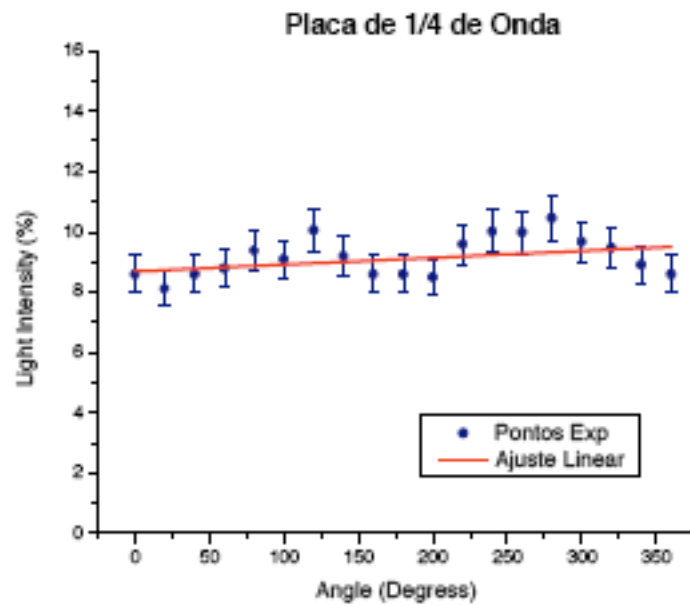
# Estabilidade do laser



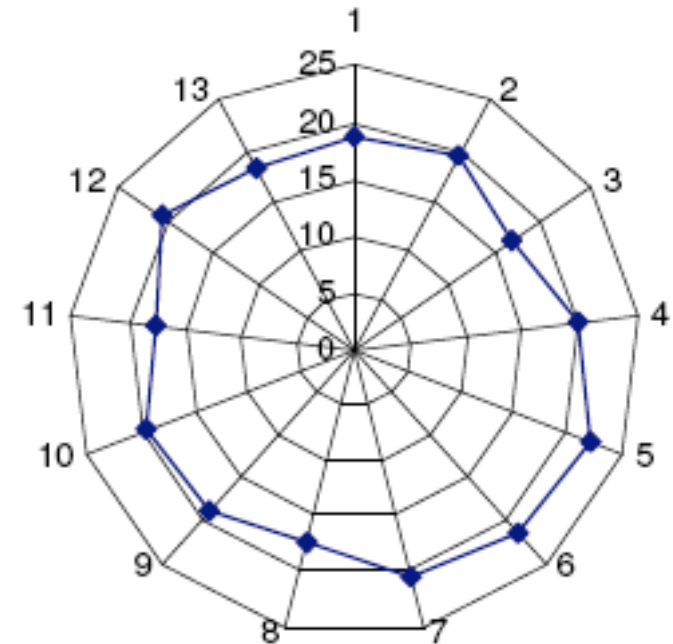
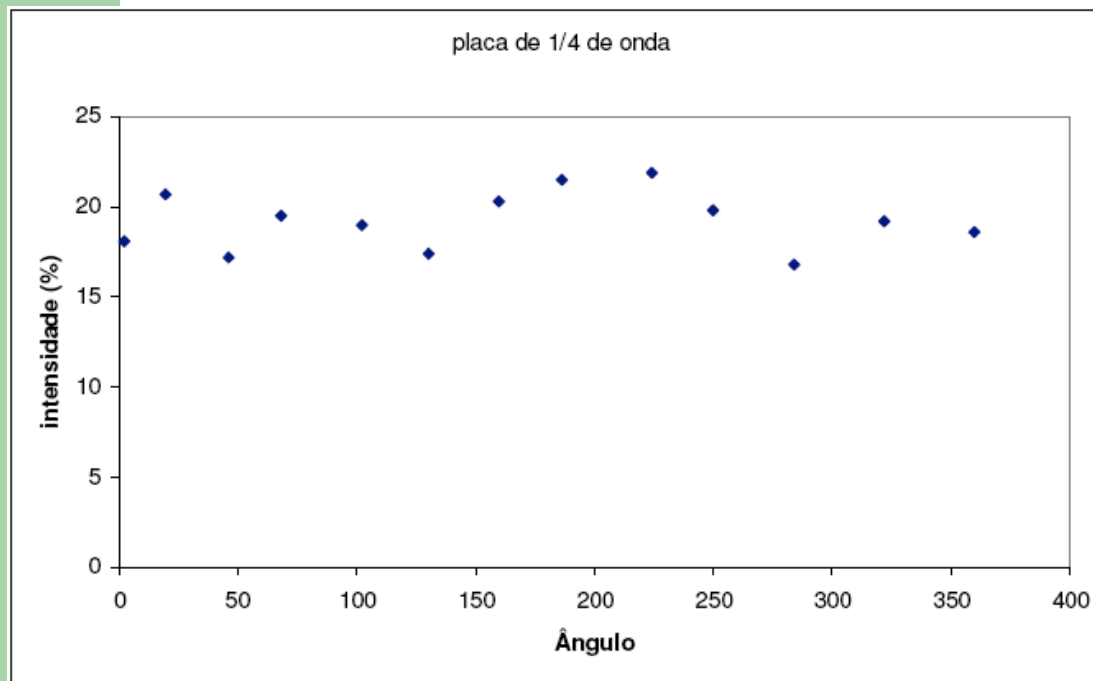
# Resultados



# Resultados

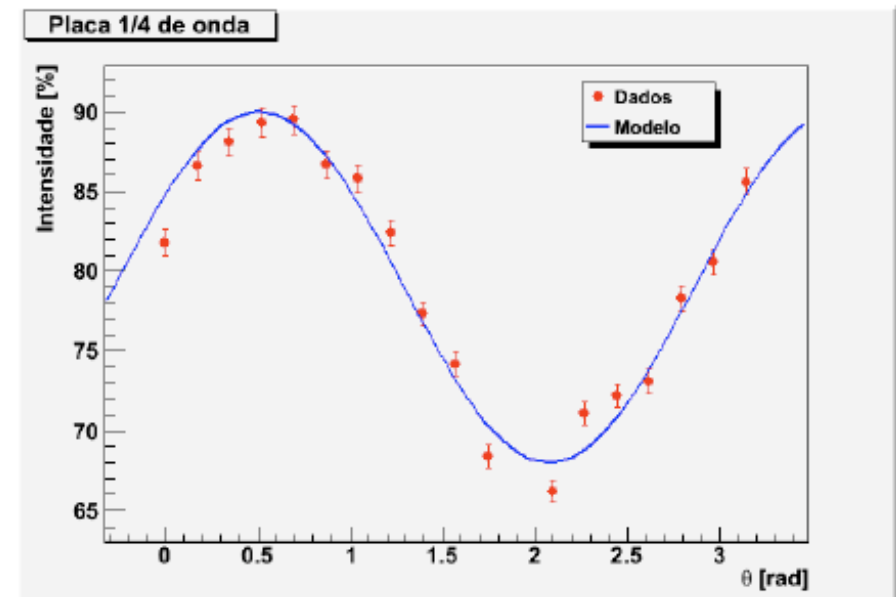
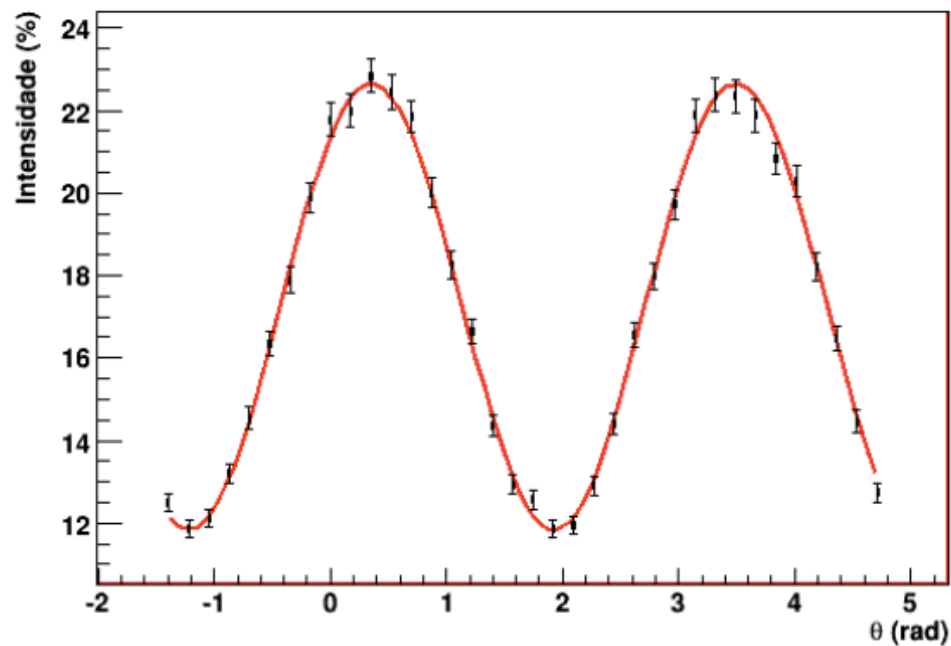


# Resultados



$$I = I_0^x \cos^2(\theta + \theta_0) + I_0^y \sin^2(\theta + \theta_0) + F$$

## E quando não é constante?





## E quando não é constante?

- Polarizador 1 não está em  $45^\circ$

$$\vec{E} = E_o \cos(kx - \omega t)\hat{o} + E_e \sin(kx - \omega t)\hat{e}$$

- Se a placa não é idealmente de  $\frac{1}{4}$  de onda

$$\vec{E} = E(\cos(kx - \omega t)\hat{o} + \sin(kx - \omega t + \phi)\hat{e})$$

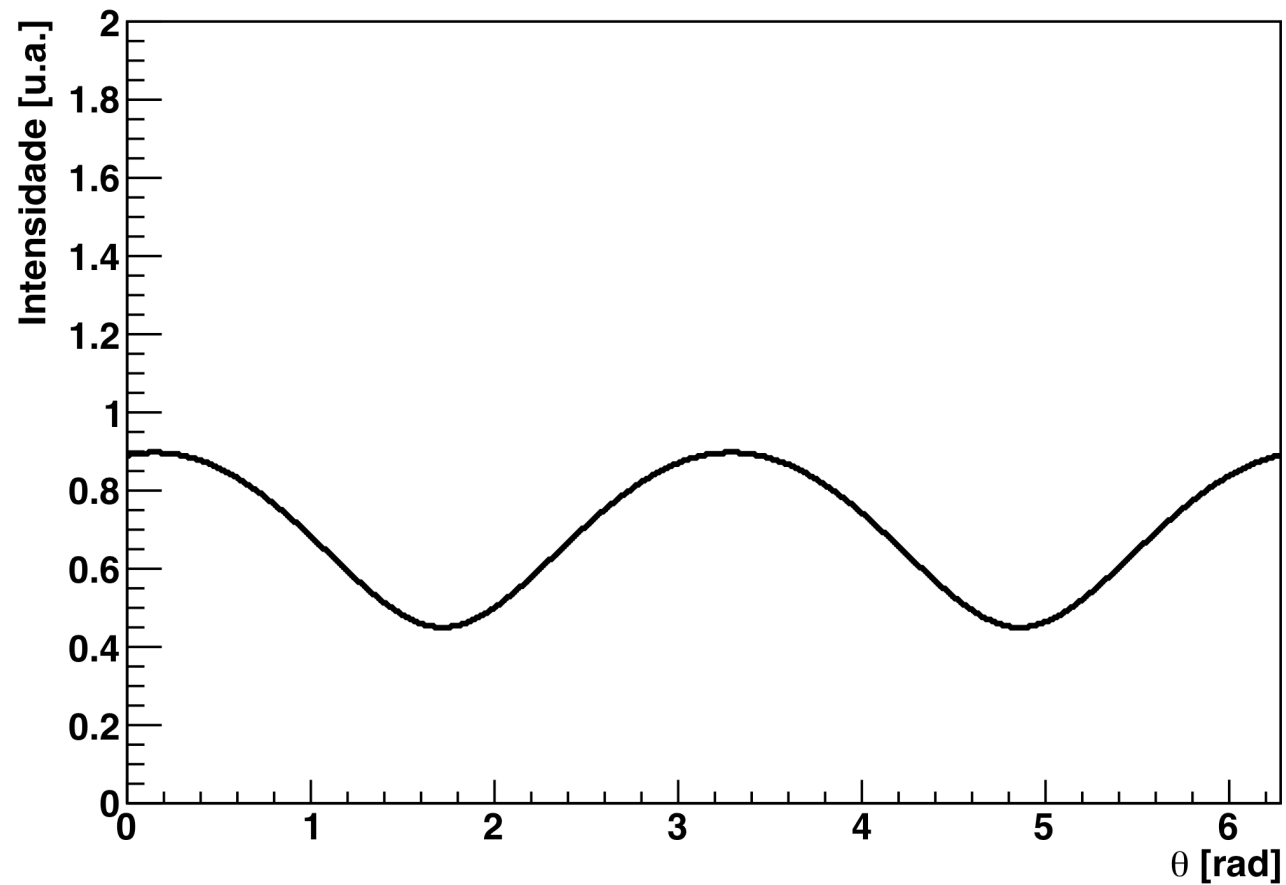
- Os dois efeitos juntos

$$\vec{E} = E_o \cos(kx - \omega t)\hat{o} + E_e \sin(kx - \omega t + \phi)\hat{e}$$

- Como separar os dois efeitos?

# E quando não é constante?

P1 em 30 graus e Placa de onda com defasagem extra de  $\pi/8$



## E quando não é constante?

- Polarizador 1 não está em  $45^\circ$

$$\vec{E} = E_o \cos(kx - \omega t)\hat{o} + E_e \sin(kx - \omega t)\hat{e}$$

- Se a placa não é idealmente de  $\frac{1}{4}$  de onda

$$\vec{E} = E(\cos(kx - \omega t)\hat{o} + \sin(kx - \omega t + \phi)\hat{e})$$

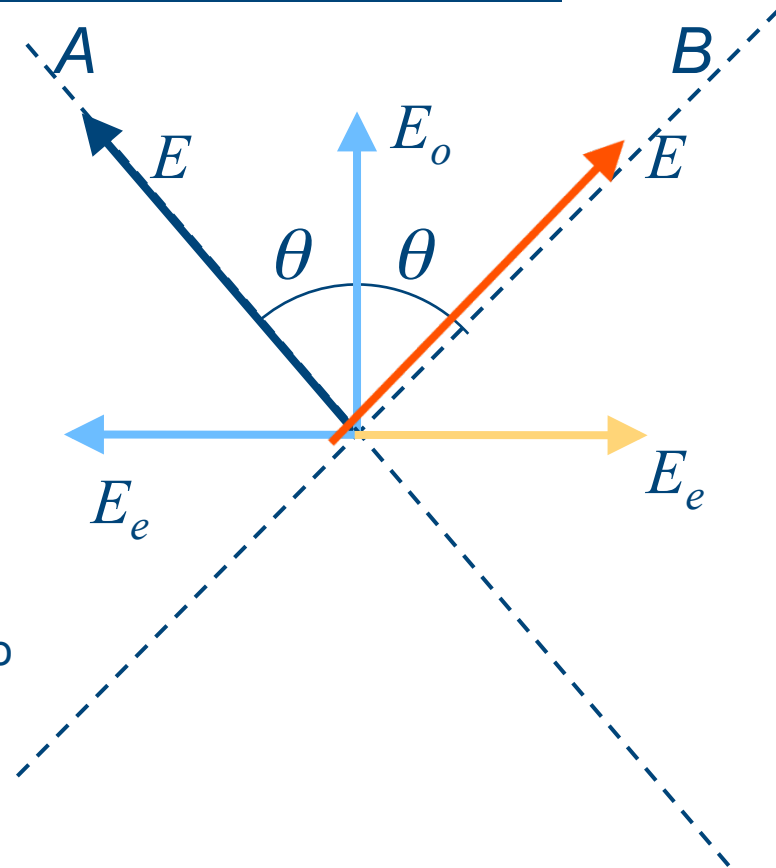
- Os dois efeitos juntos

$$\vec{E} = E_o \cos(kx - \omega t)\hat{o} + E_e \sin(kx - \omega t + \phi)\hat{e}$$

- Como separar os dois efeitos? Bom senso!!!

# Placas de $\frac{1}{2}$ onda

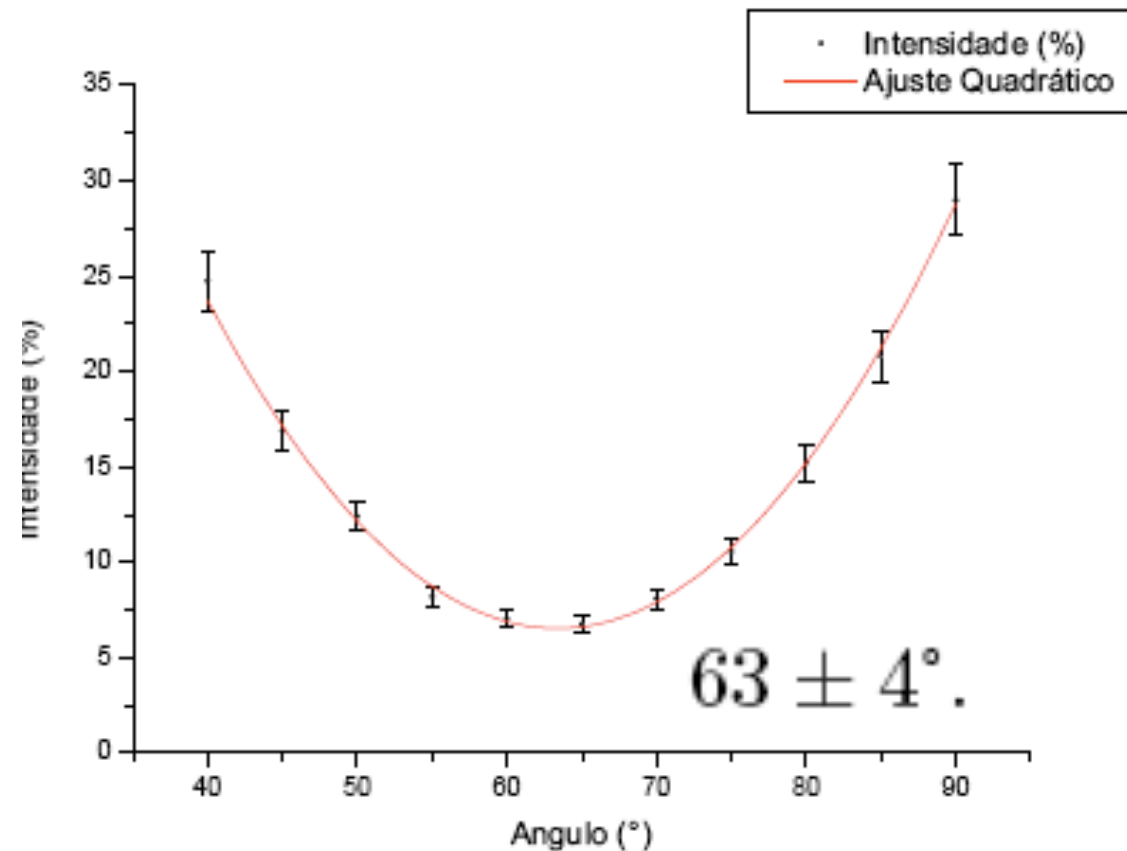
- Vamos ver as componentes do campo elétrico na entrada da placa
  - O campo elétrico está sempre oscilando ao longo da linha A
- E na saída a componente  $e$  está defasada de meia onda relativamente à componente  $o$ .
  - O campo elétrico vai oscilar ao longo da reta B
  - Ou seja, a placa de  $\frac{1}{2}$  onda gira o campo elétrico de  $2\theta$ .



primeiro polarizador fixo em  $30 \pm 2^\circ$ .

Se houvesse a rotação de 2 o campo elétrico estaria no ângulo de  $150 \pm 2^\circ$  e seu mínimo a  $90^\circ$  disso, isto é, a  $60 \pm 2^\circ$ .

## Resultados



# Avisos

- Laboratório disponível esta semana para refazer medidas.
- Apresentação e relatório próxima semana.
- $A+B$  = conversar nota, se quiserem.