

Física Experimental IV - 12ª aula
<http://www.dfn.if.usp.br/~suaide/>

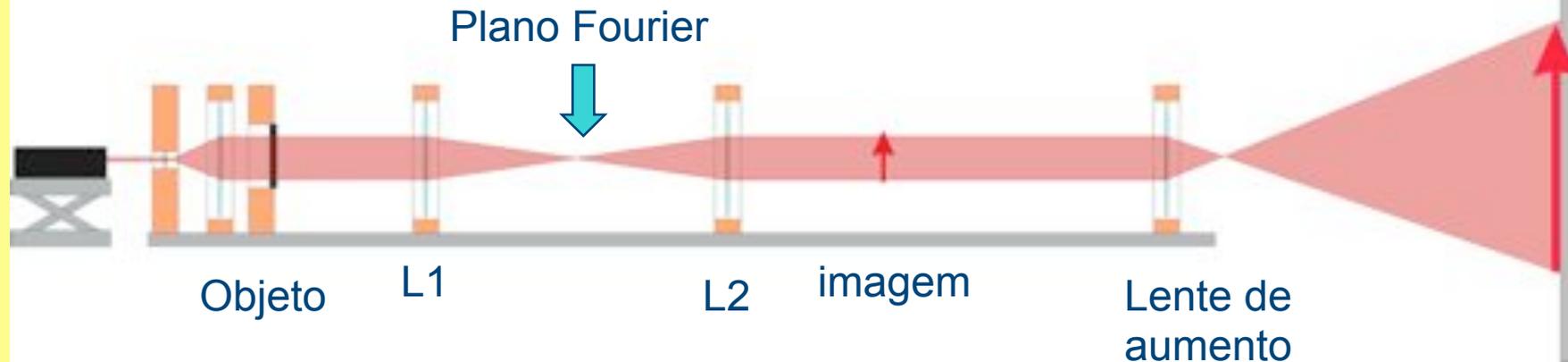
Alexandre Suaide
Ed. Oscar Sala

sala 246
ramal 7072

Filtragem de imagens por T.F.

- Semana passada

- Vários filtros: Fenda ajustável, fio de cobre, orifício
- Use vários destes filtros. Quais frequências estão sendo filtradas?



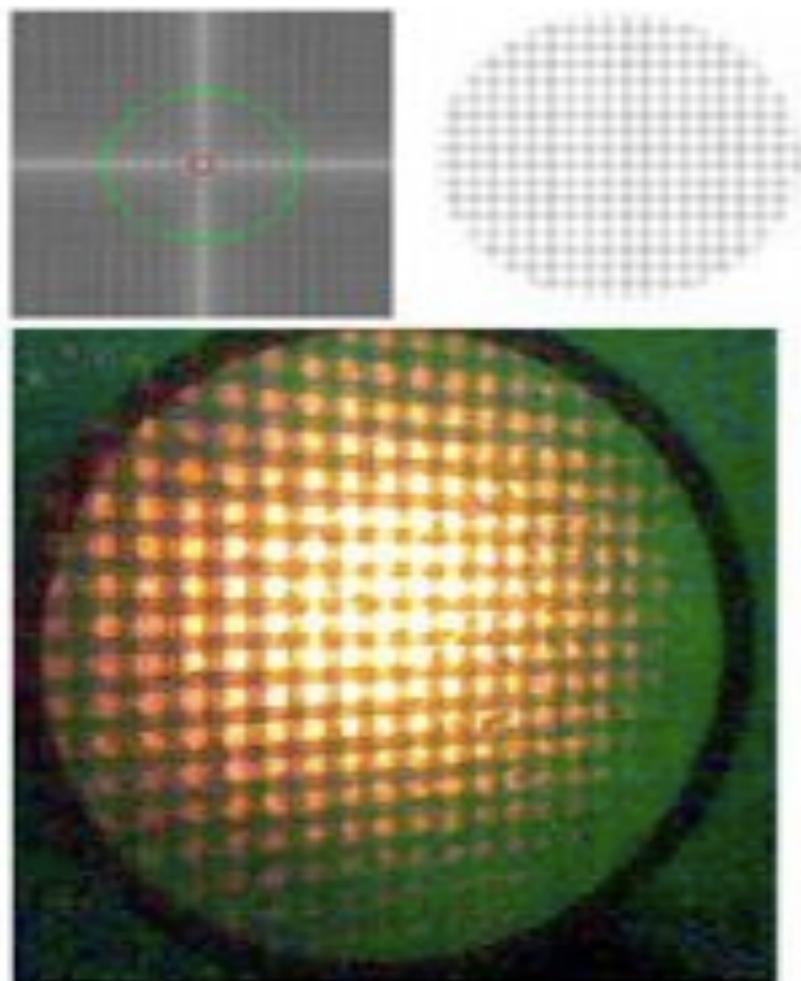


Figura 2: Simulação no programa ImageJ do problema no filtro plástico. Na imagem de esquerda, observamos a área da figura que podia passar pela fenda (em verde), claramente maior que a desejada (em vermelho) e na figura da esquerda, uma simulação do resultado observado, para comparação com a imagem de baixo, o resultado experimental

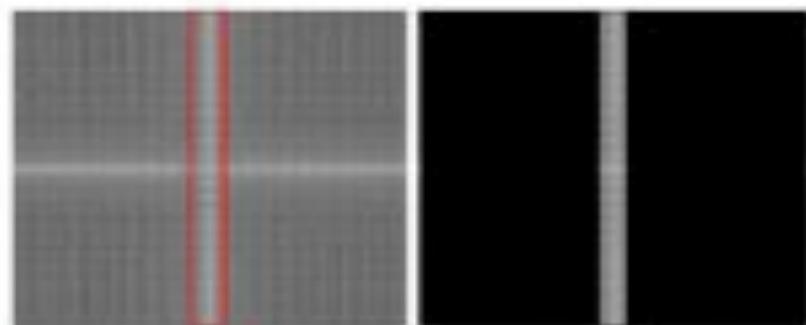


Figura 3: A imagem de esquerda mostra a transformada a imagem do malha obtida como software ImageJ. A direita, a imagem do que a fenda permite passar.

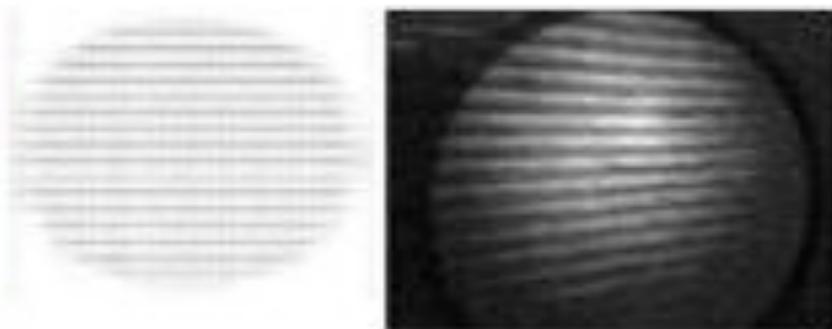


Figura 4: (esquerda) Resultado da transformada inversa da imagem através da fenda simulada no ImageJ. (direita) Imagem obtida no computador óptico usando a fenda vertical como filtro.

A compatibilidade das duas imagens mostra que é possível fazer tratamento de imagens no plano de Fourier aplicando simulações de filtros na transformada da imagem o que torna a filtragem no PF muito mais simples e mais rápida.

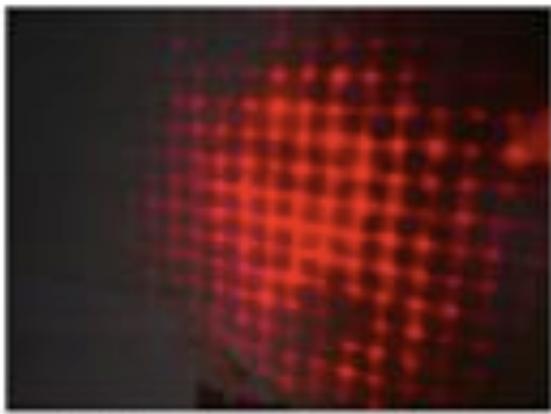


Figura 1. Figura de transformada Fourier de um quadrado [10].

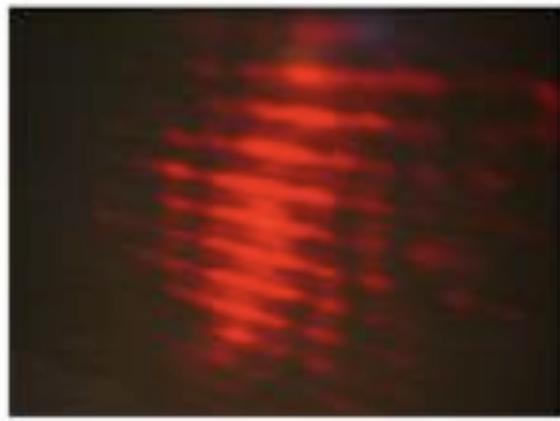


Figura 2. Figura de transformada Fourier de um círculo [10].

Resolva a Equação (1) e use transformada de Fourier (2) para:

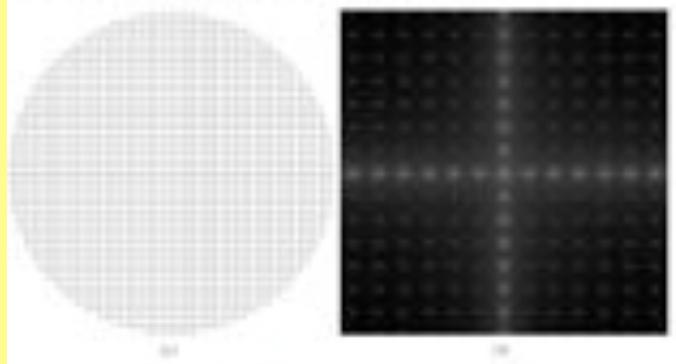


Figura 3. Transformada de Fourier (a) e sua transformada de Fourier (b) no tempo.

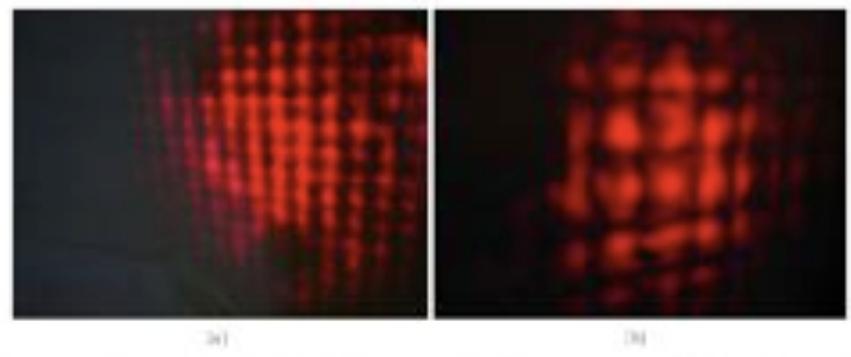


Figura 4. Figuras de transformada filtrada pelo colchete circular com diferentes fontes de entrada.

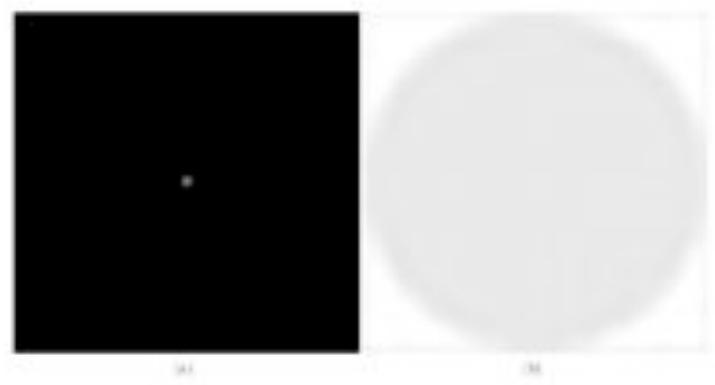


Figura 5. Transformada de Fourier de quadrado com o colchete circular (a) e sua inversa (b) no tempo.

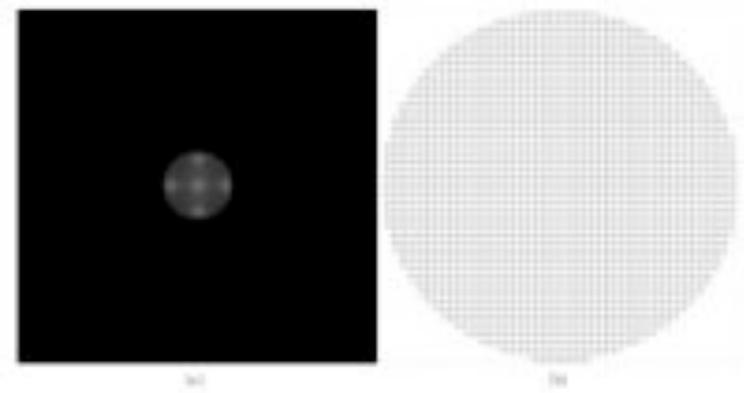


Figura 6. Transformada de Fourier de quadrado com o colchete circular grande (a) e sua inversa (b) no tempo.



Figura 5 – Transformada Inversa da grade quadriculada depois de passar por um orif.

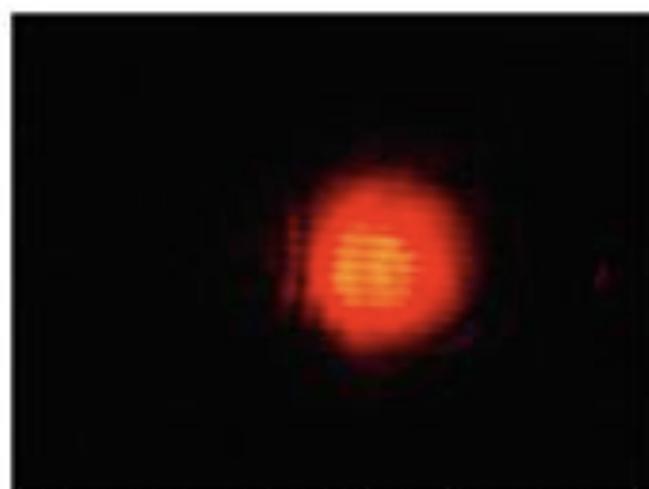


Figura 8 – Transformada Inversa da grade quadriculada depois de passar por uma fenda vertical.

Para simular uma fenda vertical no ImageJ foi deixada somente a linha vertical da FFT da grade quadriculada.

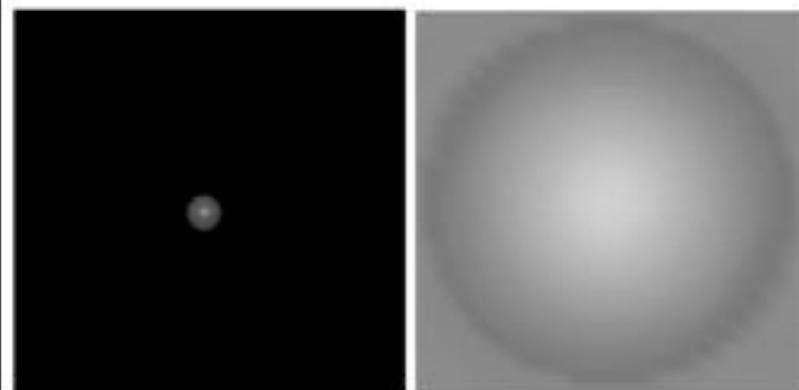


Figura 6 – Simulação do orifício circular como filtro e sua transformada inversa, caso1.

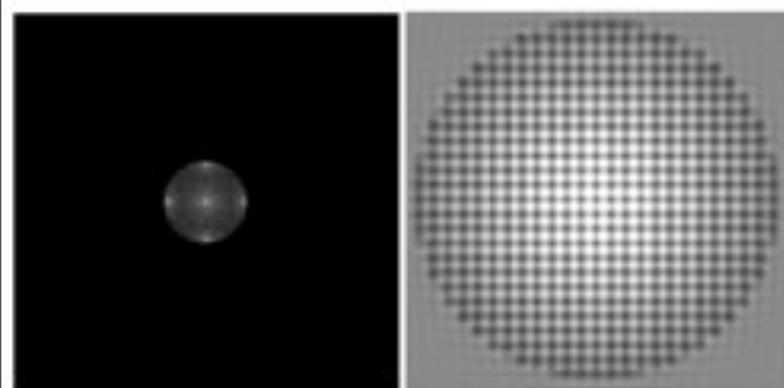


Figura 7 – Simulação do orifício circular como filtro e sua transformada inversa, caso2.

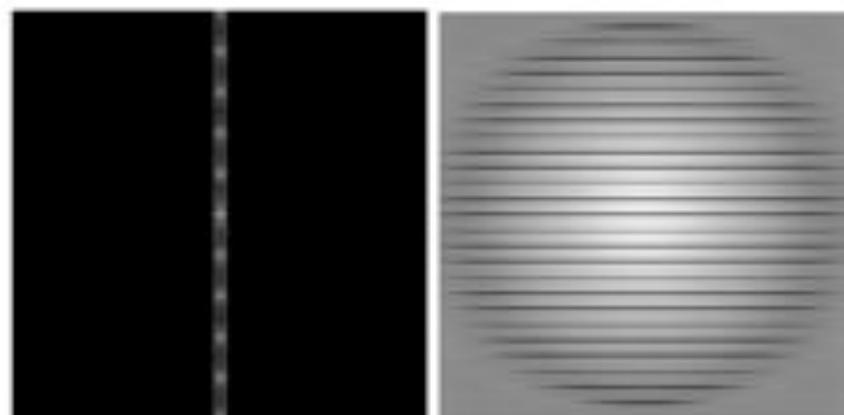
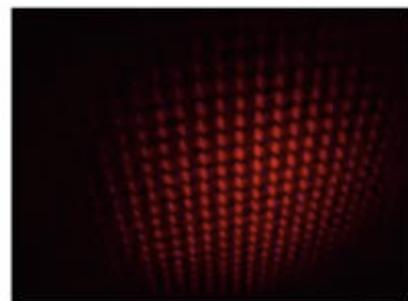
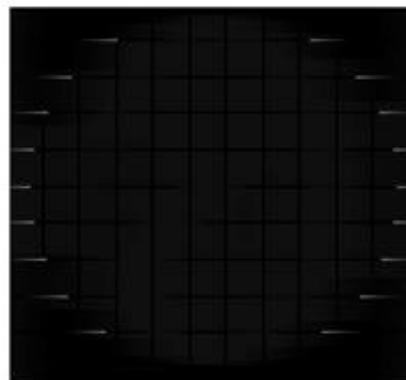
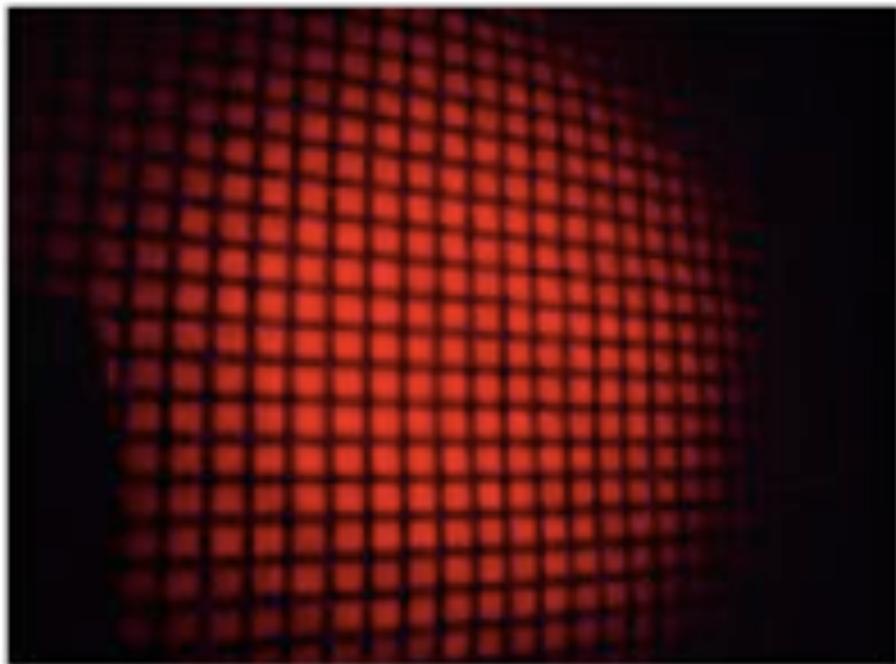


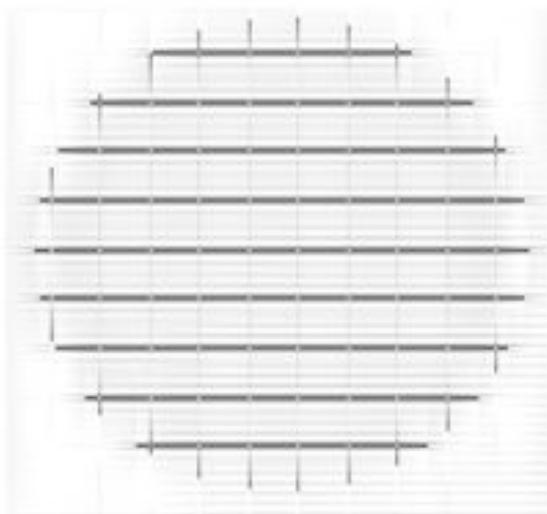
Figura 9 – Simulação da fenda como filtro e sua transformada inversa.



(a) Previsão teórica

(b) Incidência experimental

Figura 6: Resultados com o filtro do fio de cobre.



(a) Previsão teórica

(b) Incidência experimental

Figura 5: Resultados com o filtro da fenda simples.

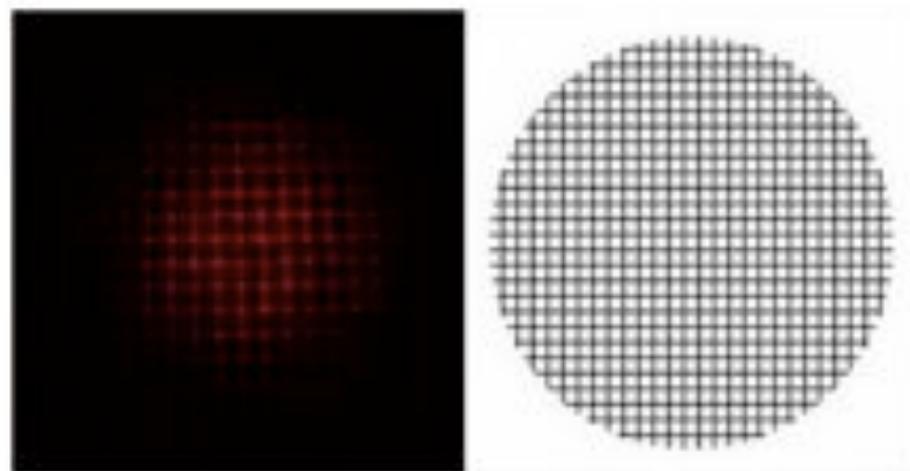


Figura 5: Imagem obtida aplicando o filtro circular.

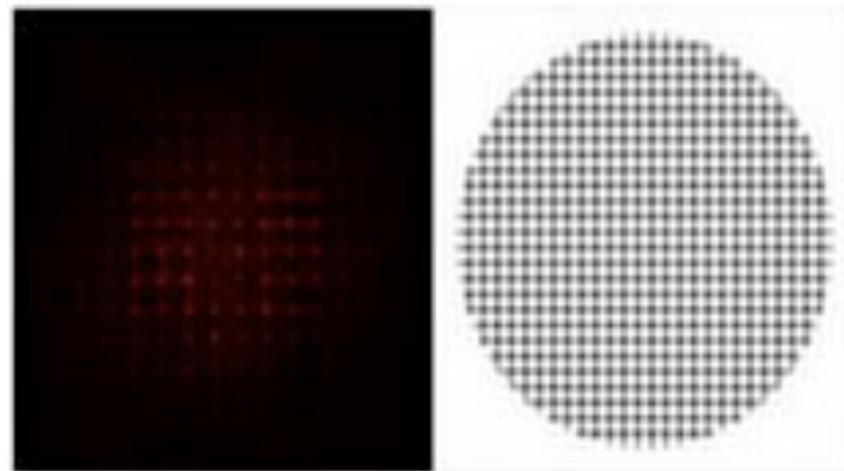


Figura 7: O fio de cobre foi colocado na diagonal, eliminando tais frequências da transformada.

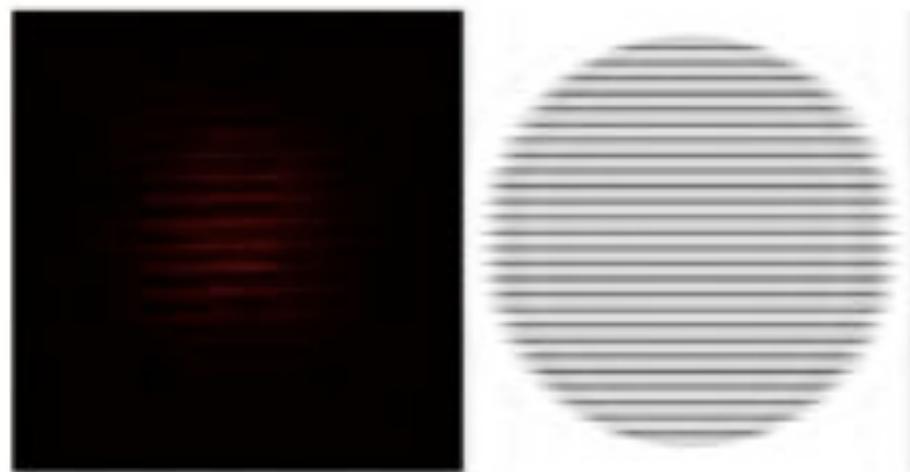


Figura 6: Colocando a lenha no plano de Fourier, obtém-se imagem como esta



Figura 8: Modificações feitas nas transformadas para obter as imagens simuladas. Procurou-se retirar as mesmas frequências que os filtros retiravam

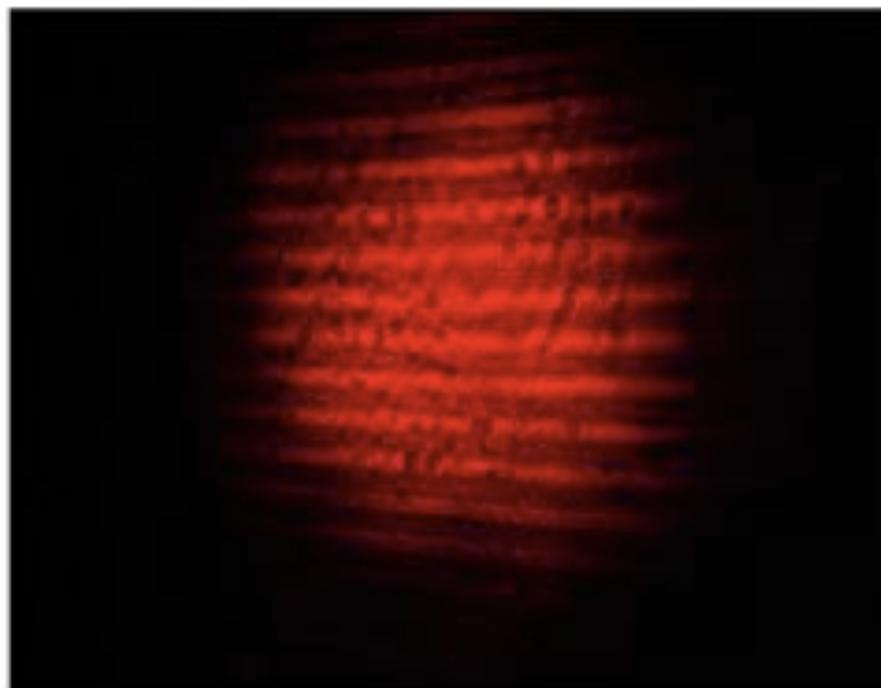


Figura 1.1: Foto da imagem obtida filtrando-se as demais componentes da transformada de Fourier do objeto, com exceção da componente vertical.

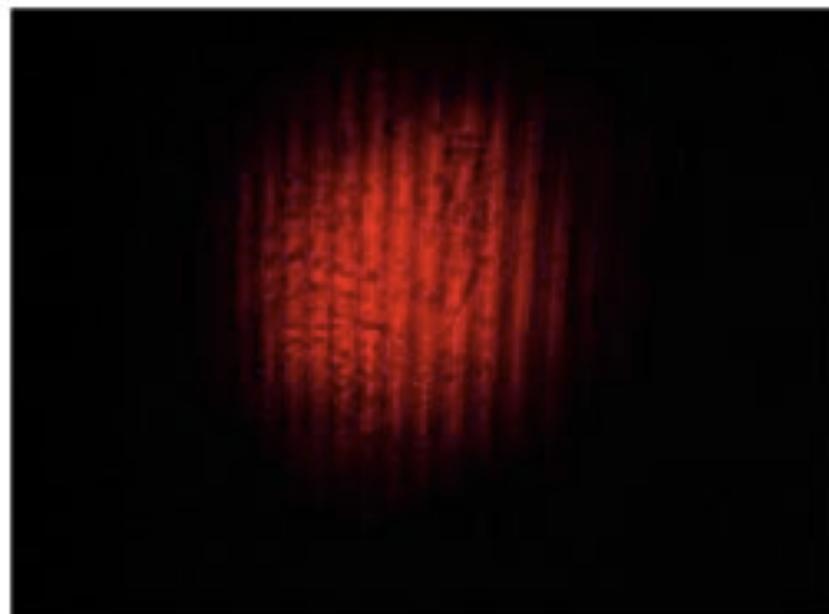


Figura 1.2: Foto da imagem obtida filtrando-se as demais componentes da transformada de Fourier do objeto, com exceção da componente horizontal.

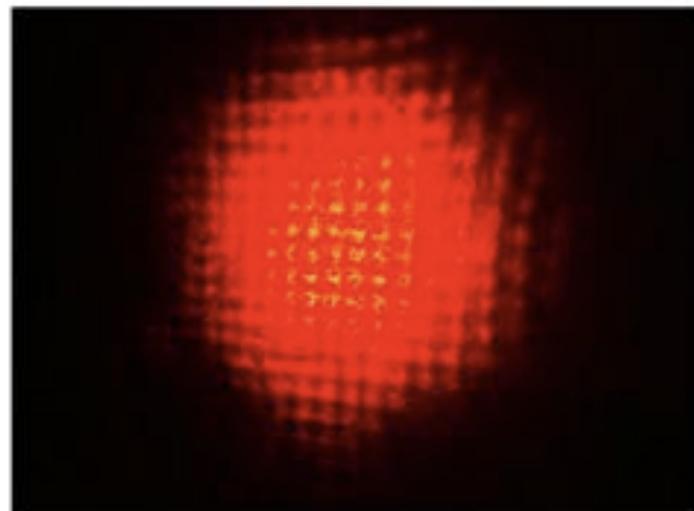
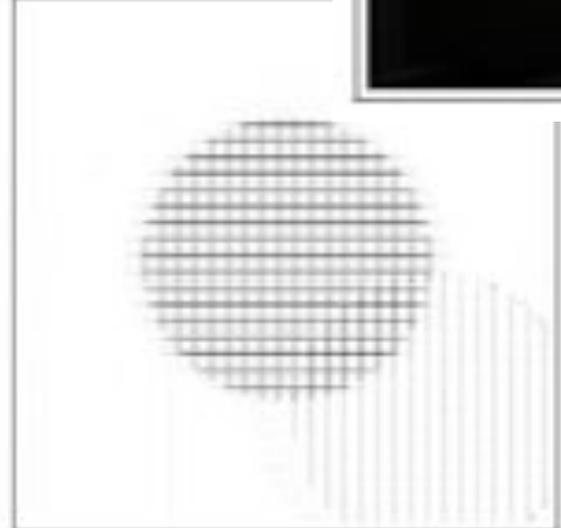
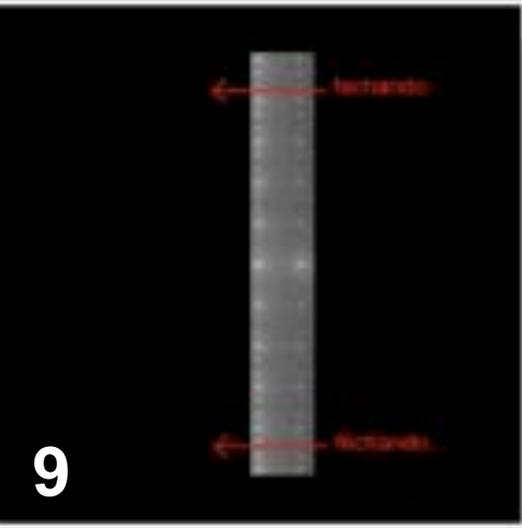
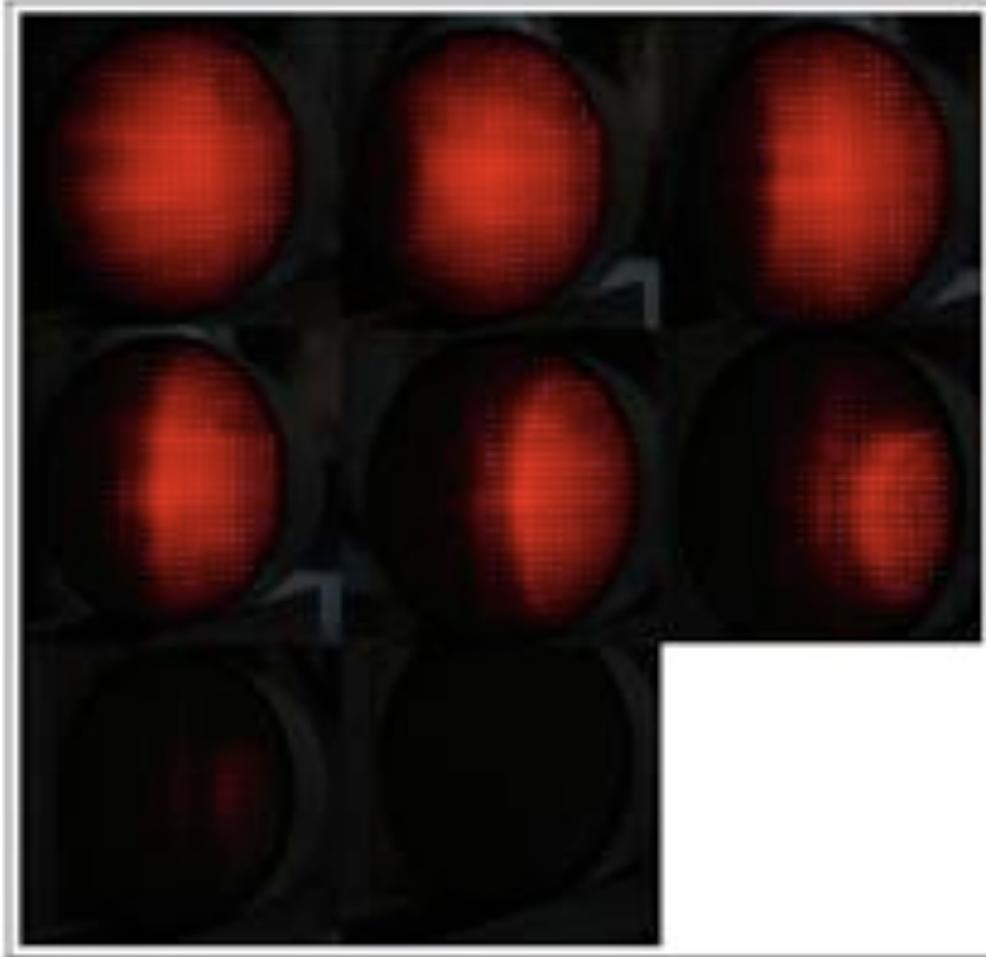
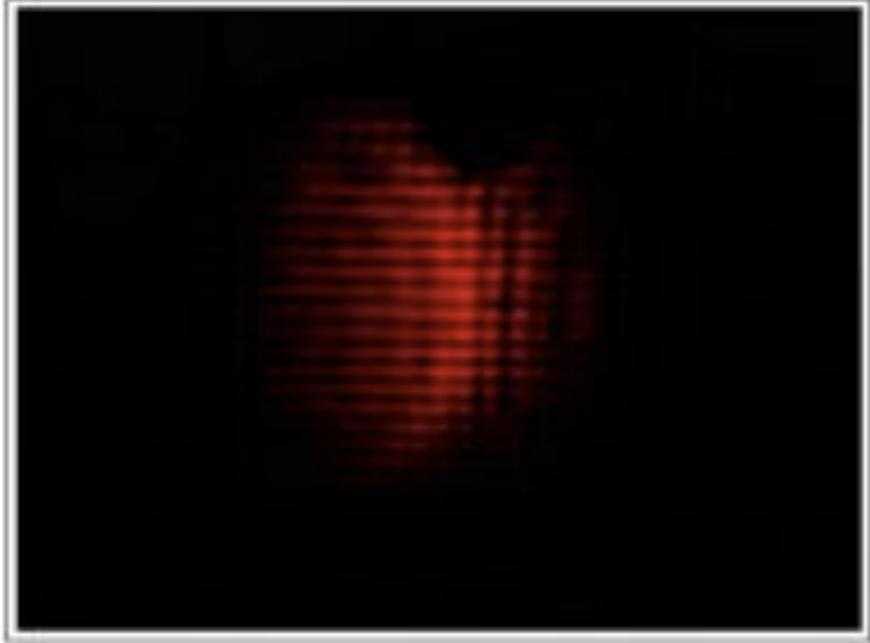


Figura 2.1: Foto da imagem obtida filtrando-se as demais componentes da transformada de Fourier do objeto, com exceção de um pequeno orifício circular central.



LabFi

Relatório

- Prazo: daqui a 10 dias (19/6)
 - Máximo 10 páginas
 - Foquem no computador óptico. Lembrem-se que tudo que estudamos (lentes, difração, etc) foi com o objetivo de investigar filtragem de imagens com T.F.
 - Grupos c/ 3 sínteses A's me procurem (caso queiram) para discutir nota até sexta-feira (13/6)

Experiência III - Polarização da luz

- Objetivos – Estudar o fenômeno de polarização da luz
 - Aula 1 – Lei de Malus
 - Aula 2 – Polarização por reflexão
 - Ângulo de Brewster
 - Aula 3 – Atividade óptica de elementos
 - Estudo da birrefringência em soluções de açúcares

A natureza da Luz

A natureza da Luz

- O estudo de trajetórias de raios luminosos, em geral, é bem descrita pela óptica geométrica
 - Lentes, espelhos, etc.
- Por conta disto, durante muito tempo, a teoria para a luz de Newton foi bem aceita

A natureza da Luz

- O estudo de trajetórias de raios luminosos, em geral, é bem descrita pela óptica geométrica
 - Lentes, espelhos, etc.
- Por conta disto, durante muito tempo, a teoria para a luz de Newton foi bem aceita
- Porém, as experiências de Young e Fresnel no início dos anos de 1800 revelaram os efeitos de interferência e difração da luz

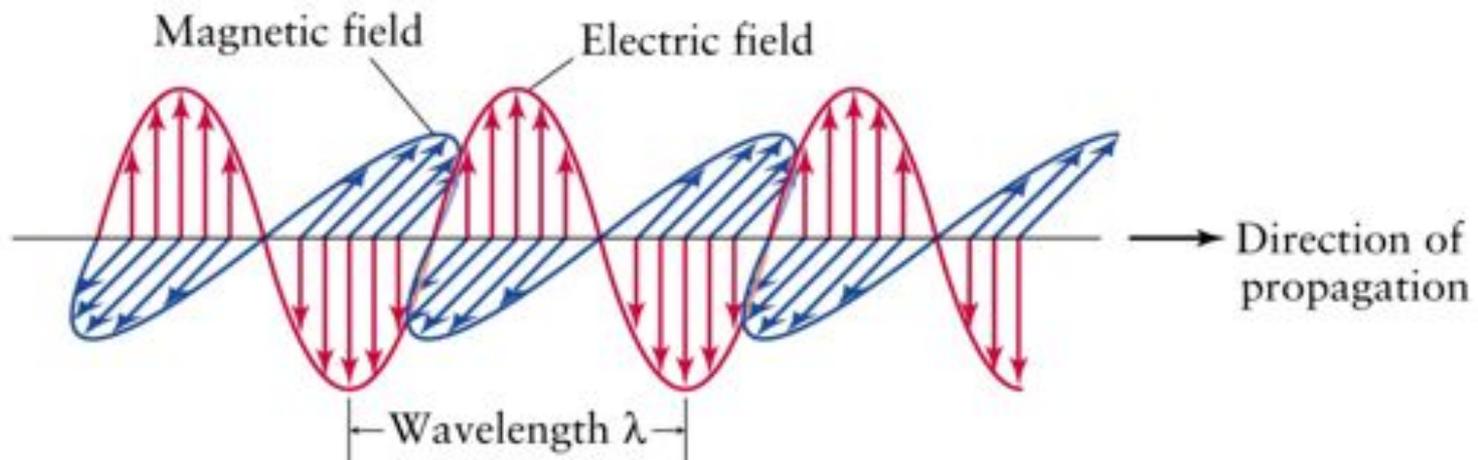
A natureza da Luz

A natureza da Luz

- Interferência e difração
 - A luz se comporta como uma onda
- Que tipo de onda?
 - A observação de fenômenos de polarização indicam que a luz é uma onda transversal
 - Os estudos de Maxwell (1864) mostraram que campos eletromagnéticos se propagam com velocidade da luz e que todos os fenômenos luminosos se aplicam
 - A luz é uma onda eletromagnética

Ondas transversais

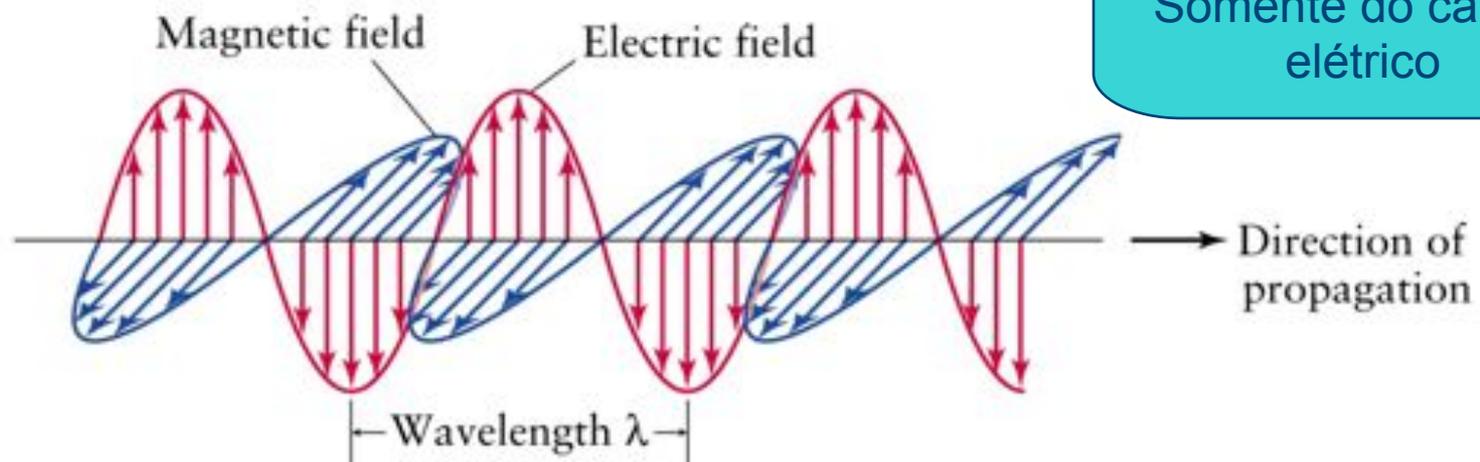
- São aquelas nas quais as suas vibrações são perpendiculares à direção de propagação
- A luz é formada por um campo elétrico e magnético transversais e variantes no tempo
 - A variação de E gera B



Ondas transversais

- São aquelas nas quais as suas vibrações são perpendiculares à direção de propagação
- A luz é formada por um campo elétrico e magnético transversais e variantes no tempo
 - A variação de E gera B

Por conta disto, vamos Falar, daqui por diante, Somente do campo elétrico



Polarização da luz

Polarização da luz

- Efeito característico de ondas transversais

Polarização da luz

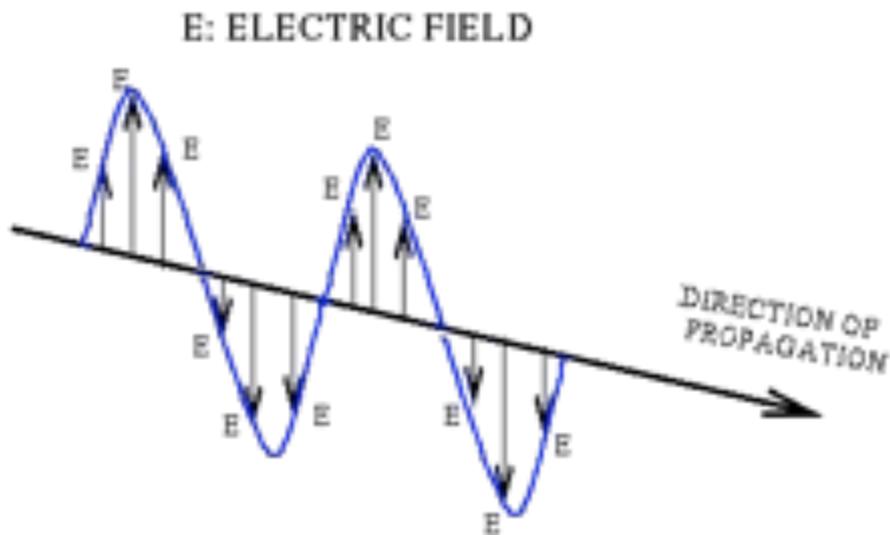
- Efeito característico de ondas transversais
- No caso da luz, a direção de polarização é aquela do campo elétrico

Polarização da luz

- Efeito característico de ondas transversais
- No caso da luz, a direção de polarização é aquela do campo elétrico
- Tipos de polarização:
 - Linear
 - Circular ou elíptica
 - Não polarizada

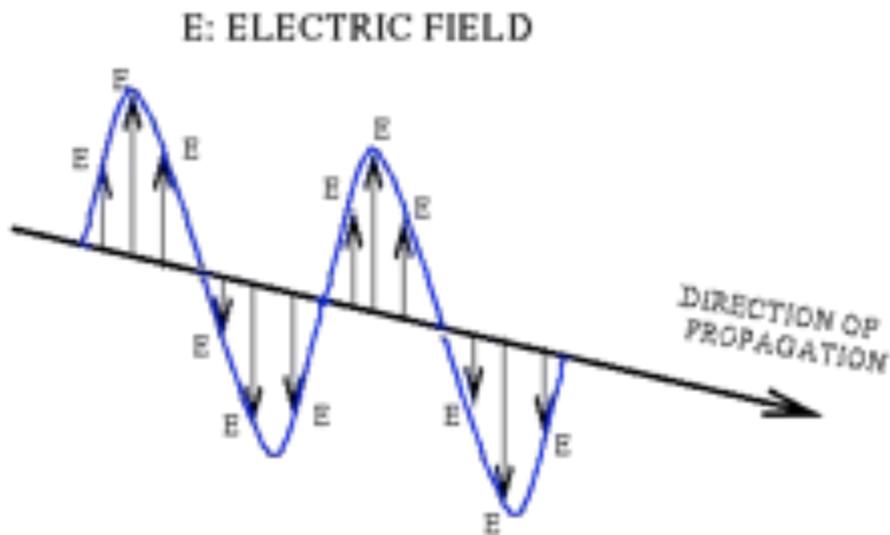
Polarização linear

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



Polarização linear

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

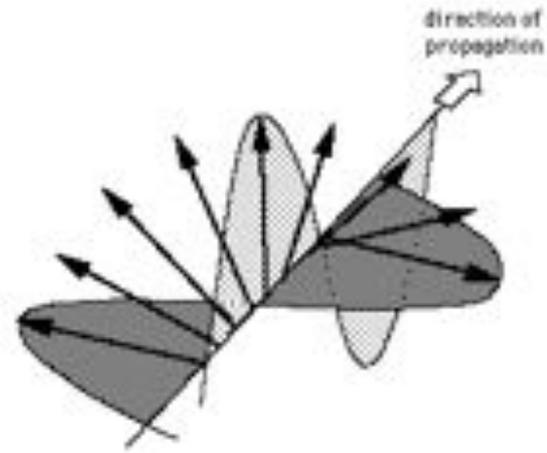
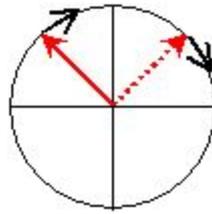


- No caso de uma onda de frequência bem definida, podemos escrever o campo elétrico como:

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

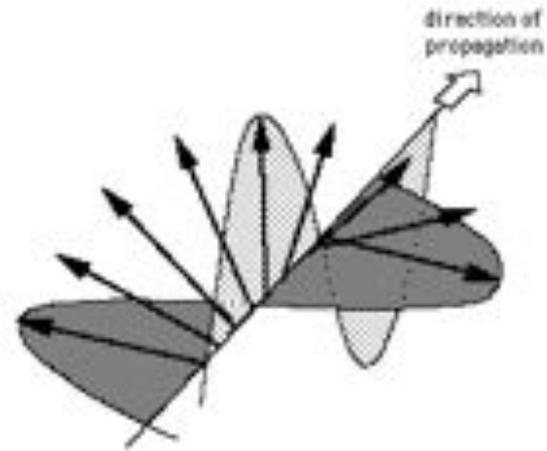
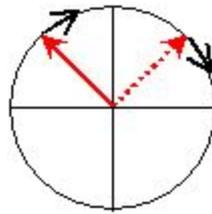
$$k = 2\pi / \lambda$$

$$\omega = 2\pi f$$



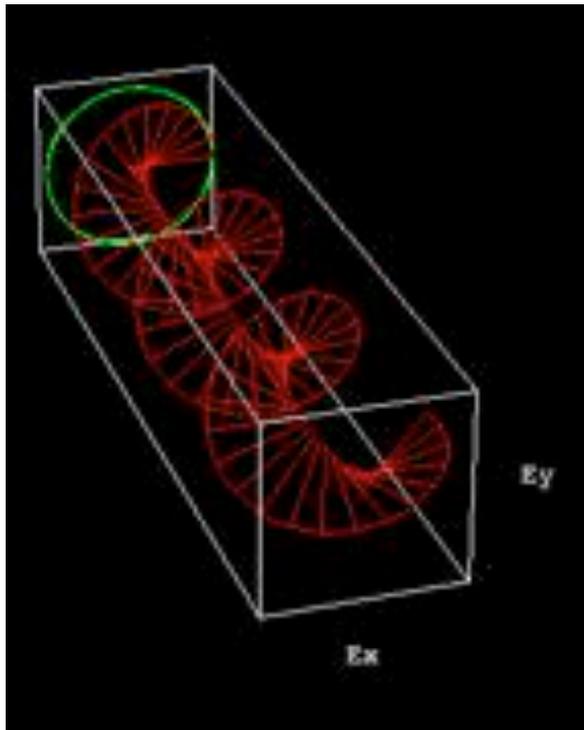
Polarização circular

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

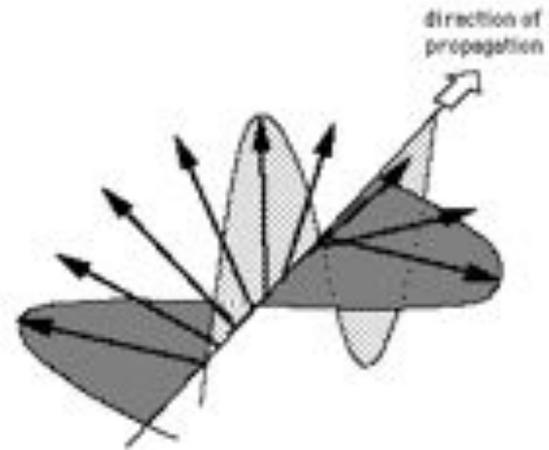
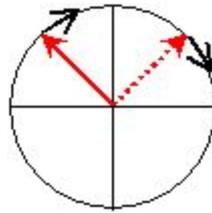


Polarização circular

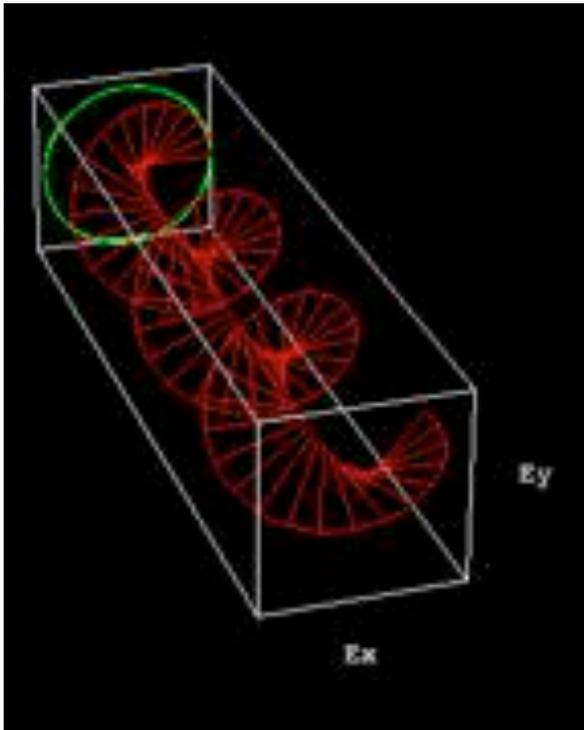
- É aquela na qual a direção do campo elétrico depende do tempo mas a intensidade é constante



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 90° , ou seja:

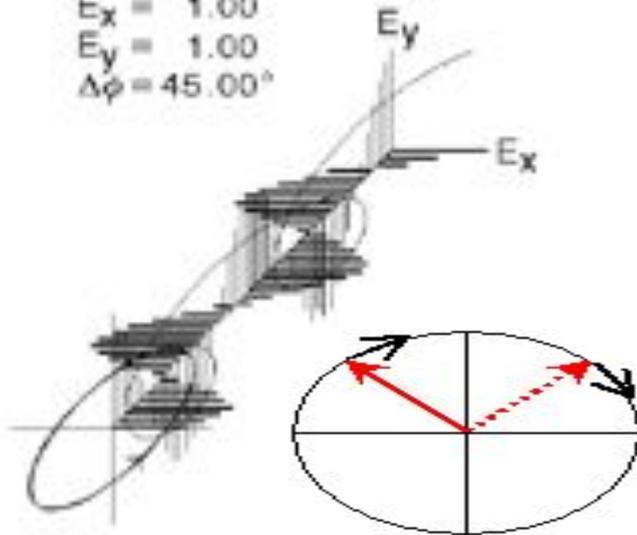
$$\vec{E}(z,t) = E_0 \begin{bmatrix} \cos(kz - \omega t) \hat{j} \\ + \\ \sin(kz - \omega t) \hat{i} \end{bmatrix}$$

Polarização elíptica

- É aquela na qual a direção do campo elétrico depende do tempo, bem como a sua intensidade

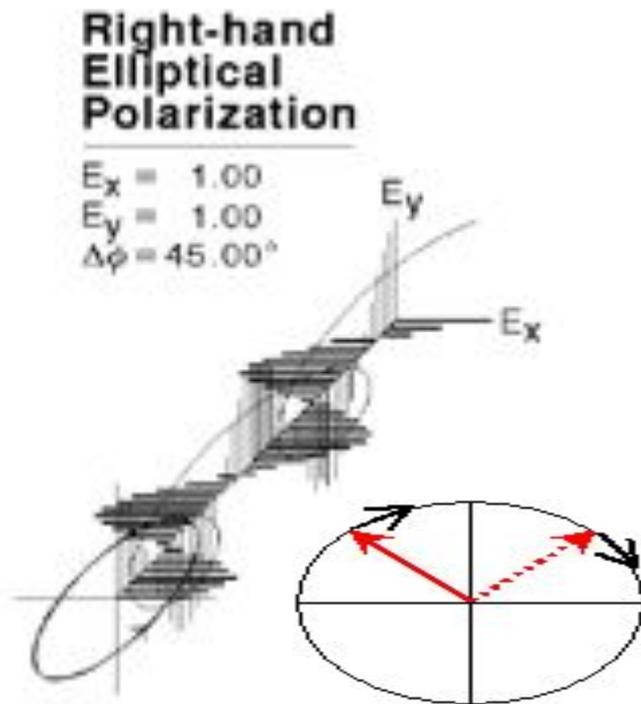
**Right-hand
Elliptical
Polarization**

$$\begin{aligned}E_x &= 1.00 \\E_y &= 1.00 \\ \Delta\phi &= 45.00^\circ\end{aligned}$$



Polarização elíptica

- É aquela na qual a direção do campo elétrico depende do tempo, bem como a sua intensidade



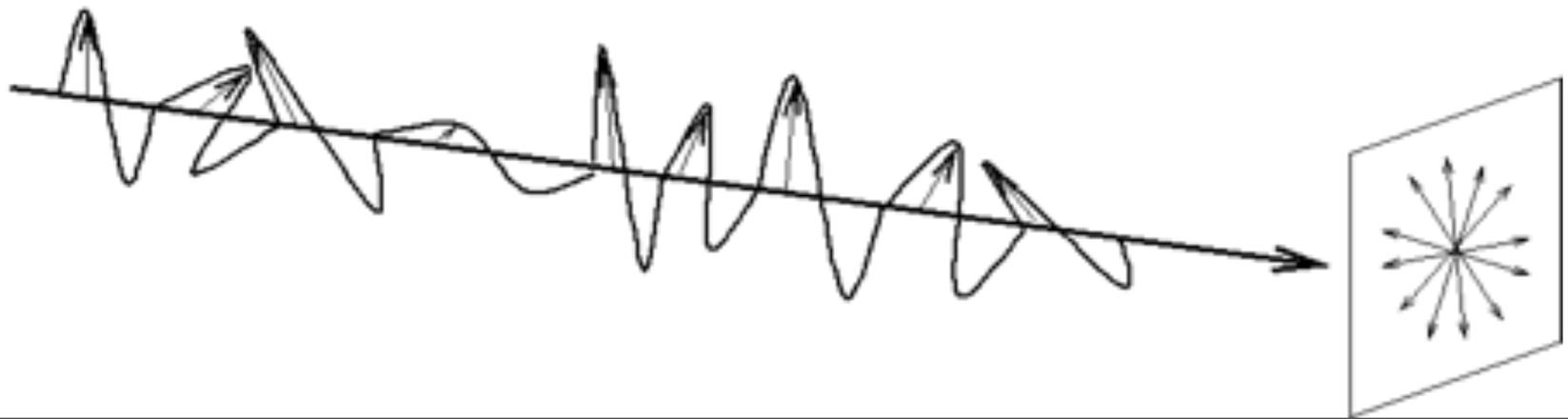
- No caso da polarização circular, podemos escrever o campo elétrico como a superposição de dois campos linearmente polarizados, defasados de 90° , ou seja:

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

Luz não polarizada

- Tanto a intensidade como a direção do campo elétrico variam de forma incoerente no tempo
- Contudo, podemos sempre escrever que o campo elétrico possui uma componente j e i

$$\vec{E}(z,t) = E(z,t) \left(\cos(\theta_{\text{aleatório}}(z,t)) \hat{j} + \sin(\theta_{\text{aleatório}}(z,t)) \hat{i} \right)$$



O Polarizador



O Polarizador



- Instrumento óptico capaz de polarizar a luz em uma dada direção pré-definida.

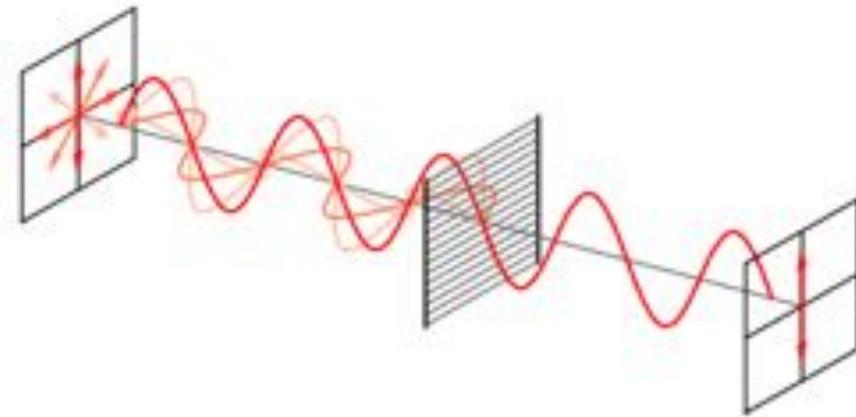


O Polarizador

- Instrumento óptico capaz de polarizar a luz em uma dada direção pré-definida.
- Todo polarizador é caracterizado por um eixo de polarização
 - Este eixo representa a direção da componente do campo elétrico que será transmitida
- Vários tipos de polarizador
 - Absorção
 - Absorve a componente dos campos EM em uma dada direção
 - Birrefringentes
 - O índice de refração pode depender da polarização da luz
 - Reflexão
 - A luz refletida, dependente do ângulo, favorece a polarização em uma direção

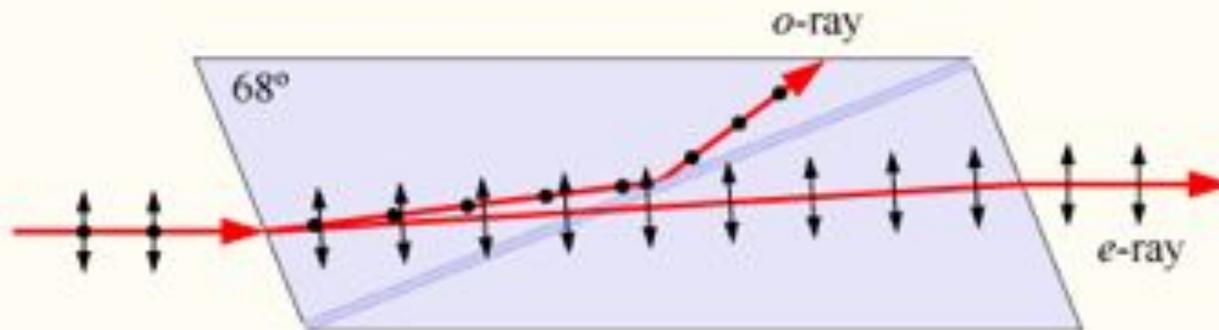
Polarizador por absorção

- O mais simples é o de grade de fios
 - O campo elétrico na direção dos fios faz com que os elétrons livres se movam. O movimento desses elétrons faz com que essa componente seja absorvida
- Dicroísmo
 - Alguns cristais possuem absorção diferente para cada componente da luz incidente, dependendo da estrutura da rede cristalina



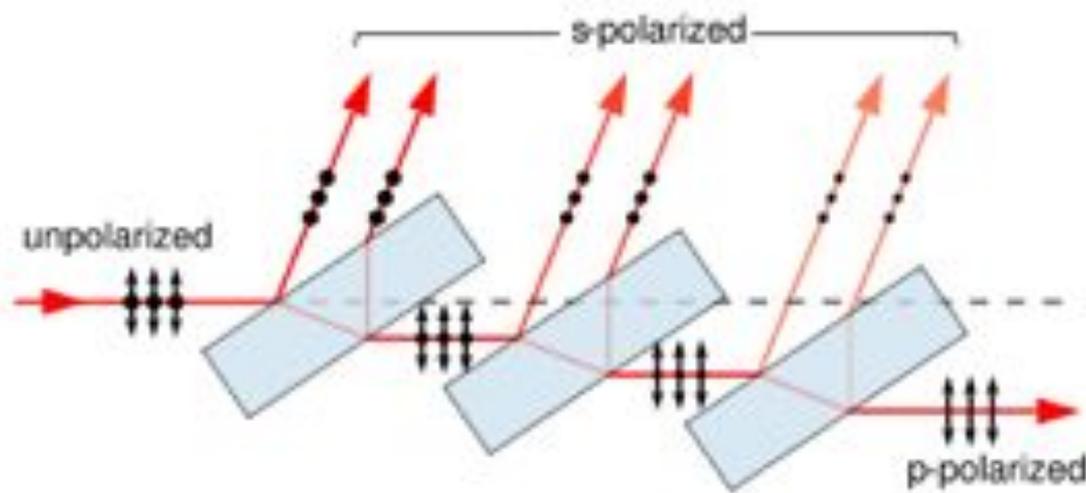
Polarizador birrefringente

- Alguns materiais, principalmente cristais, possuem índices de refração que dependem da polarização da luz.
- Assim, uma luz não-polarizada tem o seu feixe dividido em dois, um para cada componente de polarização
- Uma segunda superfície reflete um dos feixes



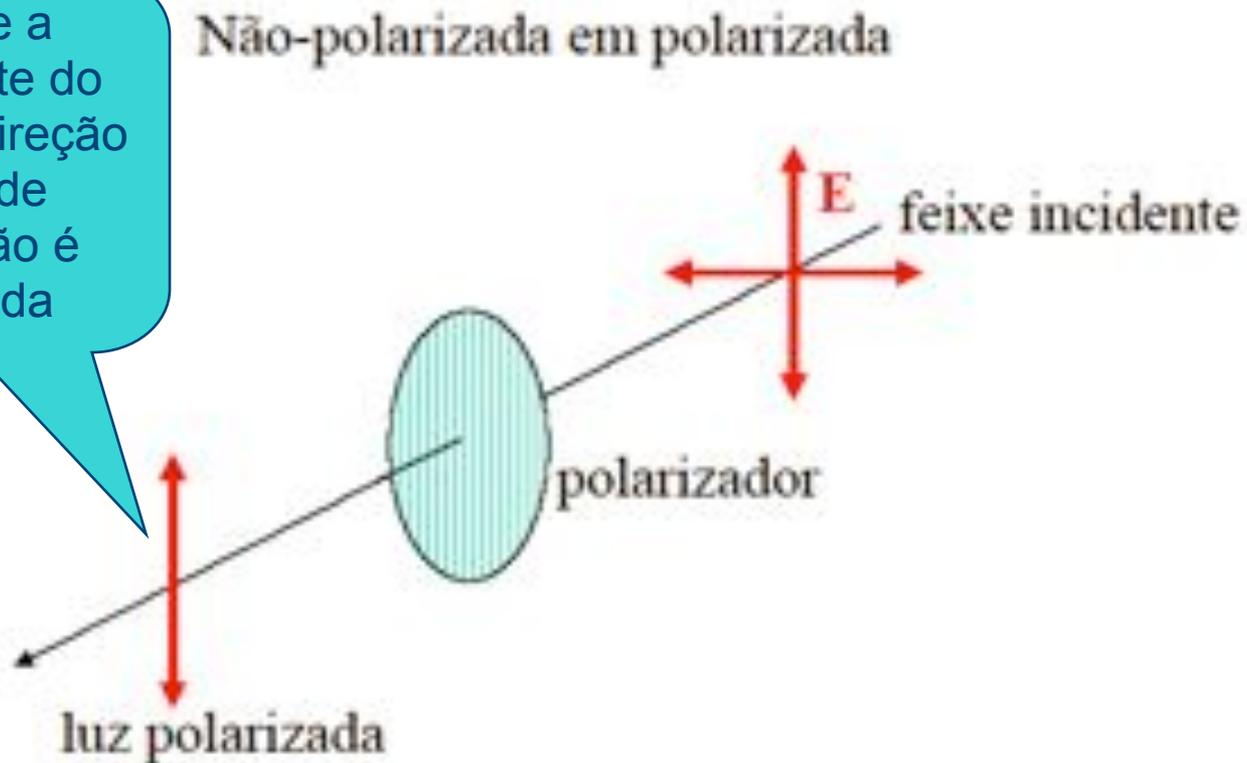
Polarizador por reflexão

- Ao incidir sobre uma superfície refratora/refletora, dependendo do ângulo de incidência, a luz refletida e refratada são polarizadas



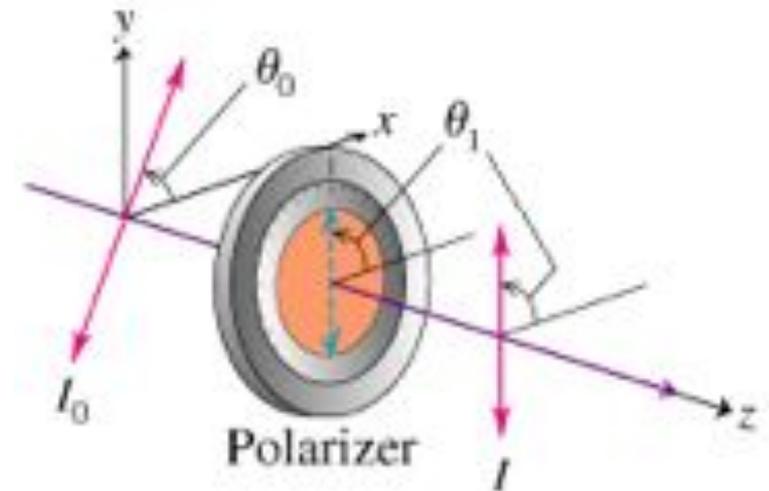
Efeito de um polarizador na luz

Somente a componente do campo na direção do eixo de polarização é transmitida



Lei de Malus

- Lei de Malus
 - Polarizador colocado na frente de uma luz, com seu eixo em um ângulo θ em relação ao campo elétrico incidente



$$E = E_0 \cos \theta$$

Luz não polarizada ao atravessar um polarizador

- Campo elétrico com direção aleatória

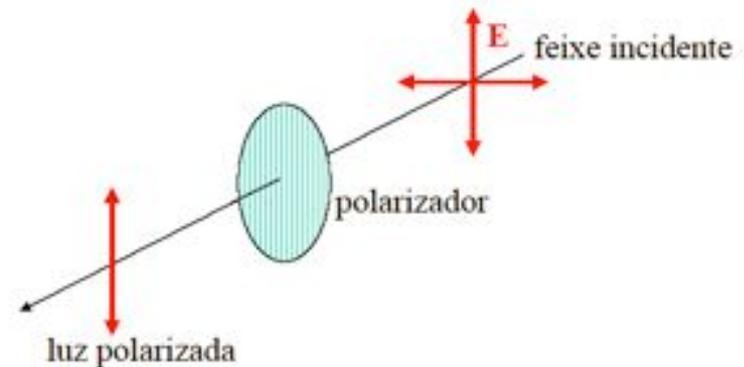
$$\vec{E}(z,t) = E \begin{pmatrix} \cos(\theta_{aleatório}(z,t)) \hat{j} \\ + \sin(\theta_{aleatório}(z,t)) \hat{i} \end{pmatrix}$$

- A intensidade inicial é dada pelo campo ao quadrado, ou seja:

$$I \propto E^2$$



Não-polarizada em polarizada



Luz não polarizada ao atravessar um polarizador

- Se o polarizador tiver direção j somente o campo E_j é transmitido (Lei de Malus)

$$\vec{E} = E \cos(\theta_{\text{aleatório}}) \hat{j}$$

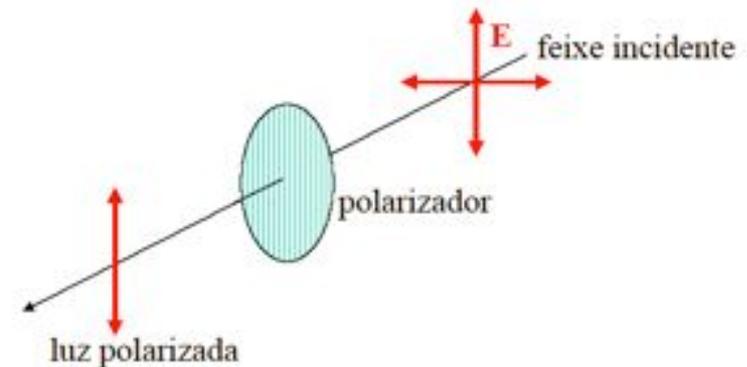
- Como a intensidade é proporcional ao campo quadrado, a intensidade transmitida é:

$$I(\theta) \propto E^2 \cos^2(\theta_{\text{aleatório}})$$

$$I(\theta) = I_0 \cos^2(\theta_{\text{aleatório}})$$



Não-polarizada em polarizada



Luz não polarizada ao atravessar um polarizador

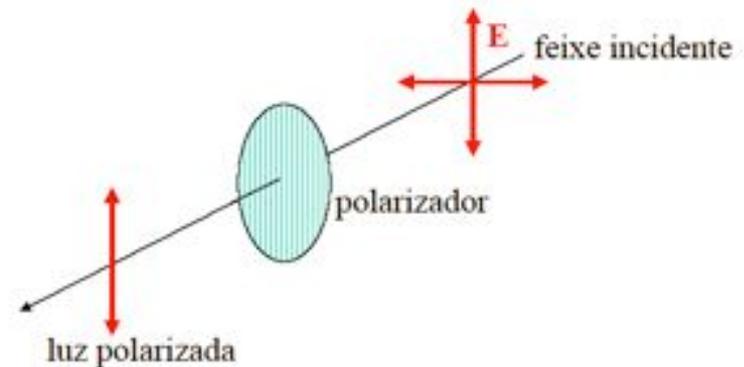
- Como o ângulo é aleatório, devemos considerar a intensidade média transmitida, ou seja, a média temporal

$$I = \langle I(\theta) \rangle = I_0 \langle \cos^2(\theta_{\text{aleatório}}) \rangle$$

$$I = \frac{1}{2} I_0$$



Não-polarizada em polarizada



Luz não polarizada ao atravessar um polarizador

- Conclusão:
 - A intensidade luminosa transmitida por um polarizador, caso a luz incidente NÃO seja polarizada é metade da intensidade luminosa inicial, ou seja:

$$I = \frac{1}{2} I_0$$

- Contudo, a luz emergente do polarizador é polarizada, com eixo de polarização dado pelo eixo do polarizador

Luz linearmente polarizada ao atravessar um polarizador

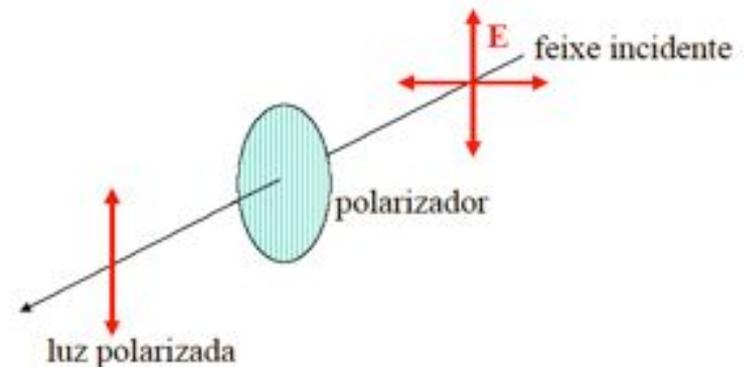
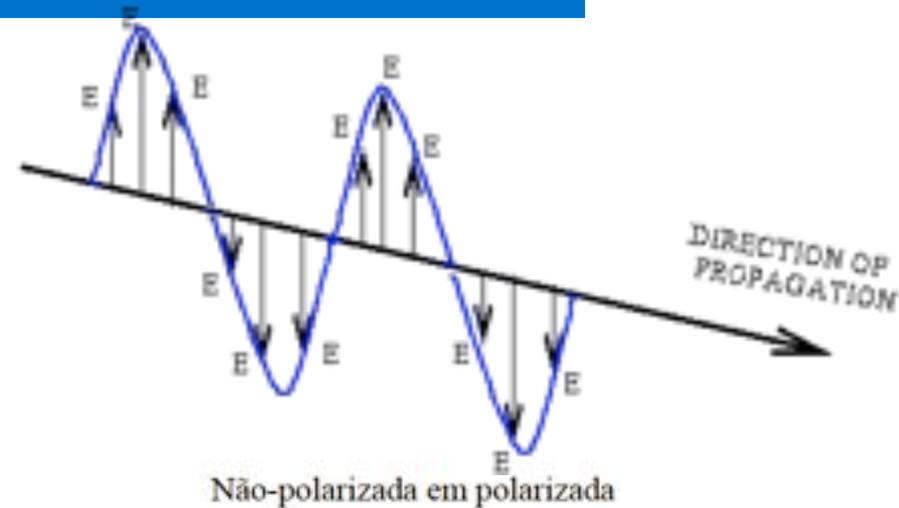
- Campo elétrico com direção fixa

$$\vec{E} = E(z,t) \begin{pmatrix} \cos(\theta) \hat{j} \\ + \sin(\theta) \hat{i} \end{pmatrix}$$

- Agora a direção θ é fixa porque a luz está polarizada. Novamente, a intensidade luminosa é:

$$I_0 \propto E^2$$

E: ELECTRIC FIELD



Luz linearmente polarizada ao atravessar um polarizador

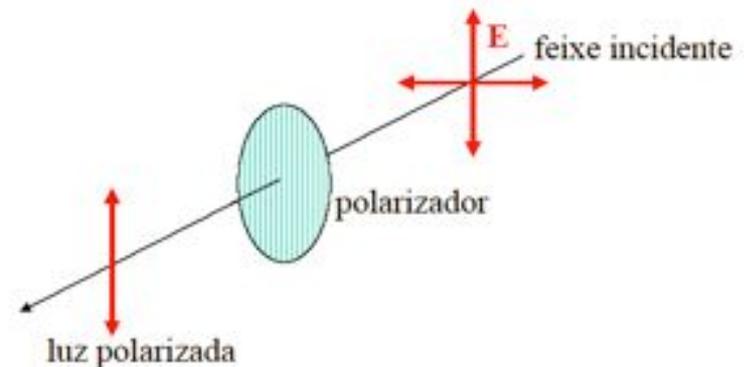
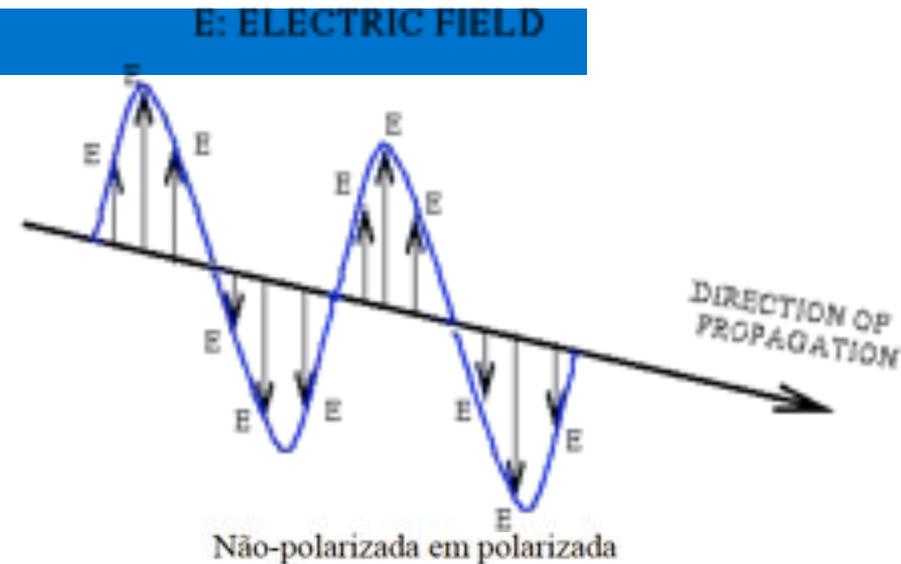
- Se o polarizador tiver direção j somente o campo E_j é transmitido (Lei de Malus)

$$\vec{E}_{depois} = E(z,t) \cos(\theta) \hat{j}$$

- A intensidade transmitida é

$$I \propto E_{depois}^2$$

$$I = I_0 \cos^2(\theta)$$



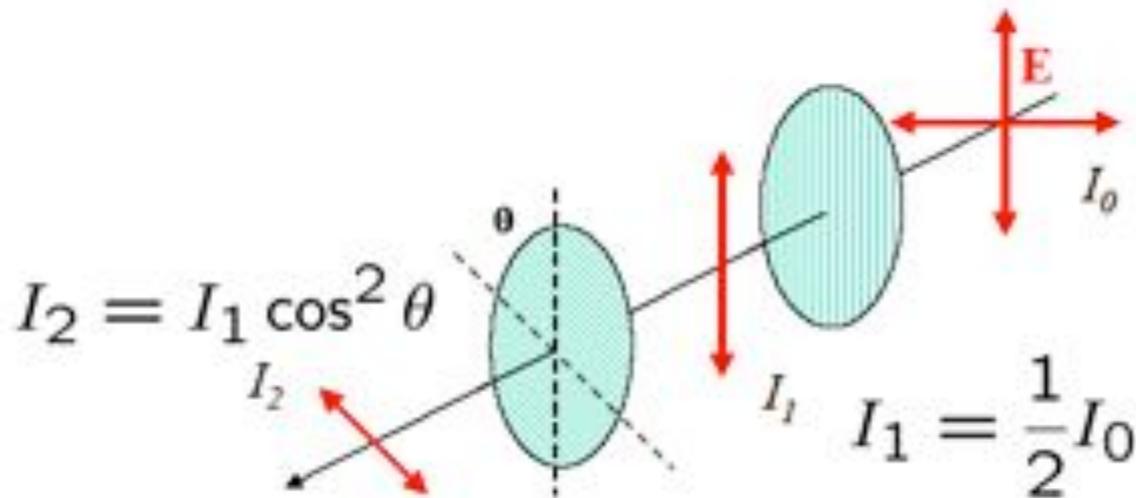
Luz linearmente polarizada ao atravessar um polarizador

- Conclusão:
 - A intensidade luminosa transmitida por um polarizador, caso a luz incidente seja polarizada depende do ângulo do polarizador em relação ao campo elétrico incidente, ou seja:

$$I = I_0 \cos^2(\theta)$$

- A luz emergente do polarizador também é polarizada, porém com direção de polarização diferente da inicial (caso θ não seja 0)

Mais de um polarizador



$$\Rightarrow I_2 = \frac{I_0}{2} \cos^2 \theta$$

Objetivos da semana

- Verificar experimentalmente a lei de Malus para uma luz previamente polarizada

$$I = I_1 \cos^2 \theta$$

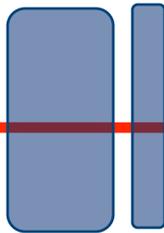
- Há desvios em relação à expressão acima que podem ser medidos experimentalmente?
 - Quais as fontes destes desvios?
 - Como poderíamos modificar a Lei de Malus acima para levar em consideração possíveis desvios?

Arranjo experimental: Lei de Malus

- Montar o seguinte arranjo



Lâmpada



Solução de CuSO_4
para reduzir
componentes infra-
vermelhas da luz

Absorvedor para não
saturar fotosensor
(chapa RX, filme,
etc)



Polarizador 1 – Define
a direção inicial do
campo elétrico

Polarizador 2 – o
ângulo deste em
relação ao
primeiro é a
medida θ .

Lente
focalizadora



Fotosensor

Cuidados experimentais

Cuidados experimentais

- Fiquem atentos se o fotosensor não está saturado.

Cuidados experimentais

- Fiquem atentos se o fotosensor não está saturado.
- Alinhamento do sistema óptico

Cuidados experimentais

- Fiquem atentos se o fotosensor não está saturado.
- Alinhamento do sistema óptico
- Tente focalizar a luz no fotosensor de forma apropriada

Cuidados experimentais

- Fiquem atentos se o fotosensor não está saturado.
- Alinhamento do sistema óptico
- Tente focalizar a luz no fotosensor de forma apropriada
- Cuidado ao medir os ângulos entre os polarizadores
 - Qual a incerteza na medida do ângulo?
- Qual a incerteza na medida de intensidade luminosa?

Atividades:

- Medir a intensidade luminosa em função de θ . Cuidado para que a luz não seja intensa para saturar o fotosensor.
- Gráfico de Intensidade vs. θ .
- Ajustar por mínimos quadrados a previsão teórica da Lei de Malus.
 - Os dados se comportam como o esperado pela teoria (ver resíduos)?
 - Caso não seja validada, como podemos modificar a Lei de Malus para levar em conta outros efeitos? Quais são estes efeitos?
 - Reajuste, se necessário, os dados levando em conta as modificações efetuadas na Lei de Malus.

Próxima aula

- Polarização por reflexão.
 - Luz refletida pode ser polarizada.
 - Estudo de polarização em função do ângulo de reflexão
 - Ângulo de Brewster
 - Referências.
 - Apostila do curso de 2007
 - Optics, Hecht (biblioteca)