

# Física Experimental IV

## Óptica Física

**Prof. Dr. Lucas Barboza Sarno da Silva**

# A luz – uma onda eletromagnética

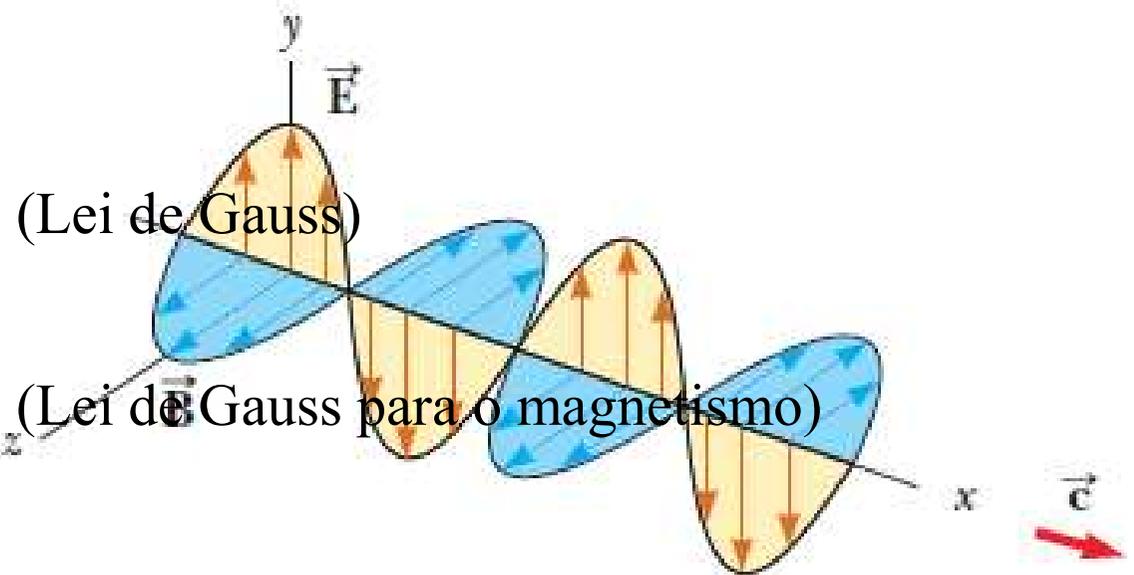
## Equações de Maxwell

$$\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$$

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{r} = -\frac{d\phi_B}{dt}$$

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{r} = \mu_0 i + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}$$



(Lei de Gauss)

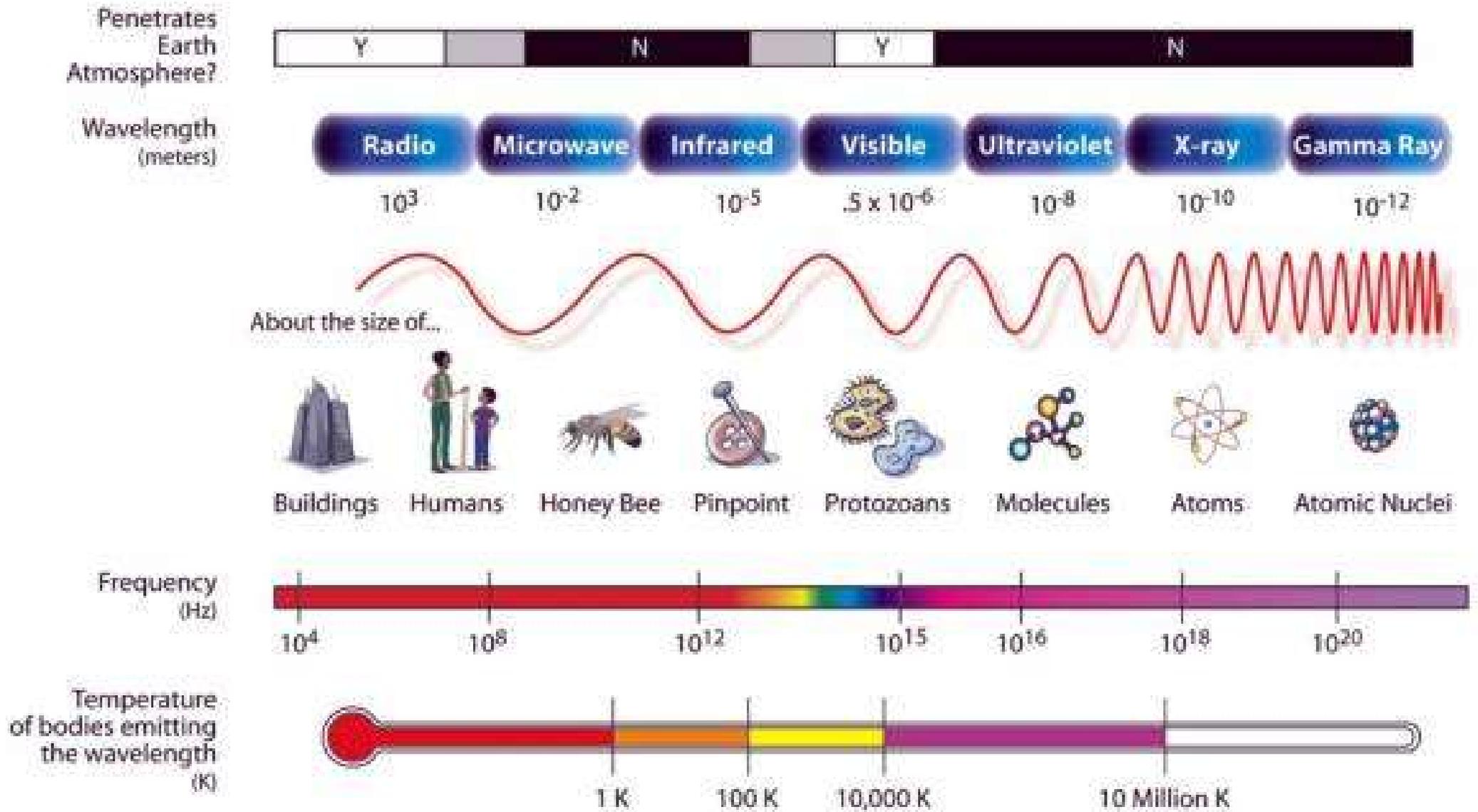
(Lei de Gauss para o magnetismo)

(Lei de Faraday)

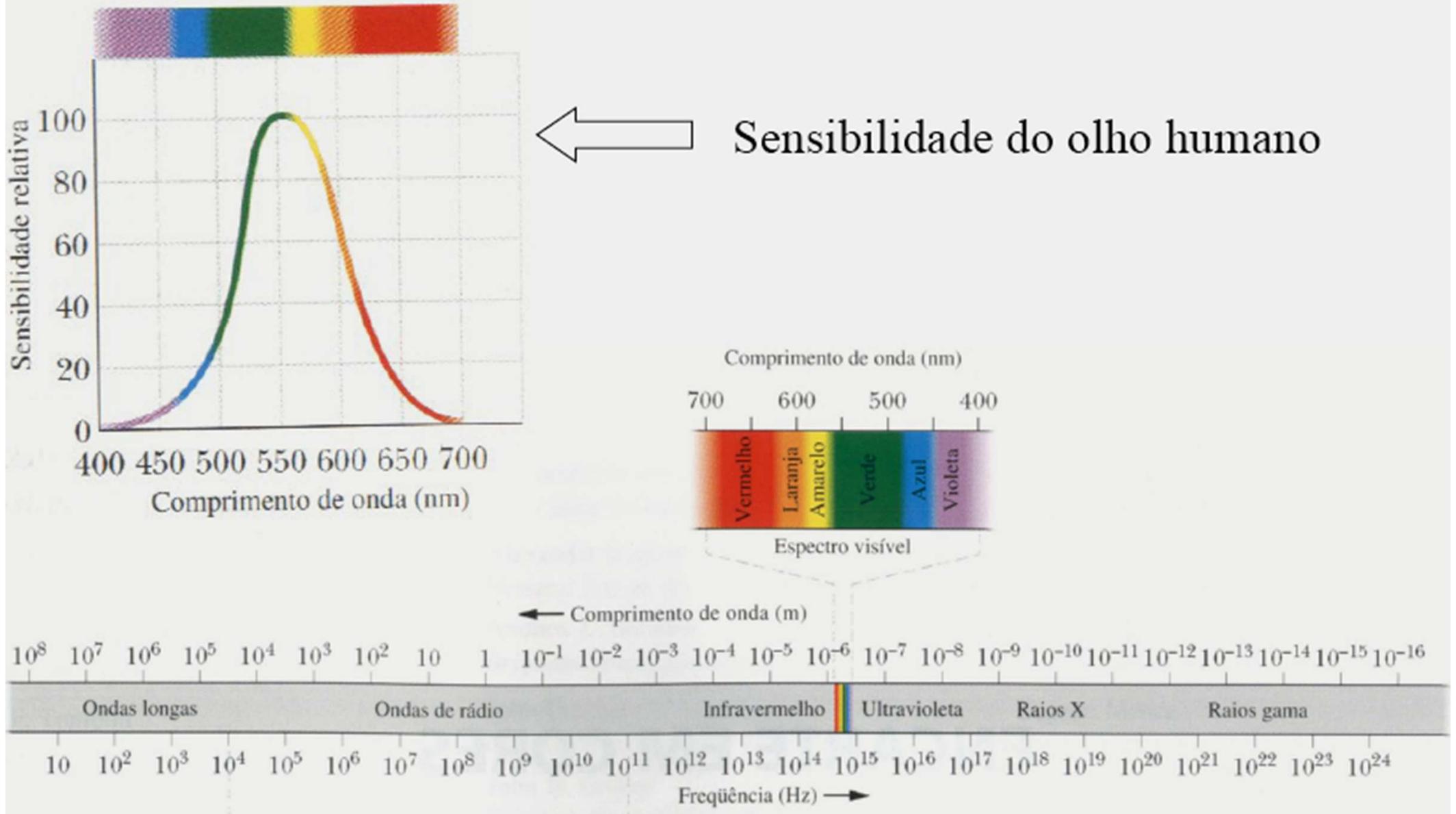
**Velocidade da luz:**  
(Lei de Ampère)

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

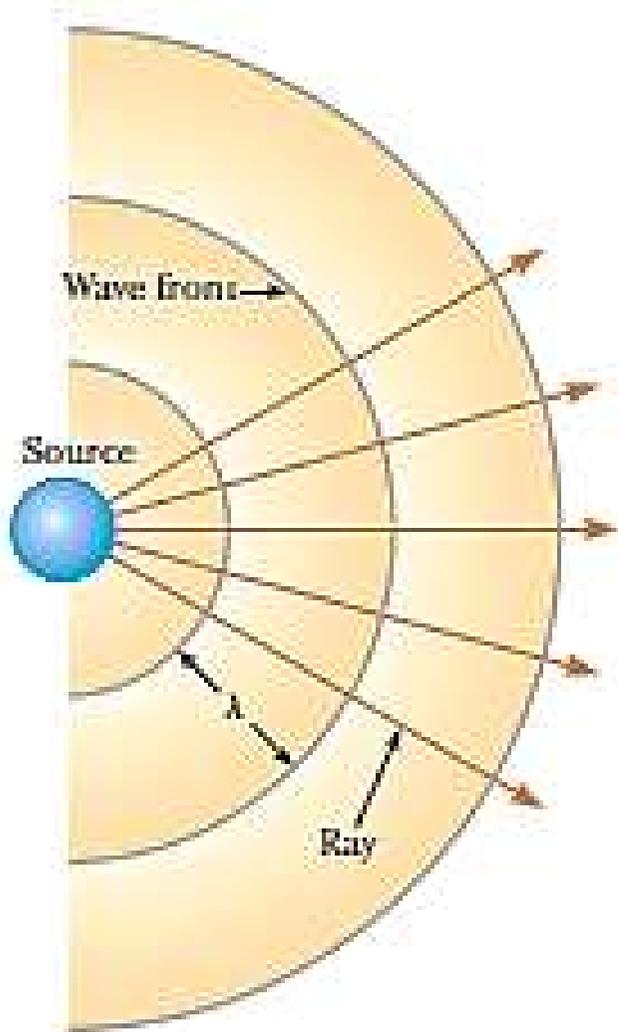
# THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



# Ondas eletromagnéticas

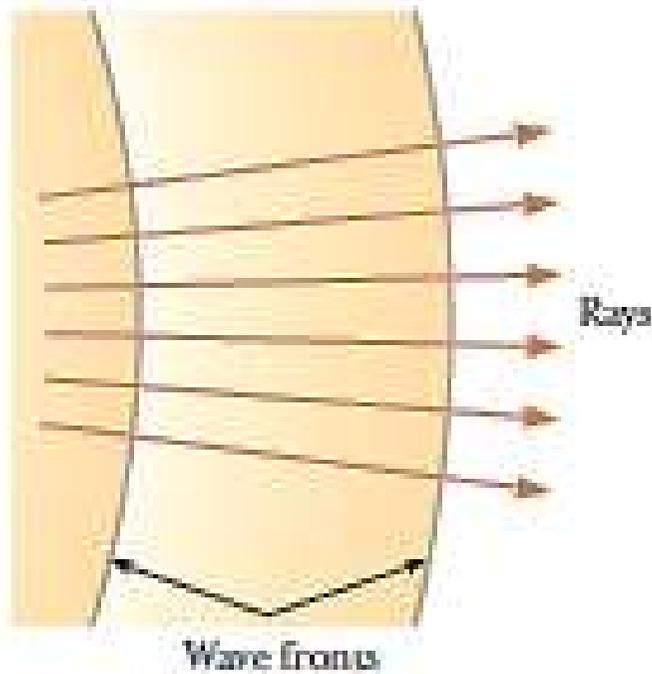


# Ondas esféricas e ondas planas



- **Representação:** arcos circulares concêntricos à fonte
- Cada arco representa uma superfície onde a fase da onda é uma constante. Essa superfície é a frente de fase, ou **frente de onda**.
- A distância entre frentes de fase adjacentes é igual ao **comprimento de onda  $\lambda$** .
- As retas radiais que saem da fonte são os **raios**.

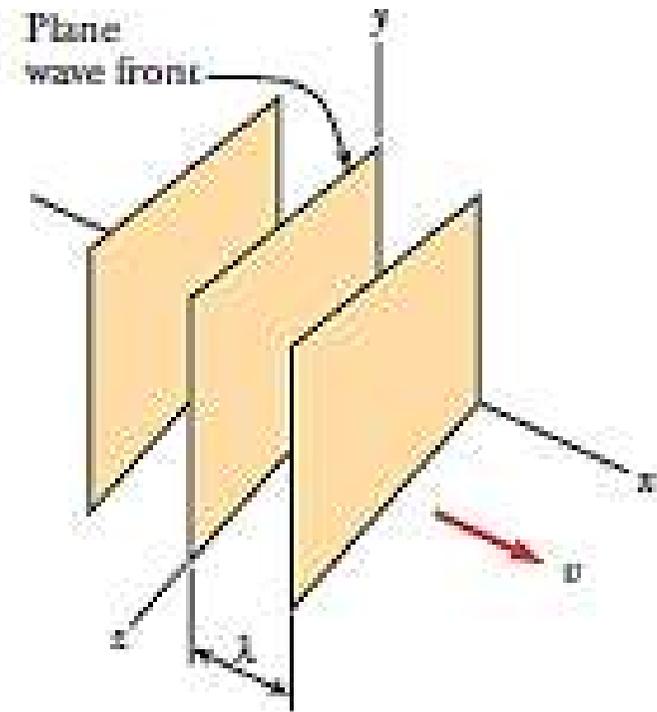
# *Ondas esféricas e ondas planas*



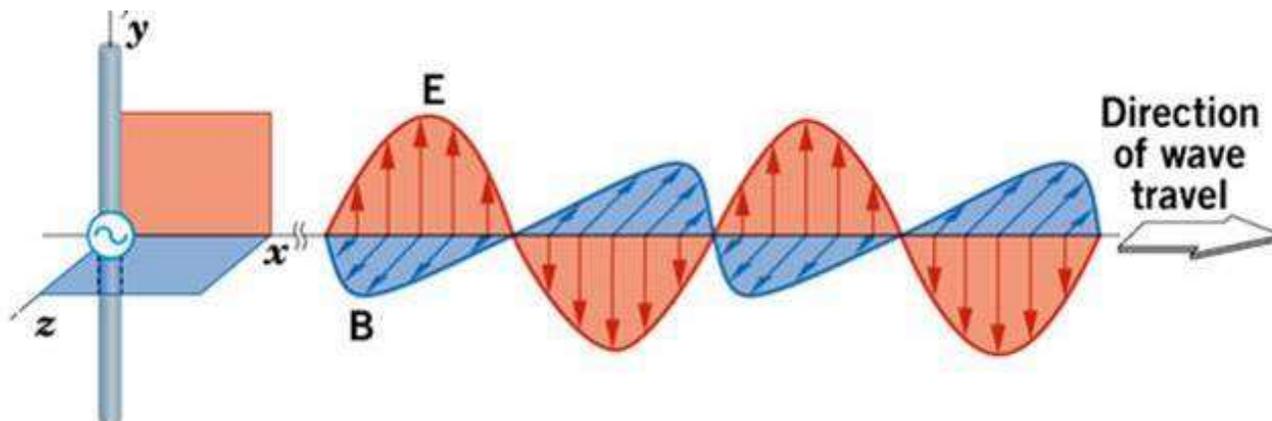
Pequena parte das frentes de onda a grande distância da fonte.

- Raios quase paralelos
- Frentes de onda quase planas

## **Frente de onda plana**

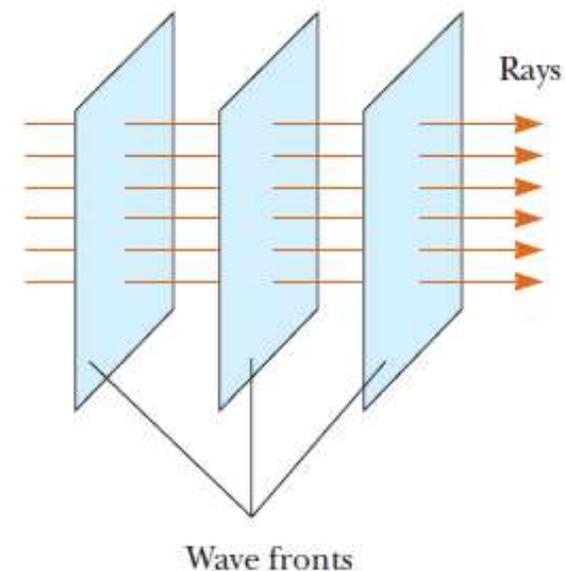


# Ondas eletromagnéticas planas



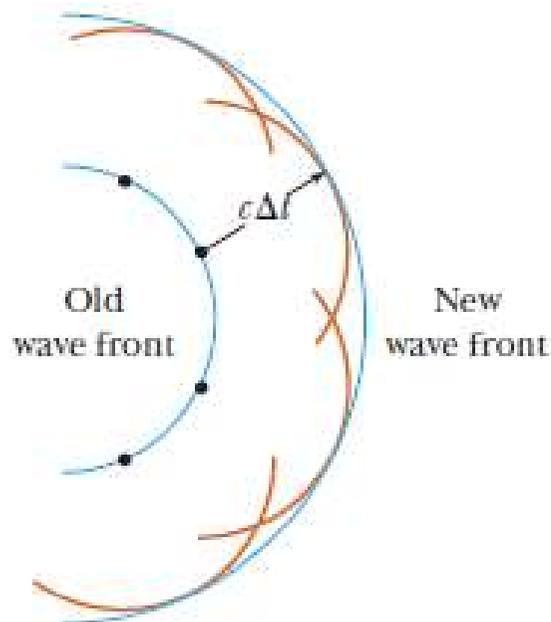
Copyright John Wiley & Sons

- $E$  e  $B$  propagam-se em fase.
- $E$  e  $B$  são mutuamente perpendiculares.
- $E \times B$  aponta na direção de propagação

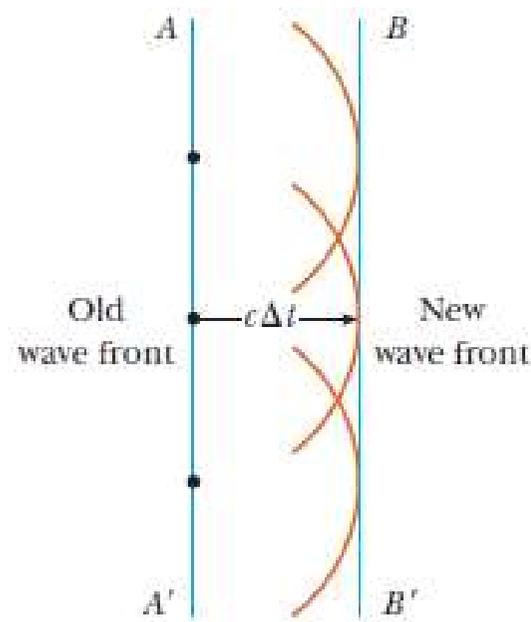


# Princípio de Huygens

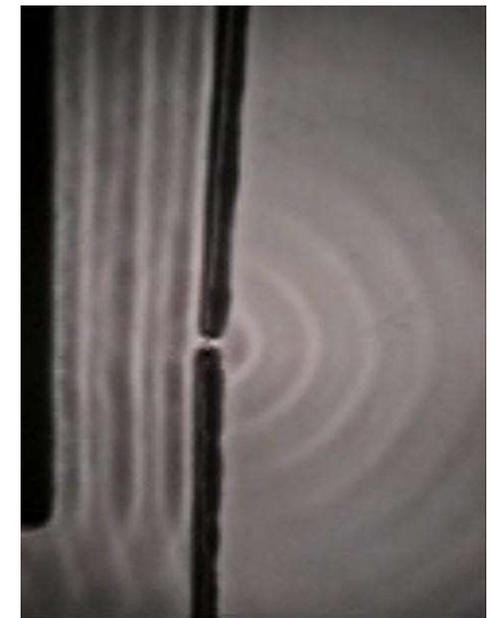
“Todos os pontos de uma certa frente de onda são fontes puntiformes de ondas esféricas secundárias, pequeninas ondas, que se propagam para frente com velocidade característica das ondas do meio. Depois de um certo intervalo de tempo, a nova posição da frente de onda é a superfície tangente a todas essas pequeninas ondas”.



Onda esférica



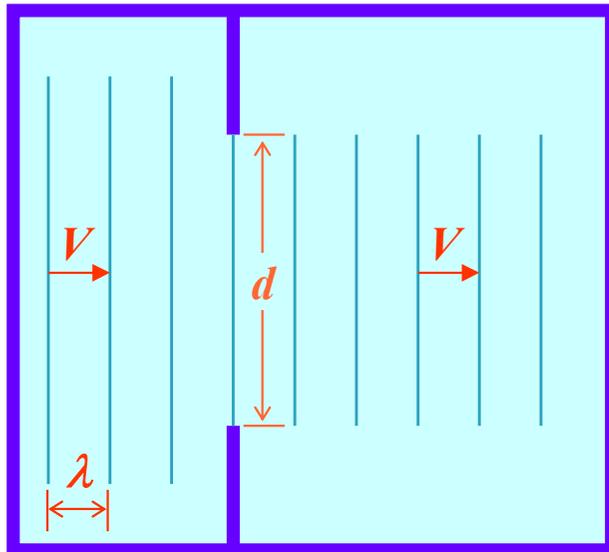
Onda se propagando p/ direita



Tanque de ondas

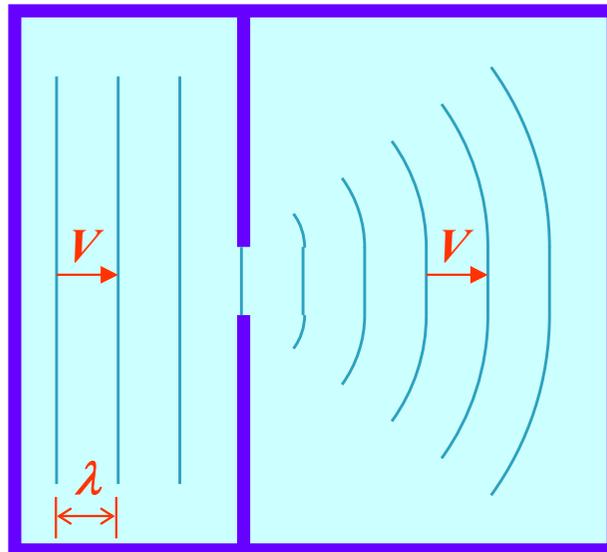
# *Difração em uma fenda*

$$\lambda \ll d$$



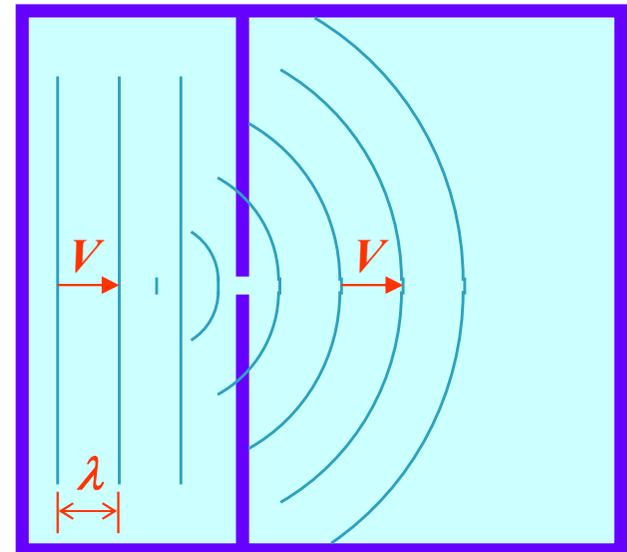
Não ocorre  
difração

$$\lambda \cong d$$



Ocorre difração

$$\lambda \gg d$$

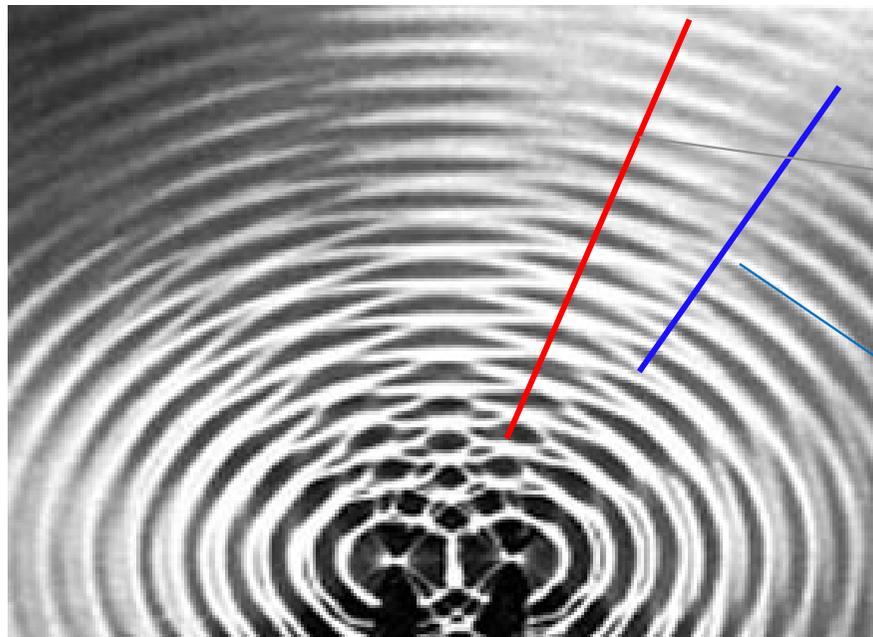


Ocorre difração  
acentuada

# *Interferência de duas ondas*

**Interferência:** é quando ondas distintas, de mesmas características, geradas a partir de duas fontes, se sobrepõem em um ponto do espaço, a intensidade da onda resultante naquele ponto pode ser maior ou menor que a intensidade de qualquer uma das duas ondas.

A interferência pode ser tanto **construtiva** quanto **destrutiva** dependendo da fase relativa entre as duas ondas

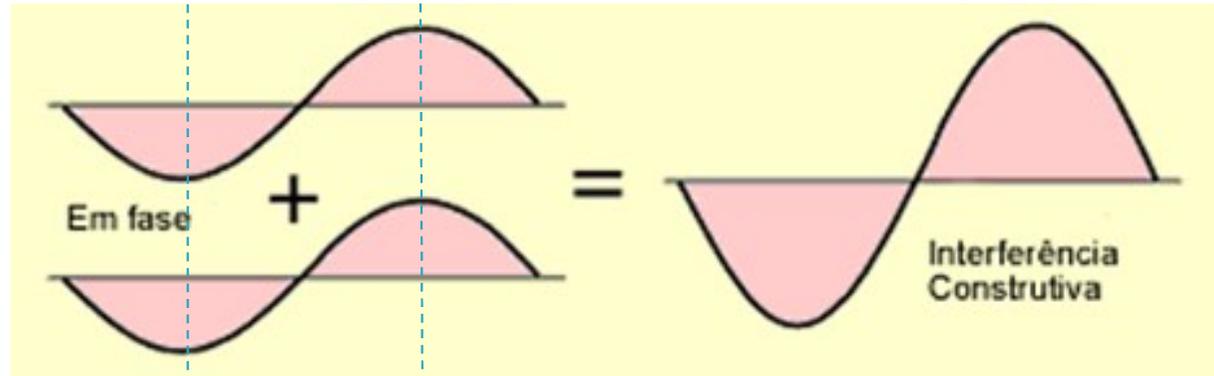


→ Interferência construtiva

→ Interferência destrutiva

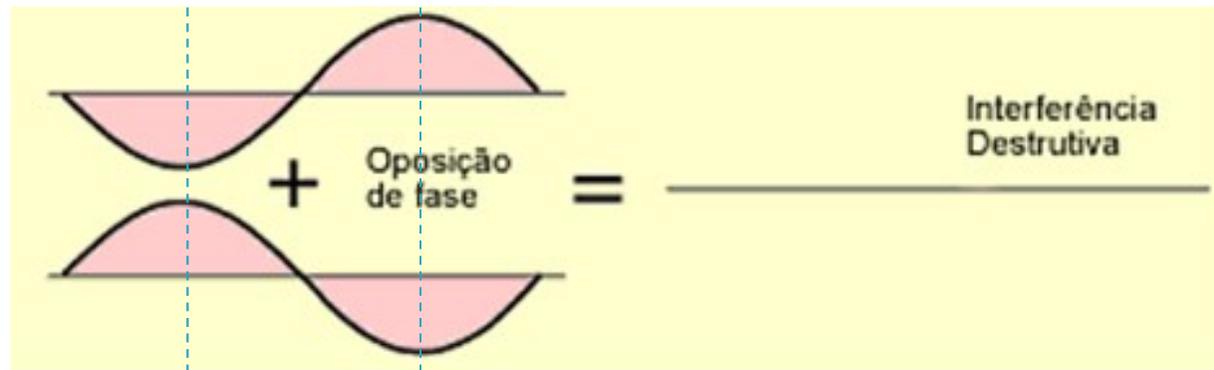
## ***Interferência Construtiva:***

Diferença de fase (em radianos) de duas ondas é de  $0, 2\pi, 4\pi, \dots$



## ***Interferência Destrutiva:***

Diferença de fase (em radianos) de duas ondas é de  $\pi, 3\pi, 5\pi, \dots$ , ou seja, fora de fase  $180^\circ$ .

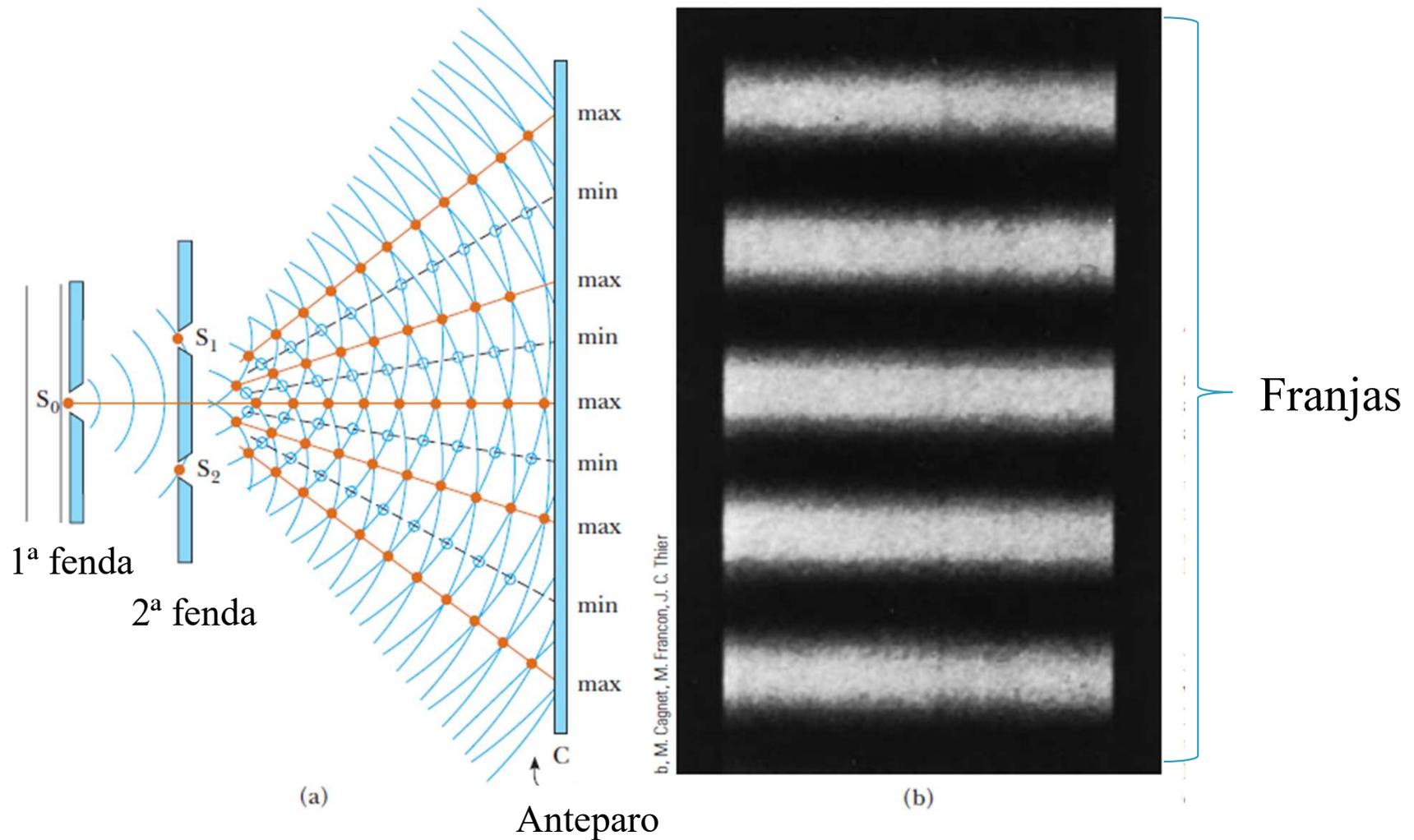


Não são fáceis de observar os efeitos da interferência das ondas luminosas em virtude dos curtos comprimentos de ondas que estão envolvidos (entre cerca  $4 \cdot 10^{-7}$  m até cerca de  $7 \cdot 10^{-7}$  m). Para se observar a interferência continuada das ondas luminosas é necessário cumprir as seguintes condições:

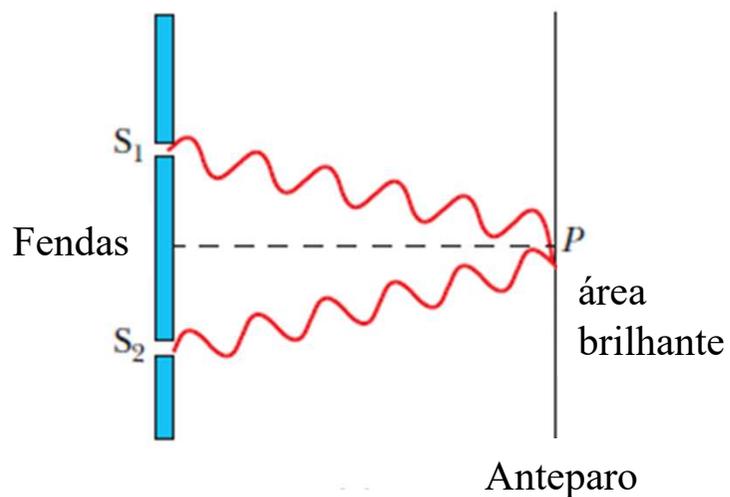
- As fontes devem ser **coerente**, isto é, deve manter uma relação de fase constante, uma com a outra.
- As fontes devem ser **monocromáticas**, isto é, emitem um único comprimento de onda.
- O **princípio da superposição** deve ser aplicável.

# Experiência da dupla fenda de Young

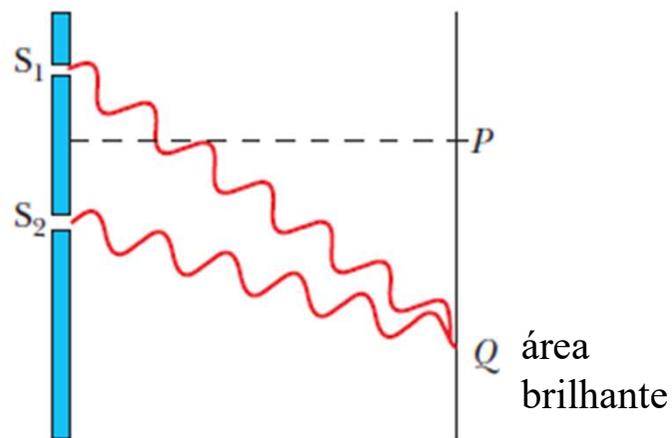
Thomas Young, em 1801



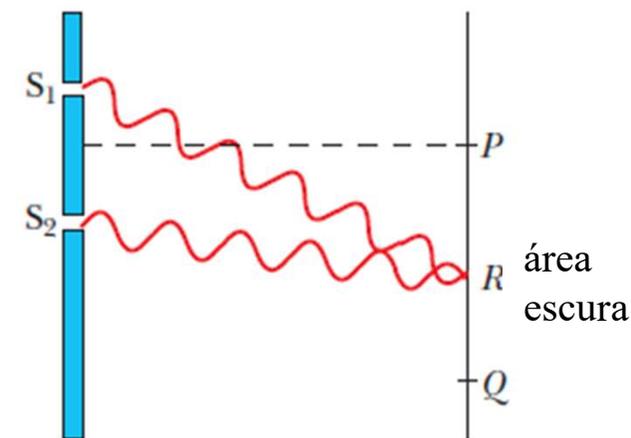
# Uma forma qualitativa de se observar a experiência de Young



Interferência  
Construtiva

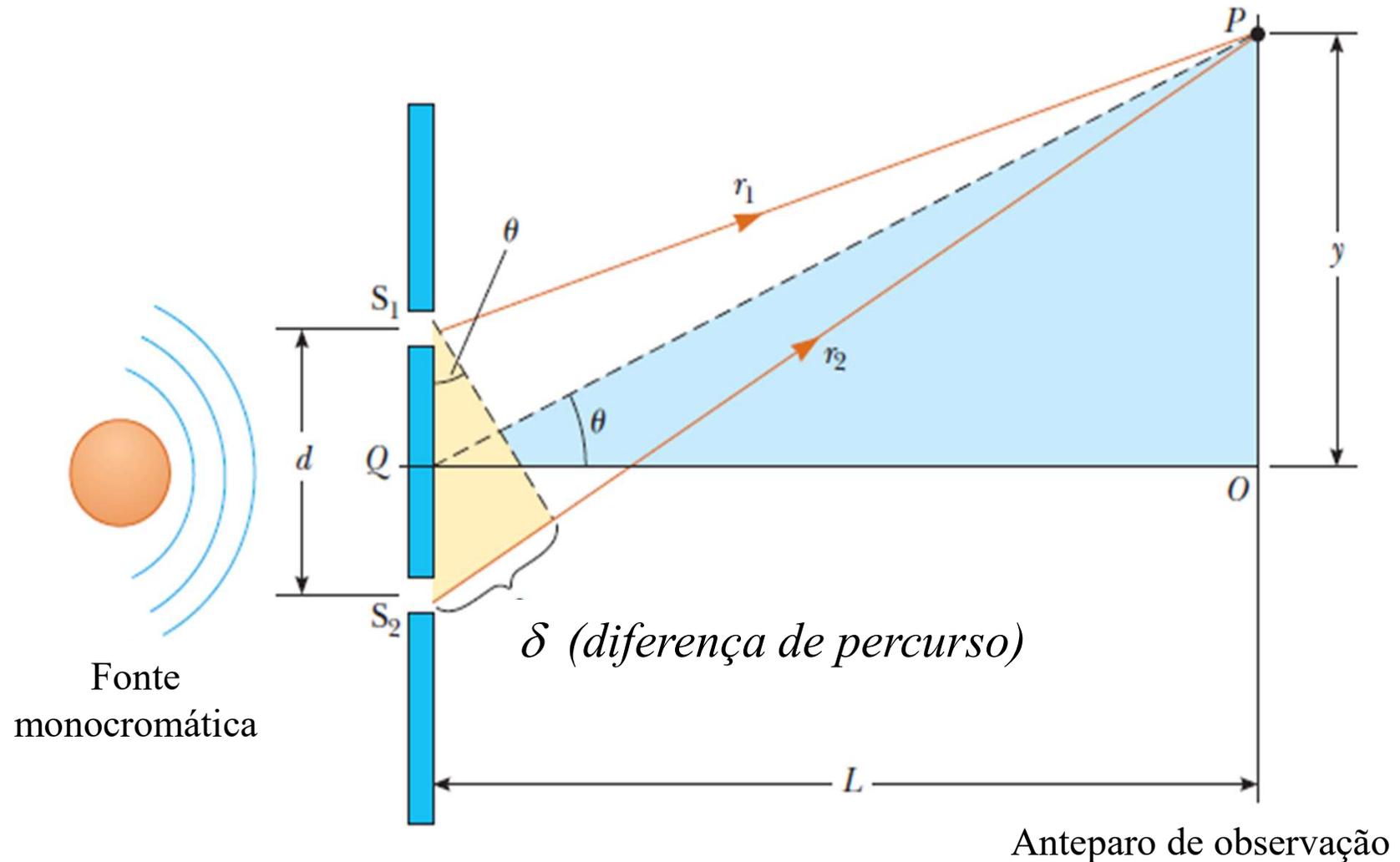


Interferência  
Construtiva

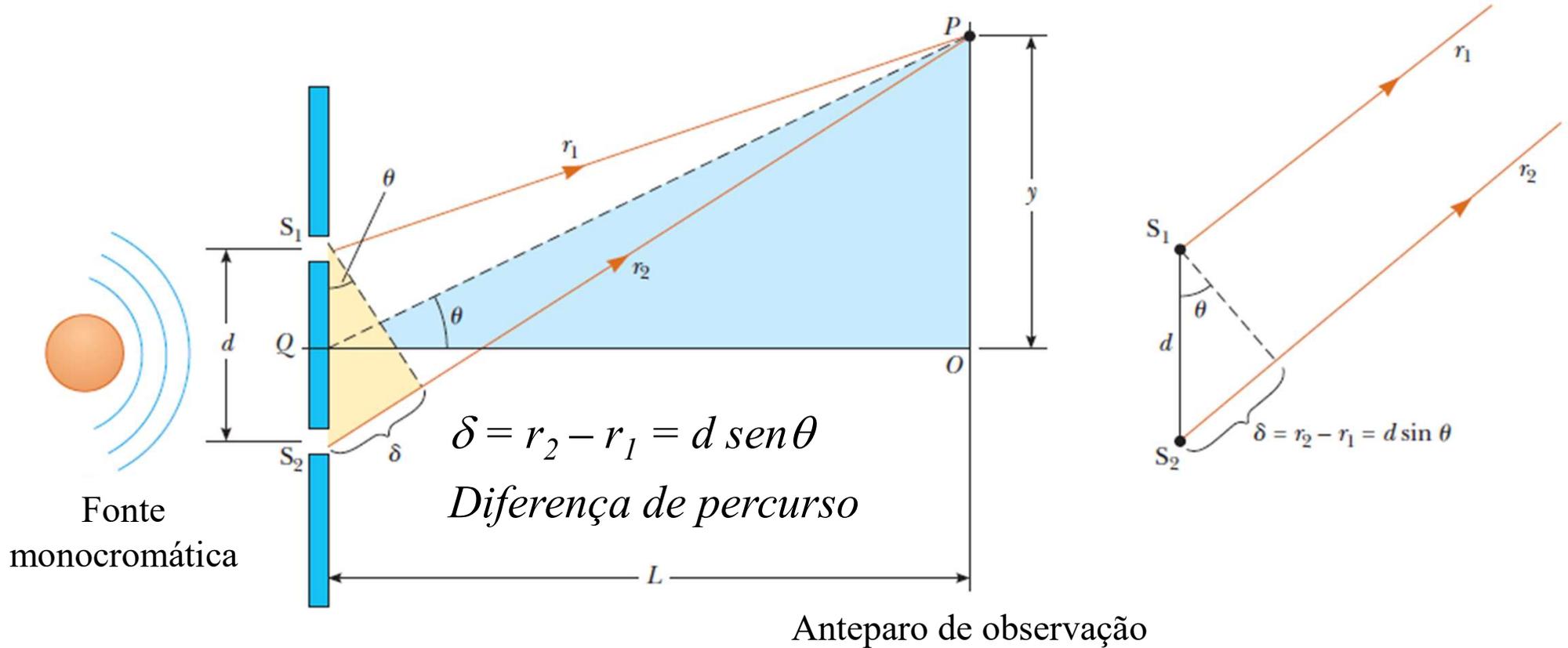


Interferência  
Destrutiva

# Uma forma quantitativa de se observar a experiência de Young



$p/L \gg d \Rightarrow r_1$  e  $r_2$  paralelos



***Diferença de percurso:***

**Interferência Construtiva:**

$$\delta = d \sin \theta = m \lambda$$

**Interferência Destrutiva:**

$$\delta = d \sin \theta = (m + \frac{1}{2}) \lambda$$

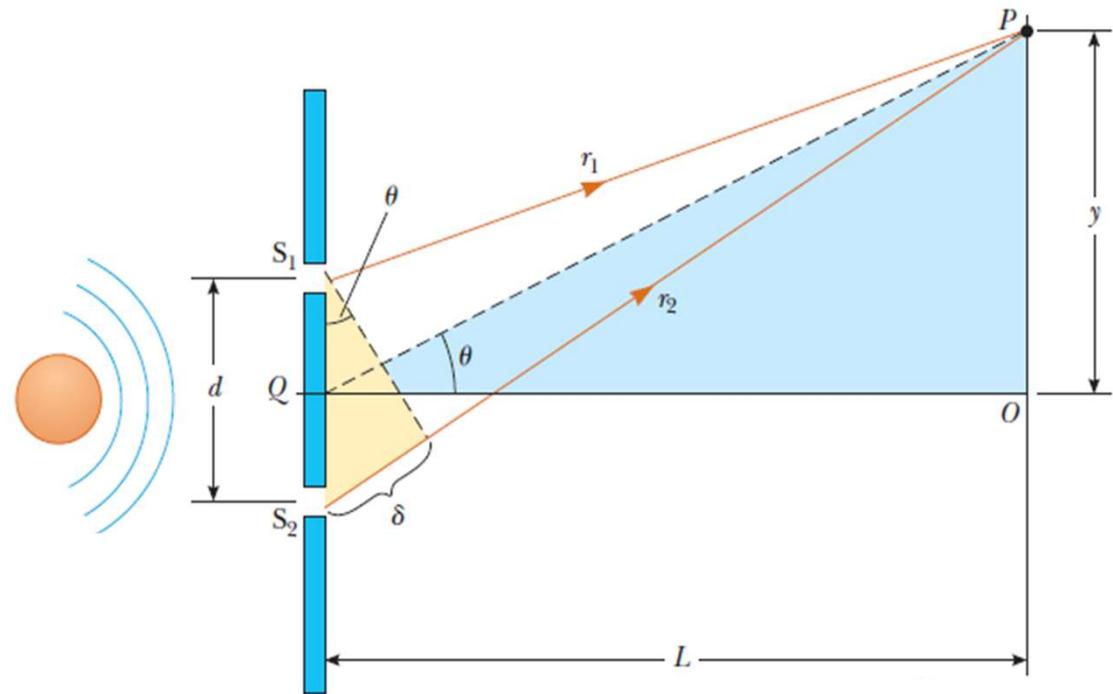
$m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$   
ordem da franja

$$p/L \gg d$$

Então,  $\theta$  é pequeno

O triângulo OPQ

$$\text{sen } \theta \cong \tan \theta = \frac{y}{L}$$



**Interferência Construtiva:**

$$\delta = d \text{ sen } \theta = m\lambda$$

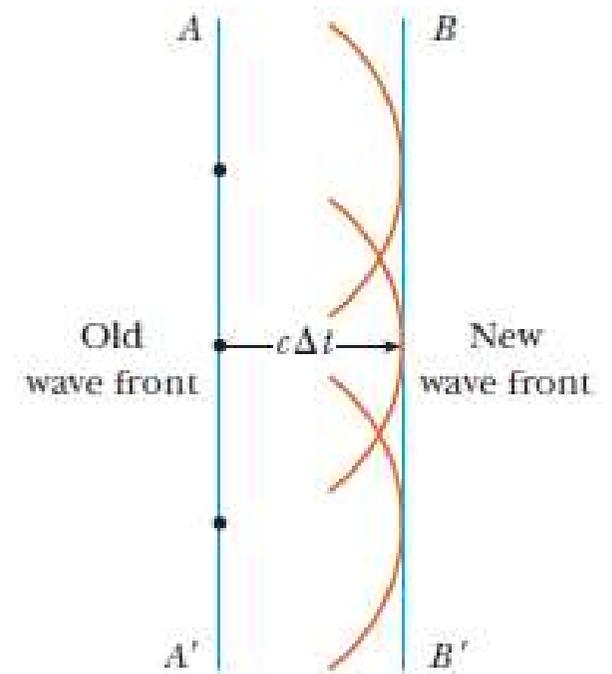
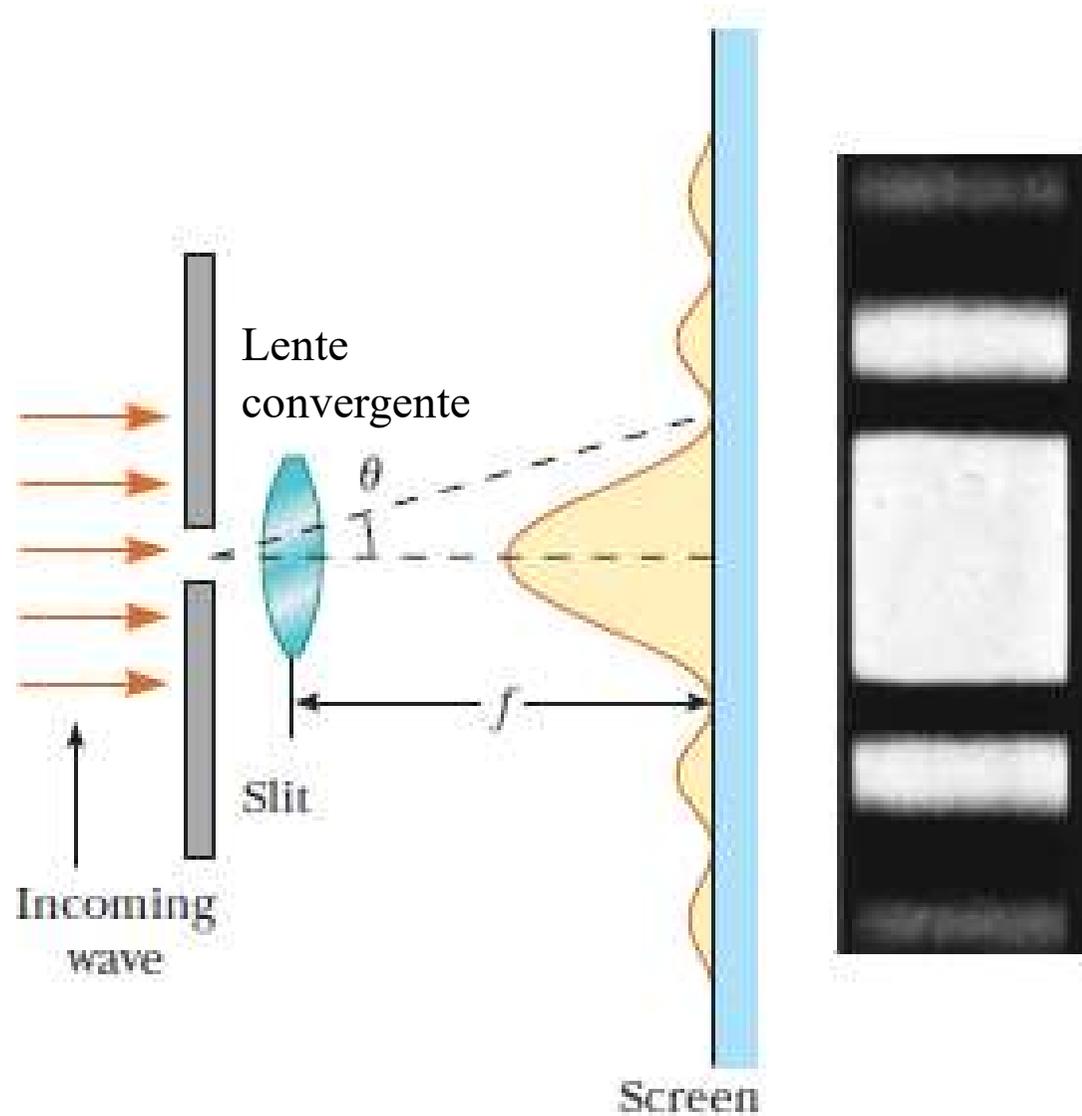
$$y_{\text{bril}} = \frac{\lambda L}{d} m$$

**Interferência Destrutiva:**

$$\delta = d \text{ sen } \theta = (m + 1/2)\lambda$$

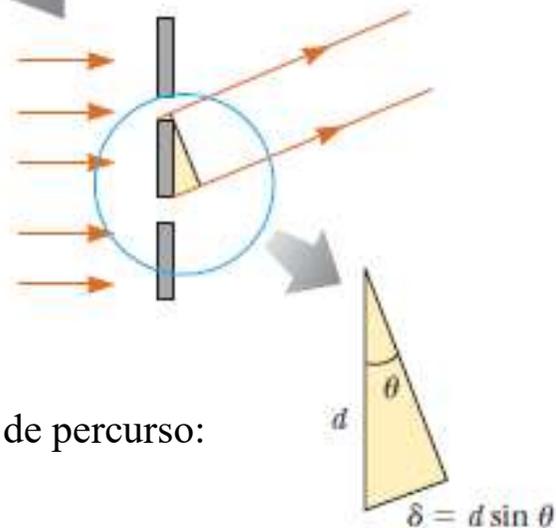
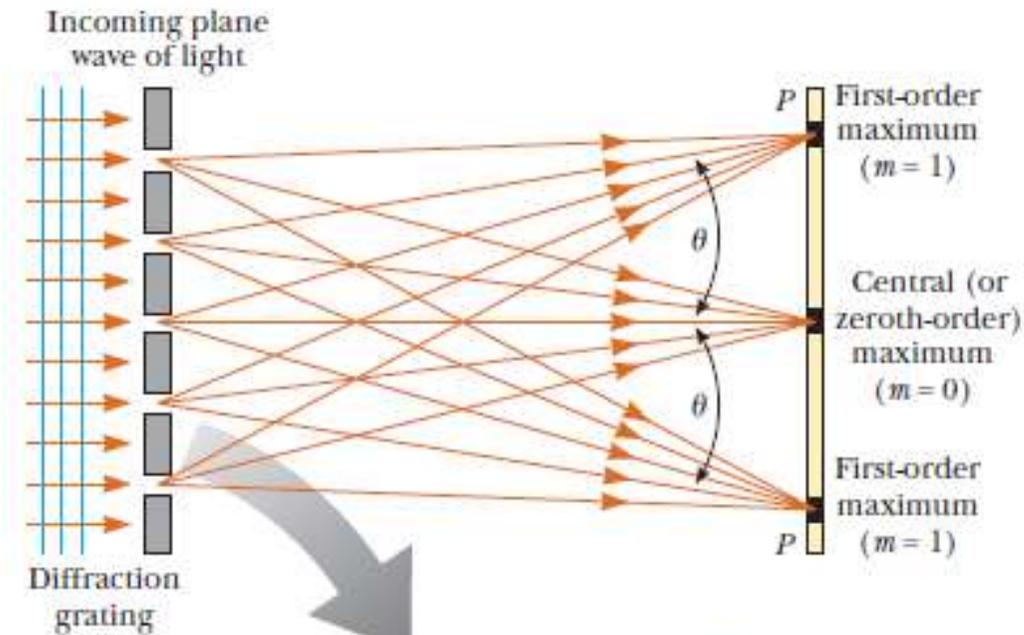
$$y_{\text{esc}} = \frac{\lambda L}{d} (m + 1/2)$$

# *Difração numa fenda simples*



Princípio de Huygens

# A rede de difração



Diferença de percurso:

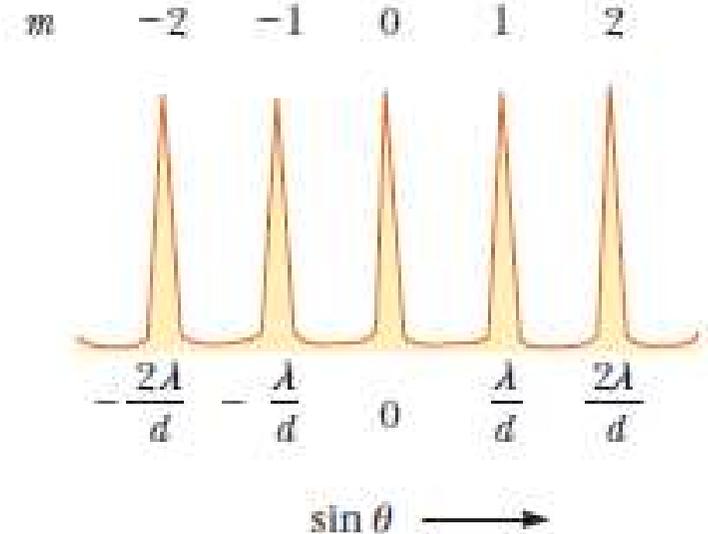
$$\delta = d \sin \theta$$

Condição de interferência construtiva:

$$d \sin \theta = m \lambda$$

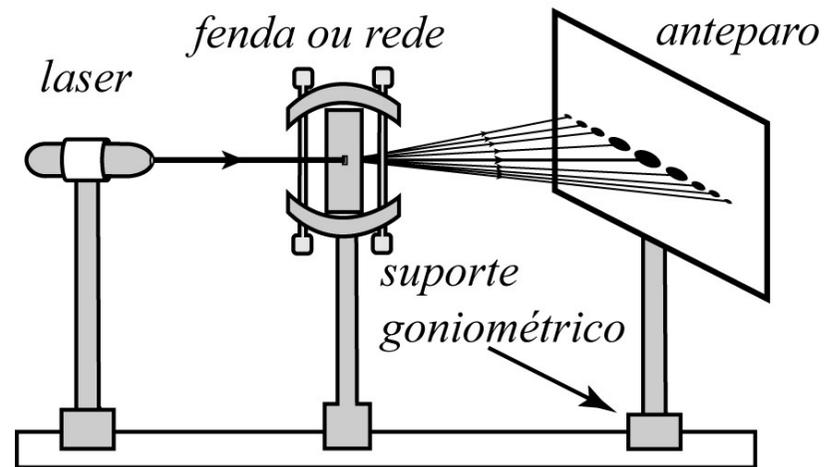
$$m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Interferência e difração



# *Experimentos de difração*

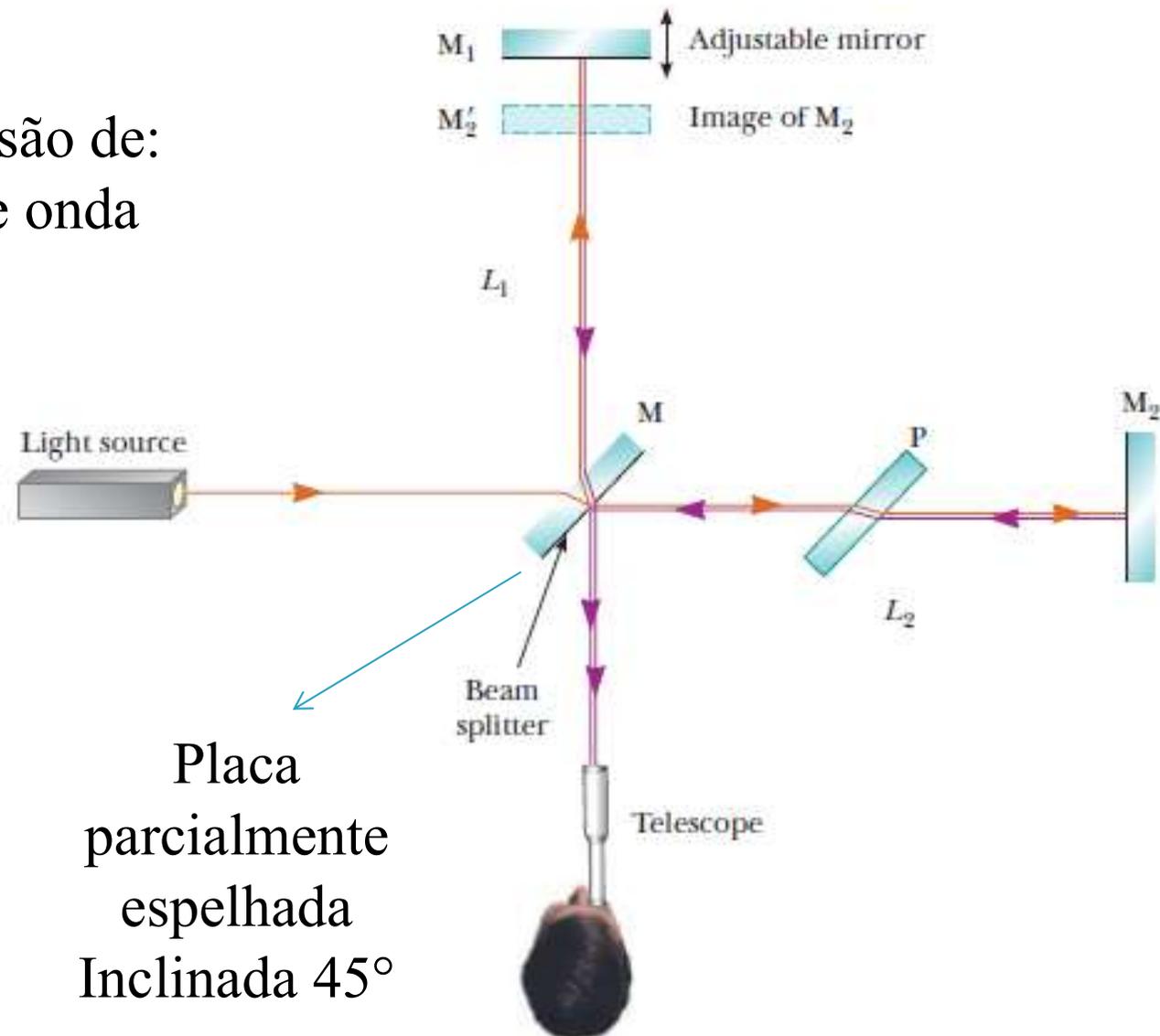
- Fenda simples
- Fenda dupla
- Rede de difração



# *Interferômetro de Michelson*

Medições de precisão de:

- comprimento de onda
- distâncias



# *Polarização*

# O que é uma onda polarizada?

- **Onda Polarizada:** Onda que possui apenas *uma* direção de vibração para uma direção de propagação.



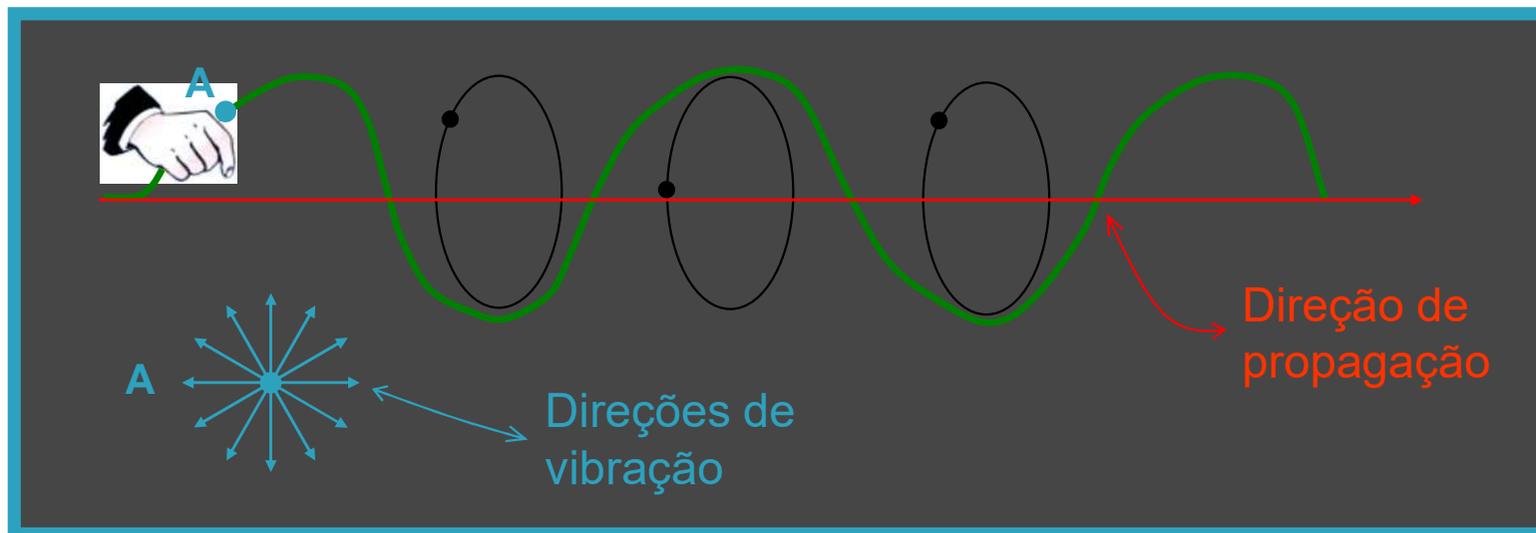
Onda polarizada horizontalmente. Vibração horizontal e direção de propagação perpendicular a vibração.



Onda polarizada verticalmente. Vibração vertical e direção de propagação perpendicular a vibração.

# O que é uma onda não polarizada?

- **Onda não polarizada:** Onda que possui *mais de uma direção de vibração* para uma direção de propagação.

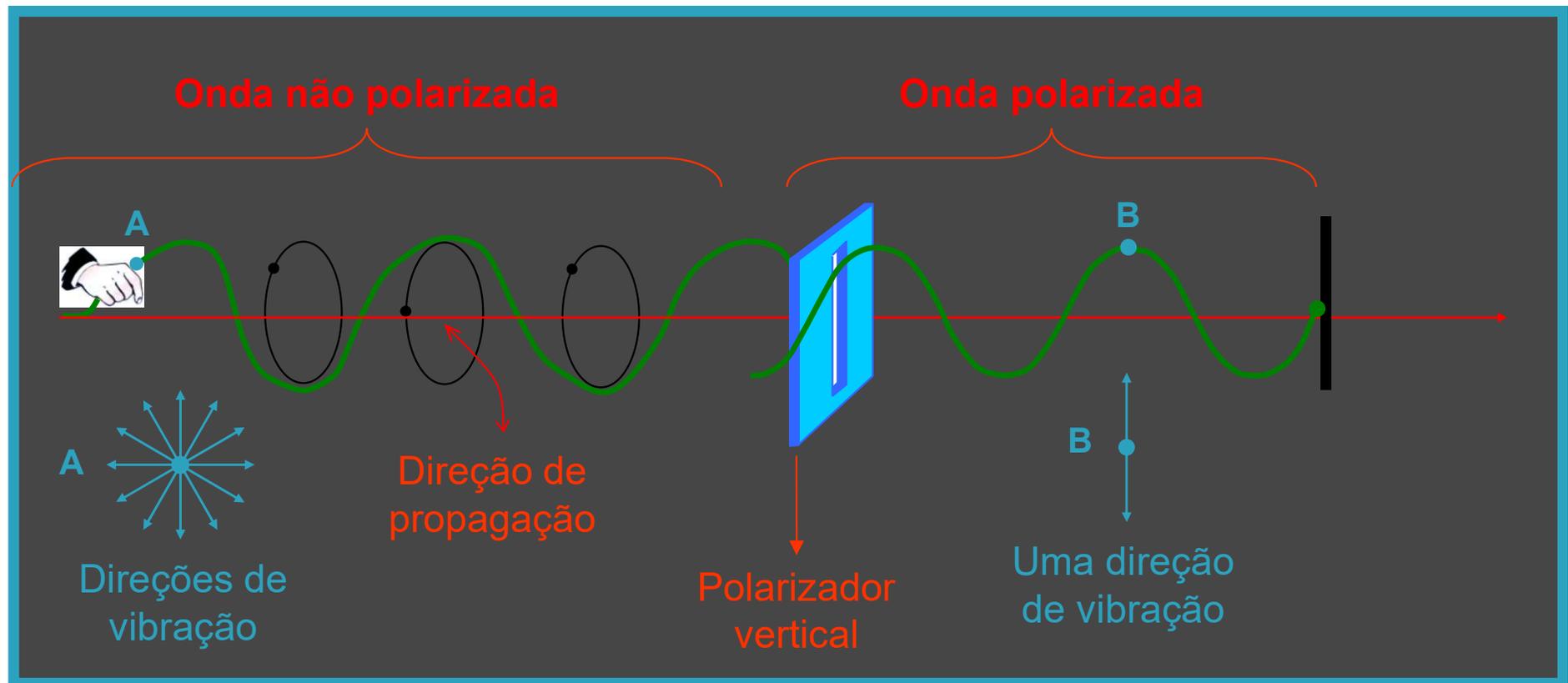


A onda possui várias direções de vibração para apenas uma direção de propagação. Observe que todas as direções de vibração são perpendiculares a direção de propagação.

# O que é polarizar uma onda?

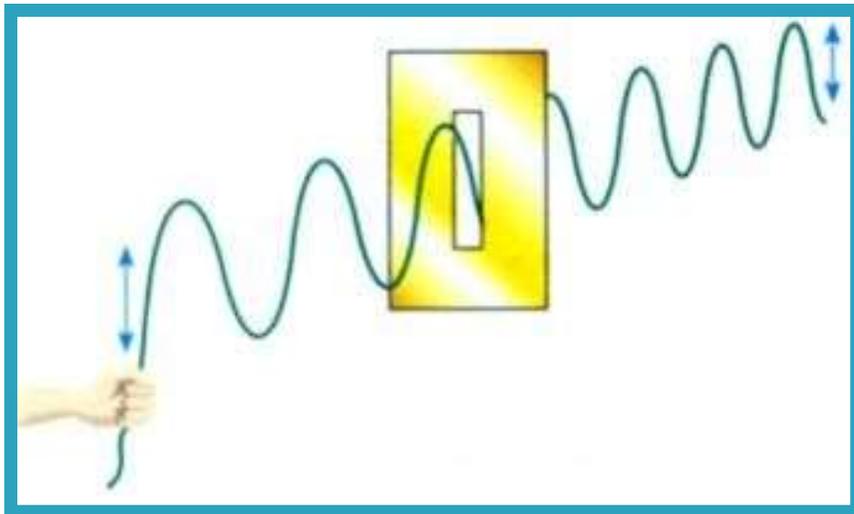
- Polarizar uma onda é fazer com que uma onda não polarizada (várias direções de vibração) se transforme em uma onda polarizada (uma direção de vibração).

# Polarização de ondas em cordas

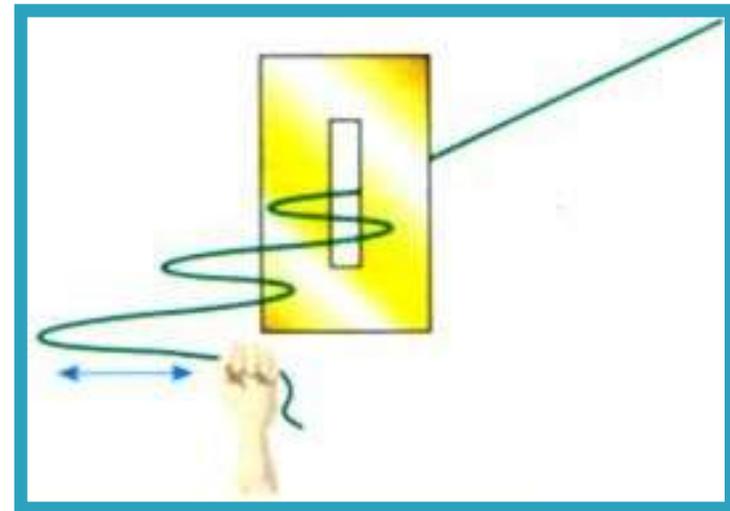


# Polarização de ondas em cordas

- Onda polarizada verticalmente com polarizador vertical.



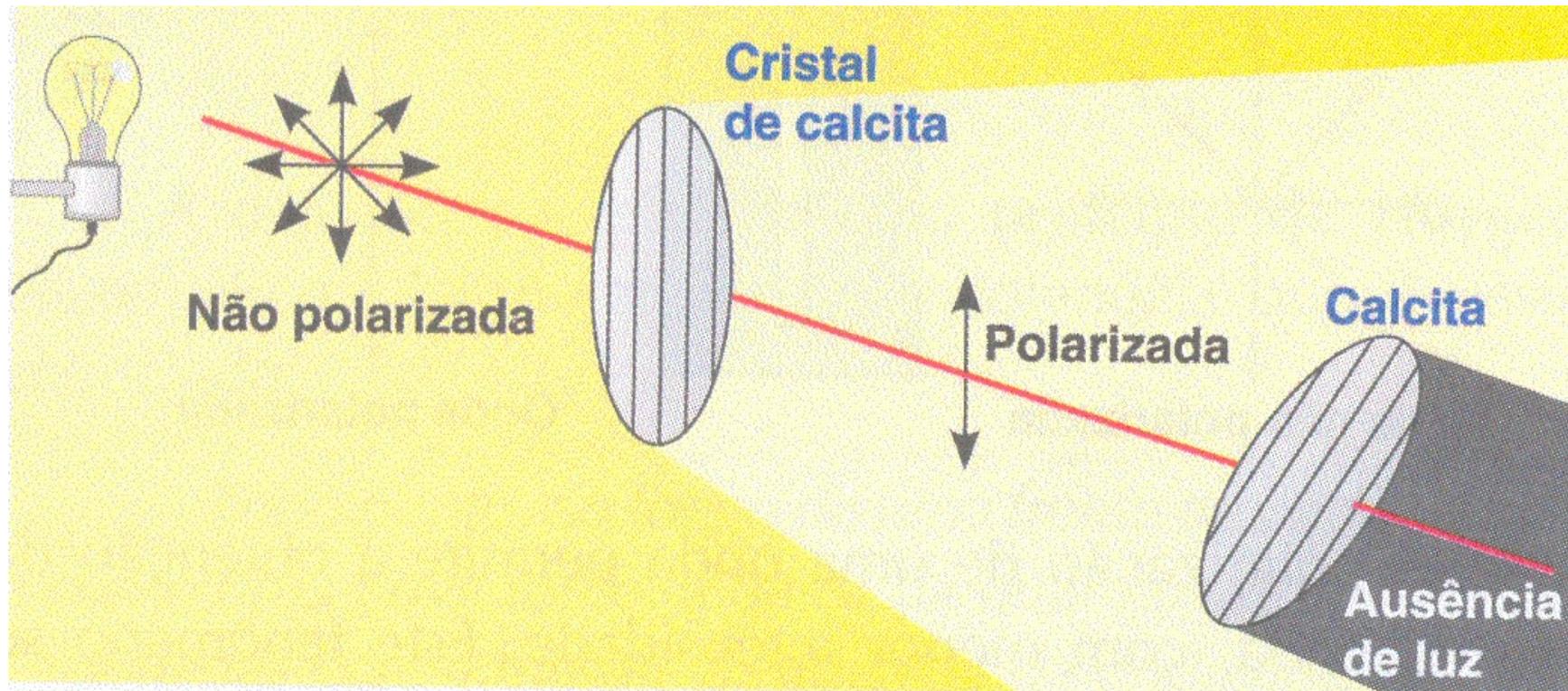
- Onda polarizada horizontalmente com polarizador vertical.



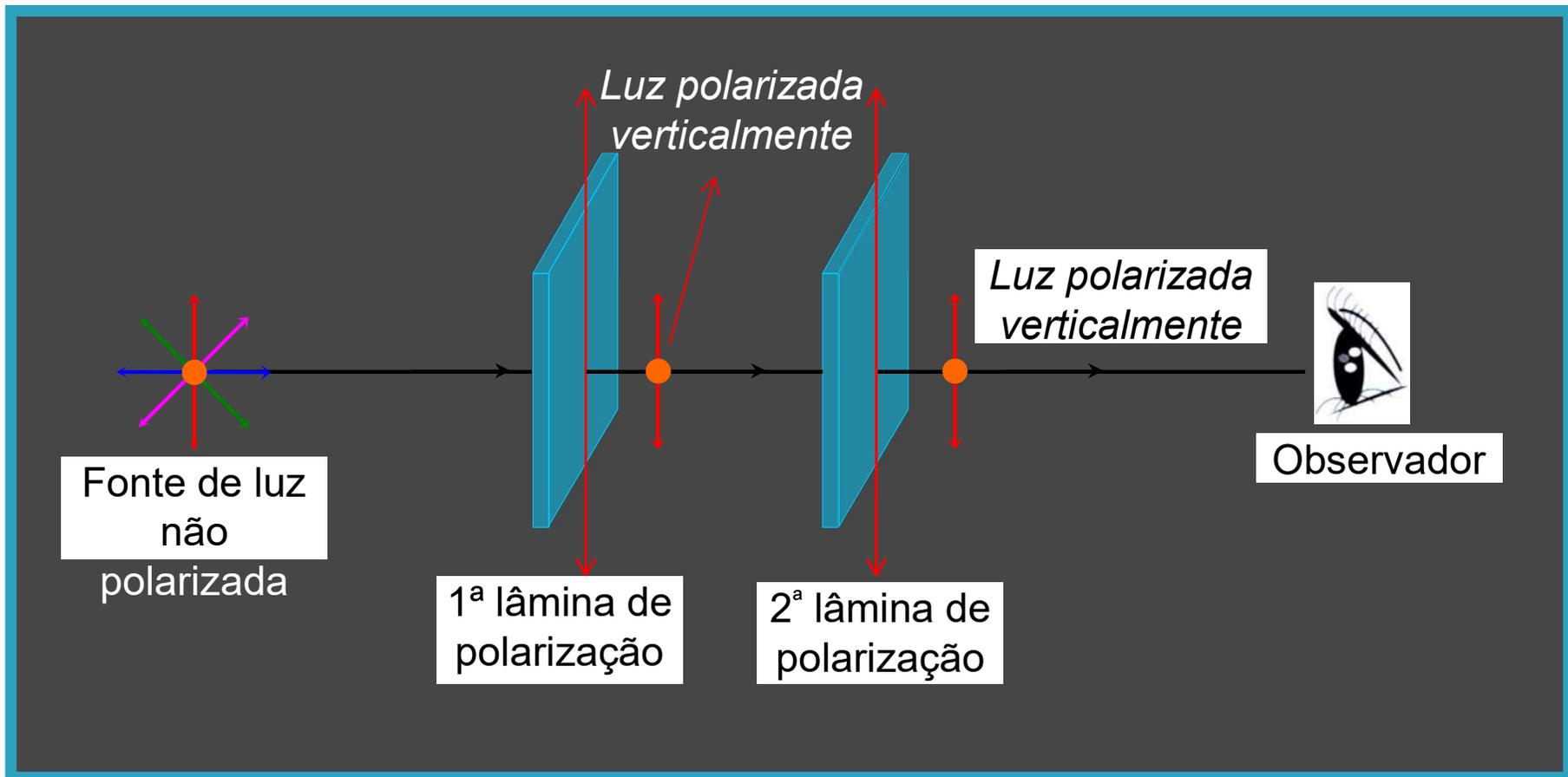
Não existe onda após o polarizador.

# Polarização das ondas luminosas

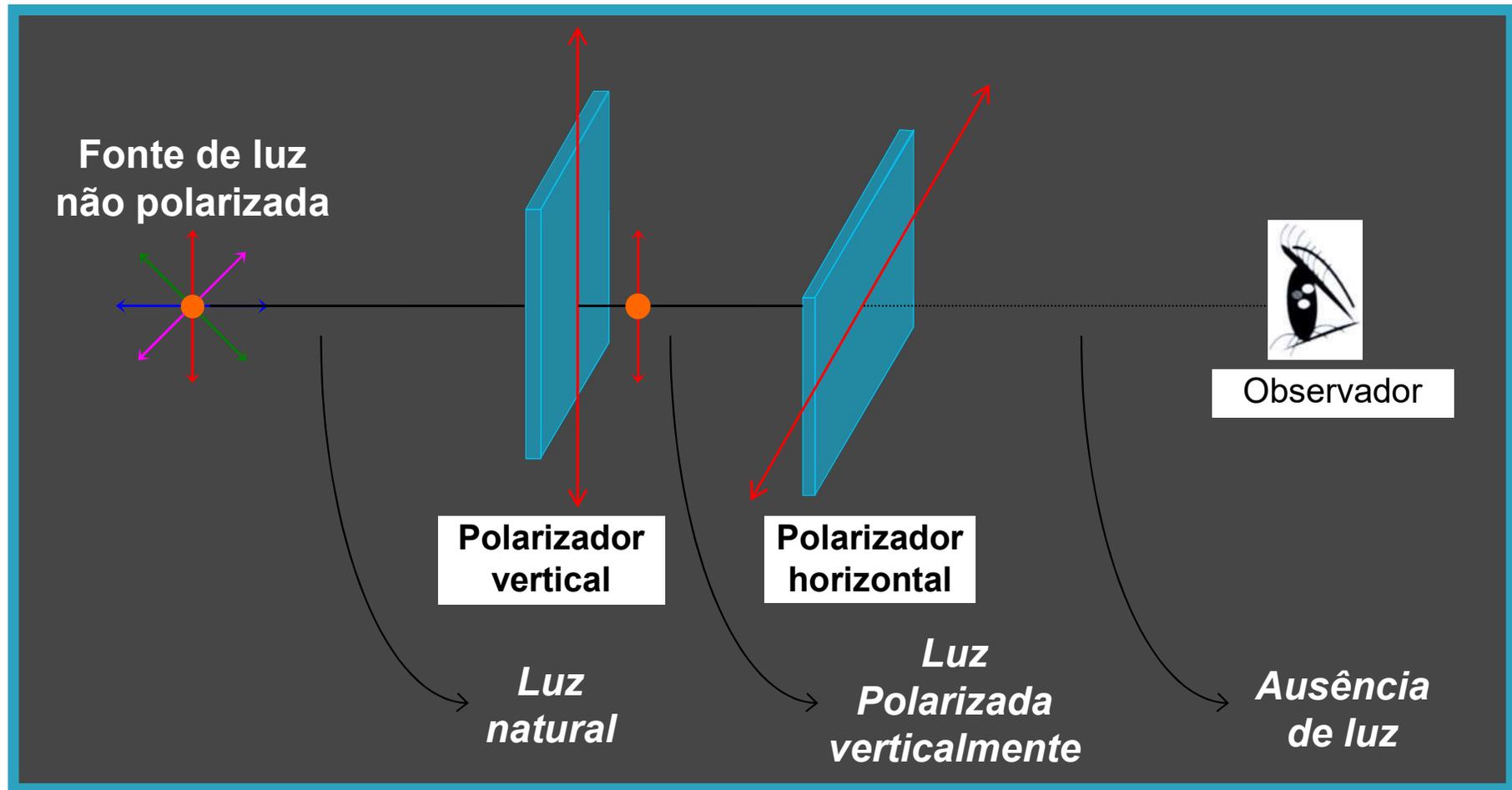
- A luz natural é formada por ondas não polarizadas.



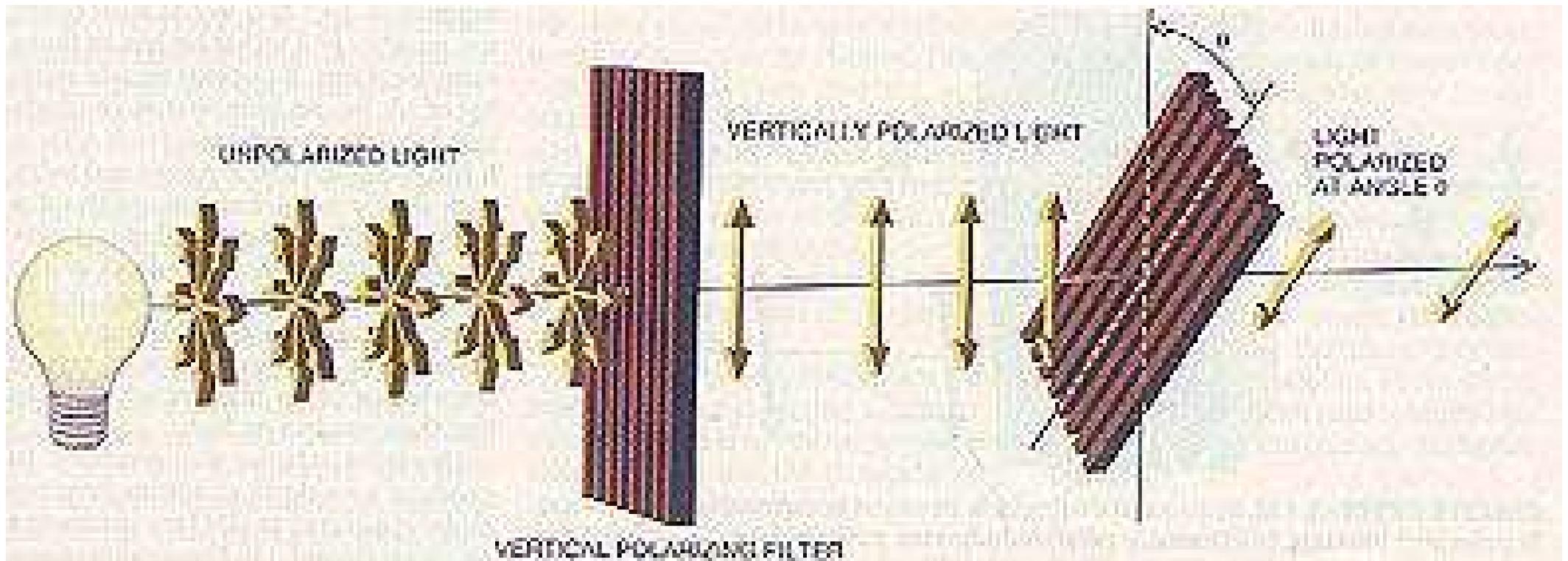
# Polarização da Luz



# Polarização da Luz

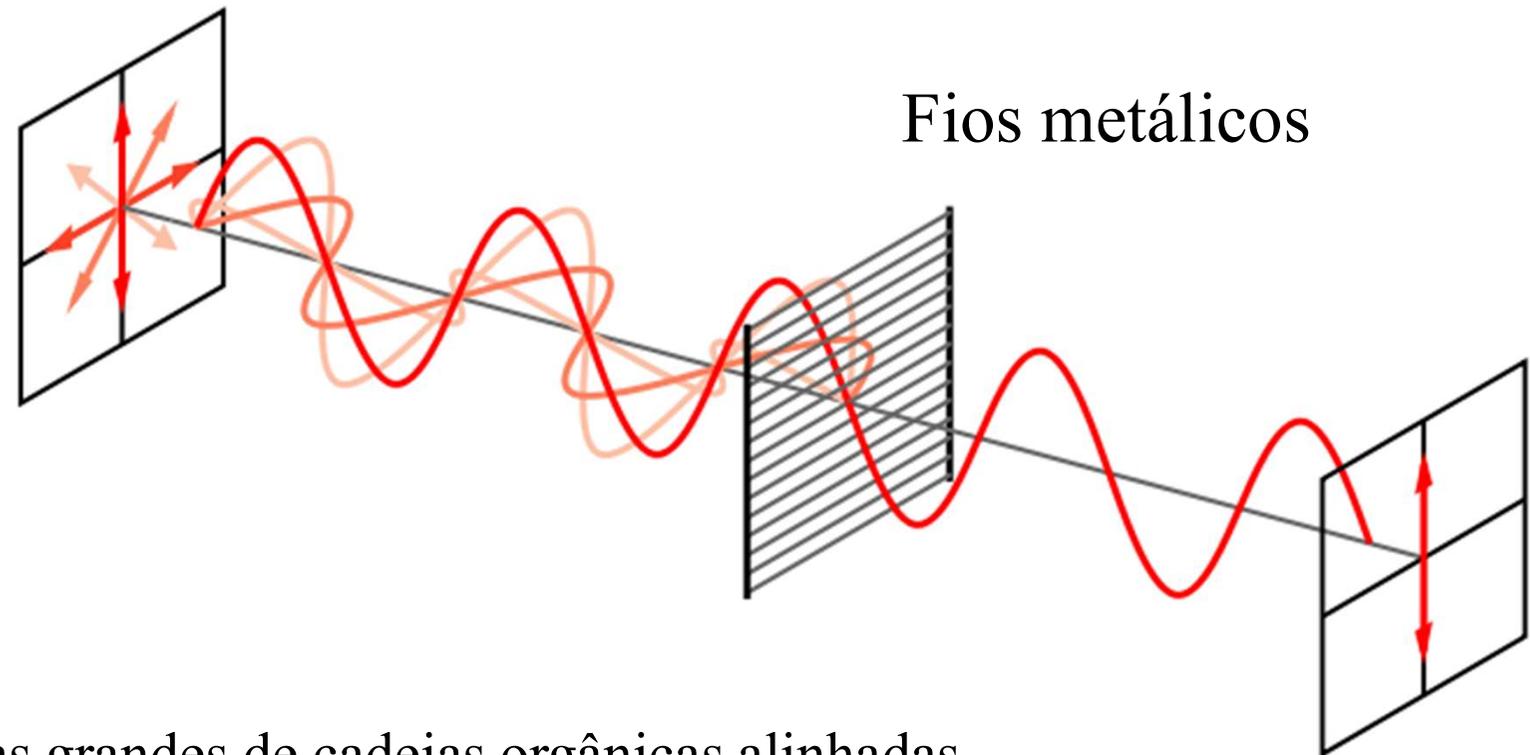


A colocação de dois polarizadores com direções de vibração perpendiculares entre si, impede a passagem da luz.

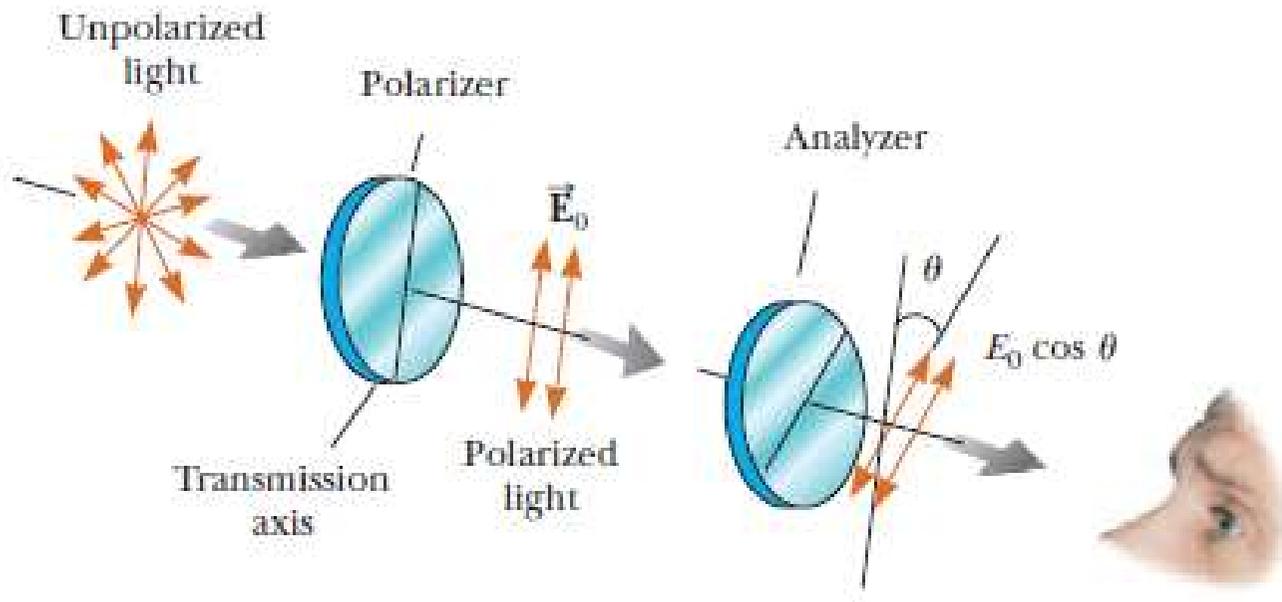


# *Polarizadores*

A luz polarizada em uma dada direção é absorvida pelo material usado na fabricação do polarizador. A intensidade da luz polarizada perpendicularmente a esta direção fica inalterada.

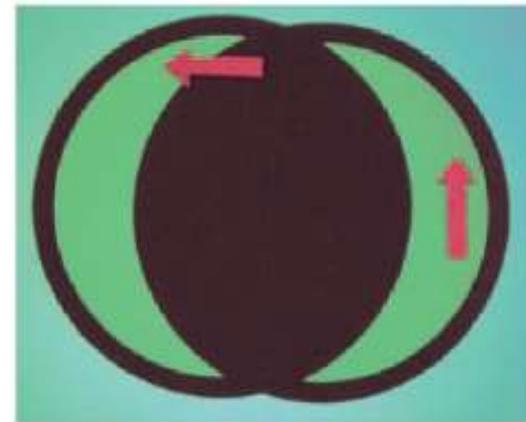
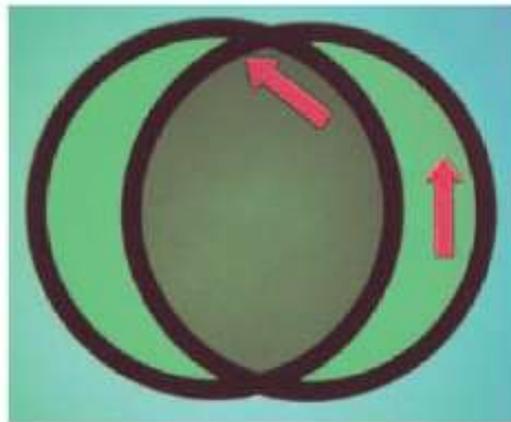
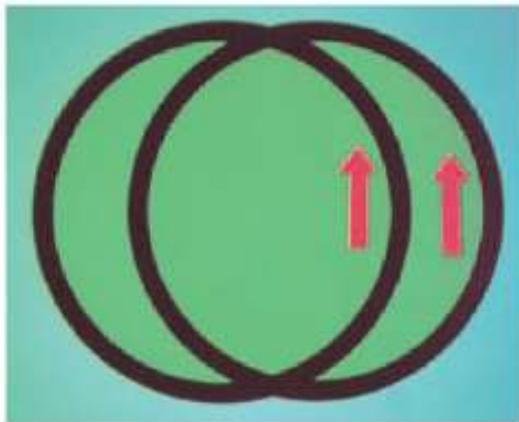


- Moléculas grandes de cadeias orgânicas alinhadas
- Mergulhadas em iodos para se tornarem condutoras
- Condução pelos átomos de carbono



$$I_1 = \frac{I_o}{2}$$

Lei de Malus

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


# *Experimentos de polarização*

- Verificação da Lei de Malus
- Polarização por solução aquosa

