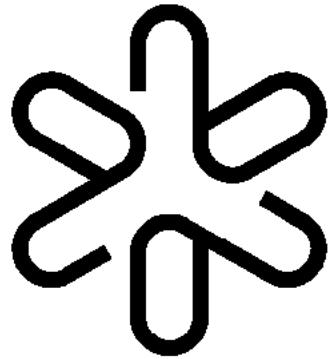




Universidade de São Paulo

Instituto de Física

Física Aplicada

Aula 04

Profa. Márcia de Almeida Rizzutto

Edifício Oscar Sala – sala 220

rizzutto@if.usp.br

1º Semestre de 2019

Equações de Maxwell - 1861

As leis de Faraday mostraram que a eletricidade e o magnetismo estão fundamentalmente conectados

Lei de Gauss: $\oint_S \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{int}}{\epsilon_0}$

Carga elétrica produz campo elétrico

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

Não existem monopolos magnéticos

Lei de Faraday:

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

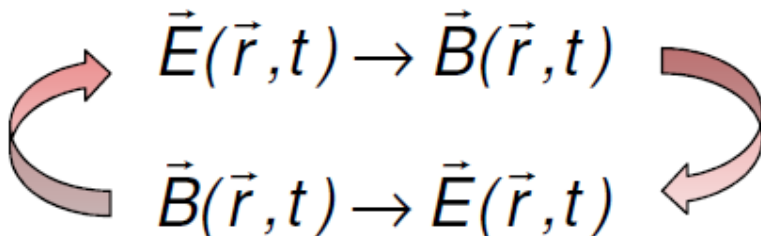
Variação de fluxo magnético com o tempo produz campo elétrico

Mostram que E e B são dependentes do tempo, e um influencia no outro (estão acoplados) como consequência podem transportar energia (momento)

Lei de Ampère-Maxwell:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i_{int} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\phi_E}{dt}$$

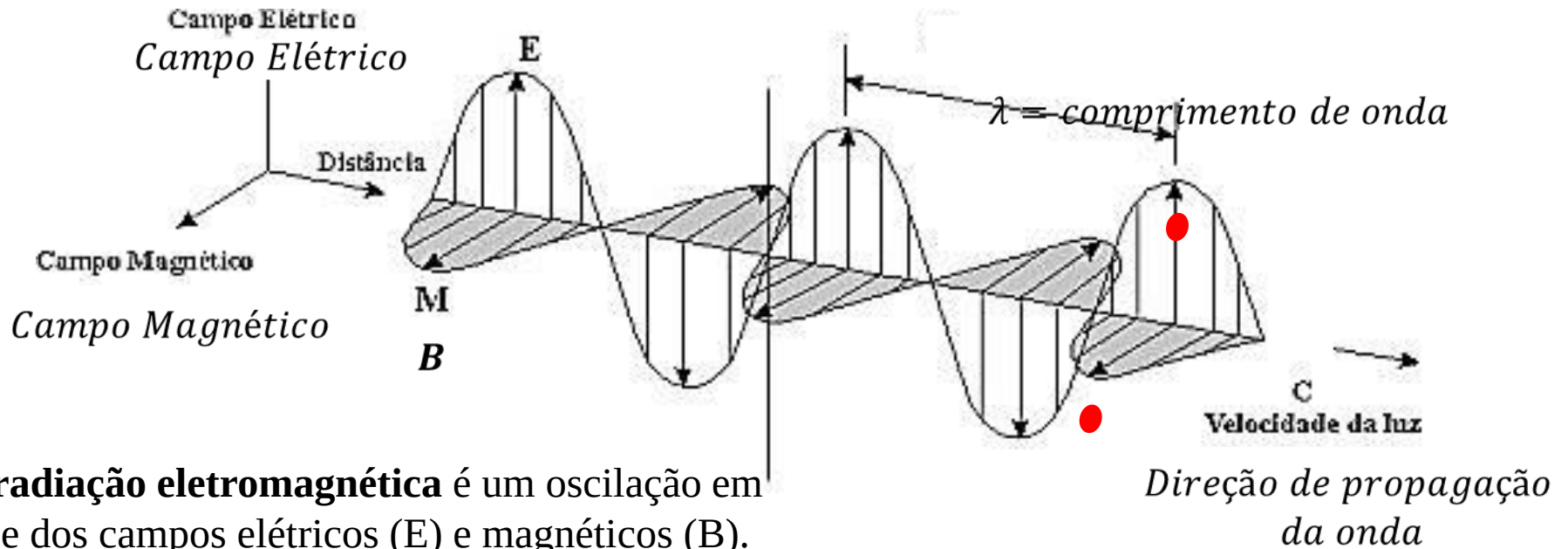
Variação de fluxo elétrico com o tempo e corrente elétrica produzem campo magnético



A variação dos campos elétrico e magnético gera uma perturbação eletromagnética que se propaga de um ponto a outro do espaço:

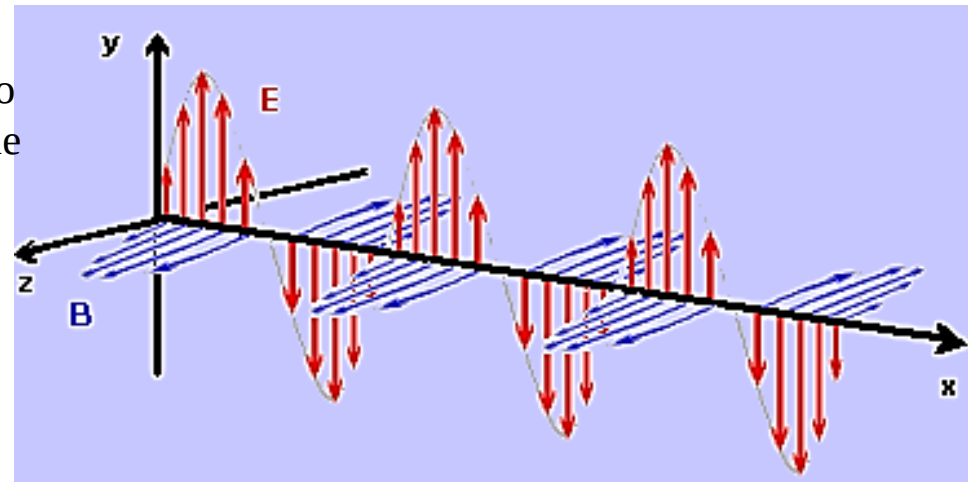
ONDA ELETROMAGNÉTICA

Representação de uma onda eletromagnética



A **radiação eletromagnética** é uma oscilação em fase dos campos elétricos (E) e magnéticos (B).

- As oscilações dos campos magnéticos e elétricos são perpendiculares entre si e podem ser entendidas como a propagação de uma onda transversal, cujas oscilações são perpendiculares à direção do movimento da onda (como as ondas da superfície de uma lâmina de água), que pode se deslocar através do vácuo.
- Do ponto de vista da Mecânica Quântica, pode ser entendidas ainda, como o deslocamento de pequenas partículas, os fótons.



Equação de Onda

Física 2

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

$$y(x, t) = A \cdot \text{sen}(\kappa x \pm \omega t)$$

$$v = \lambda \cdot f$$

Trabalhando algebricamente as Equações de Maxwell, podemos mostrar que:

$$\frac{\partial^2 E}{\partial r^2} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$$

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_m \text{sen}(\kappa r \pm \omega t)$$

$$\frac{\partial^2 B}{\partial r^2} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 B}{\partial t^2}$$

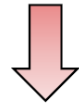
$$\vec{B}(\vec{r}, t) = \vec{B}_m \text{sen}(\kappa r \pm \omega t)$$

Propriedades das Ondas Eletromagnéticas

1. As Ondas Eletromagnéticas são transversais

$\vec{E}(\vec{r}, t)$ e $\vec{B}(\vec{r}, t) \rightarrow$ Perpendiculares entre si

$\vec{E}(\vec{r}, t)$ e $\vec{B}(\vec{r}, t) \rightarrow$ Perpendiculares a direção de propagação da onda ($\vec{c}$)



$$\vec{E}(\vec{r}, t) \times \vec{B}(\vec{r}, t) \rightarrow \vec{c}$$

2. As Ondas Eletromagnéticas se propagam com velocidade constante

No
vácuo:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3,00 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$$

$\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N.m}^2 \Rightarrow$ Constante de permissividade do vácuo.

$\mu_0 = 1,257 \times 10^{-6} \text{ T.m/A} \Rightarrow$ Constante de permeabilidade do vácuo.

Propriedades das Ondas Eletromagnéticas

3. $E = cB$

4. *As Ondas Eletromagnéticas não precisam de um meio para se propagar*

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{500 \times 10^{-9}} = 12.6 \times 10^6 \text{ rad / m}$$

$$c = \lambda.f \Rightarrow f = \frac{3,0 \times 10^8}{500 \times 10^{-9}} = 6.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\omega = 2\pi.f = 3.77 \times 10^{15} \text{ rad / s}$$

Representação de uma onda eletromagnética

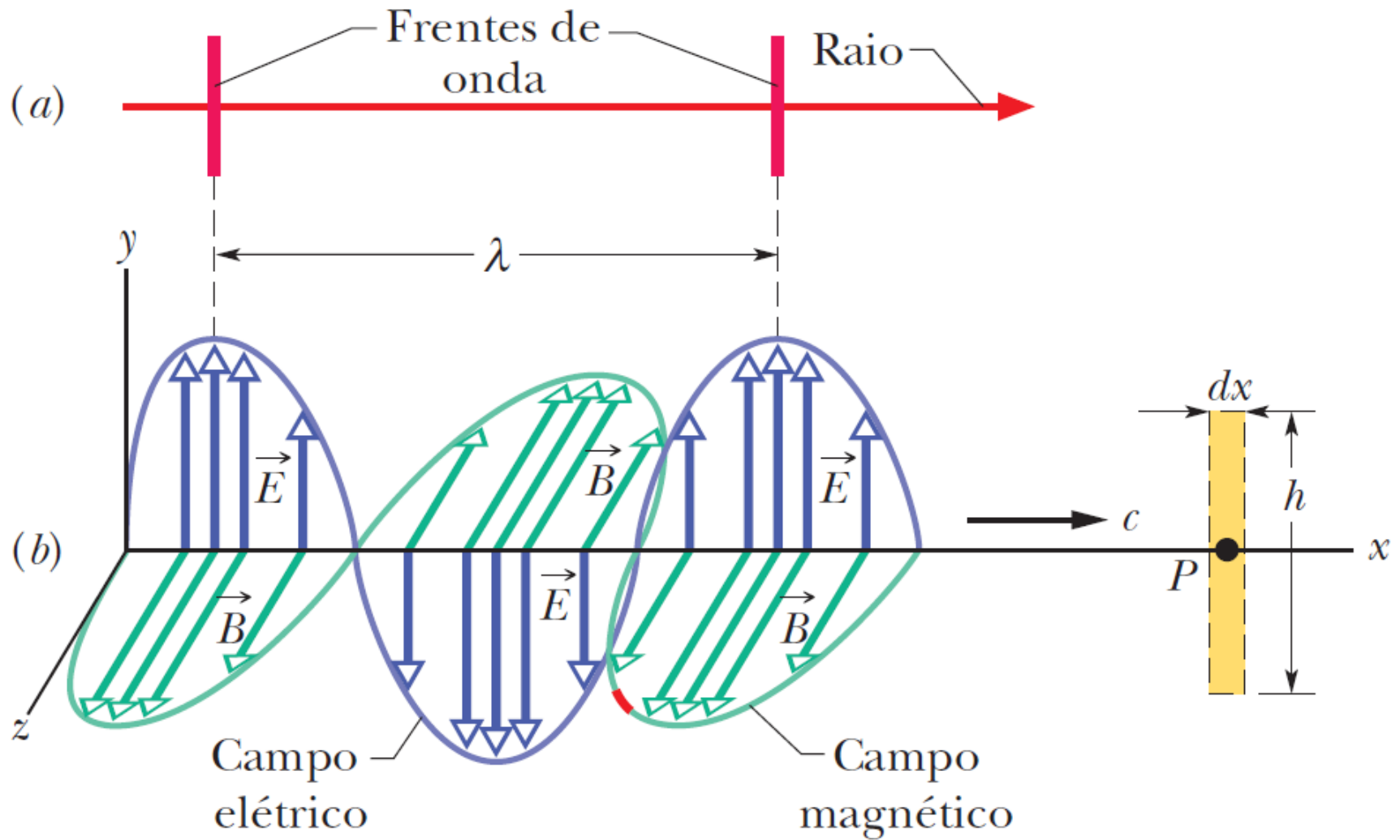


Figura 33-5 (a) Uma onda eletromagnética representada por um raio e duas frentes de onda; as frentes de onda estão separadas por um comprimento de onda λ .

Energia na Onda Eletromagnética

... Vetor de Poynting

Vetor que descreve o fluxo de energia

$$\vec{S} \equiv \text{vetor de Poynting} \equiv \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B}$$

$$S = \frac{1}{\mu_0} |\vec{E}| \cdot |\vec{B}| \cdot \sin 90^\circ = \frac{1}{\mu_0} |\vec{E}| \cdot |\vec{B}| = \frac{1}{\mu_0} \cdot cB \cdot B = \frac{c \cdot B^2}{\mu_0} = \frac{E^2}{\mu_0 c}$$

Porém, no laboratório mede-se a intensidade (I) de uma onda:

$$I = \frac{P}{A}$$

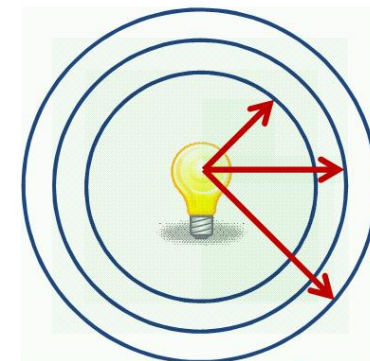
P = Potência Média
 A = Área

$$[I] = \left[\frac{\text{Potência}}{\text{Área}} \right] = \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Exemplo:

Fonte pontual emitindo isotropicamente.
Supondo que a energia é conservada
enquanto a onda se afasta da fonte.

$$I = \frac{\text{Potência}}{\text{Área}} = \frac{P}{4\pi r^2}$$



$$I = P/A$$

Energia na Onda Eletromagnética

Outra forma de calcular a intensidade é:

$$I = \textit{intensidade} = (S)_{\textit{média}} = \left(\frac{E^2}{\mu_0 c} \right)_{\textit{média}} = \left(\frac{E_{\textit{max}}^2 \textit{sen}^2(kx - \omega t)}{\mu_0 c} \right)_{\textit{média}} = \frac{E_{\textit{max}}^2}{2\mu_0 c}$$

Portanto:

$$I = \textit{intensidade} = \frac{E_{\textit{max}}^2}{2\mu_0 c} = \frac{c B_{\textit{max}}^2}{2\mu_0} = \frac{E_{\textit{max}} B_{\textit{max}}}{2\mu_0} = \frac{P}{A}$$

Da teoria clássica da Física, também sabemos que:

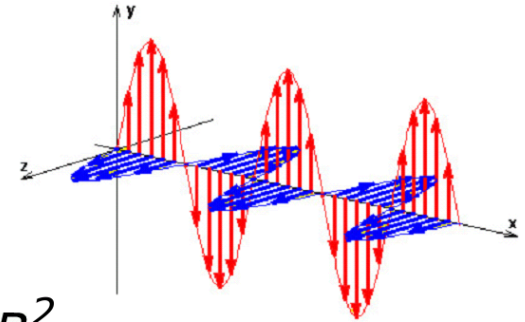
$$P = \textit{potência} = \frac{E}{\Delta t}$$

Note que: a intensidade (ou energia) depende somente da amplitude máxima dos campos elétrico e magnético! Não há dependência com a frequência! Quanto maiores forem as amplitudes máximas maior será a energia!

Densidade de Energia na Onda Eletromagnética

- Densidade de energia elétrica: $u_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$

Física 3 !!



- Densidade de energia magnética: $u_B = \frac{1}{2\mu_0} B^2$

- Densidade de energia da onda eletromagnética:

$[J/m^3]$

$$u = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2\mu_0} B^2$$

$$u(x, t) = \frac{1}{2} \frac{1}{c^2 \mu_0} E^2 + \frac{1}{2\mu_0} \frac{E^2}{c^2}$$

$B = E/c$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

energia transportada na direção da OEM...

Densidade de Energia na Onda Eletromagnética

As ondas eletromagnéticas podem transportar energia (momento)

Quando ambos os campos E e B estão presentes, a densidade de energia é a soma de ambas:

$$\left\{ \begin{aligned} \mu &= \mu_B + \mu_E = \frac{1}{2} \left(\frac{B^2}{\mu_0} + \varepsilon_0 E^2 \right) \\ \mu &= \frac{1}{2} \left(\frac{E^2}{\mu_0 c^2} + \varepsilon_0 E^2 \right) = \frac{E^2}{2} (\varepsilon_0 + \varepsilon_0) = \varepsilon_0 E^2 \end{aligned} \right. \quad \begin{array}{l} \text{B=E/c} \\ c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} \end{array}$$

$$(u)_{\text{média}} = (\varepsilon_0 E^2)_{\text{média}} = (\varepsilon_0 E_{\text{max}}^2 \sin^2(kx - \omega t))_{\text{média}} = \frac{\varepsilon_0 E_{\text{max}}^2}{2}$$

Assim, a densidade média de energia será:

$$(\mu)_{\text{média}} = \frac{\varepsilon_0 E_{\text{max}}^2}{2} = \frac{E_{\text{max}}^2}{2\mu_0 c^2}$$

Pressão de Radiação

As ondas eletromagnéticas também possuem momento linear ➡ podemos exercer pressão sobre objetos ➡ **Pressão de Radiação**.

Superfície absorvedora:

$$\Delta p = \frac{\Delta U}{c}$$

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$\Delta U = I \cdot A \cdot \Delta t$$



$$\left[\frac{J}{s \cdot m^2} \right]$$

$$p_r = \frac{I}{c}$$

Superfície refletora:

$$p_r = \frac{2I}{c}$$

$$F = \frac{IA}{c}$$
$$\frac{F}{A} = \frac{I}{c} = u$$

Quando ondas eletromagnéticas são absorvidas ou refletidas, elas transferem momento a matéria com a qual interagem. A razão entre a força exercida por unidade e área A é chamada de pressão da radiação

Aplicação: Pressão de Radiação

Superfície absorvedora:

$$\frac{F}{A} = \frac{I}{c} = u \rightarrow \text{Pressão de radiação}$$

Exemplo: A intensidade (fluxo de energia média) da radiação solar que chega na Terra é $1,4 \times 10^3 \text{ W/m}^2$. Compare a força exercida pela radiação solar na absorção total de partículas de sujeiras ($d=10^{-6} \text{ m}$ e densidade $=3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) com a Força de gravidade do Sol. Assumimos que as partículas estejam na distância Terra-Sol ($R=1,5 \times 10^{11} \text{ m}$) e a massa do sol é $M = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$.

A área e a massa das partículas de sujeiras é:

$$m = \rho \frac{4}{3} \pi r^3 = (3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) \cdot \frac{4}{3} \pi (0,5 \times 10^{-6} \text{ m})^3$$
$$m = 1,6 \times 10^{-15} \text{ kg}$$

$$F = uA = (0,5 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2) \cdot (0,8 \times 10^{-12} \text{ m}^2)$$
$$F = 0,4 \times 10^{-17} \text{ N}$$

Forças comparáveis, a pressão da radiação mantém as partículas de sujeiras no espaço interplanetário

$$u = \frac{I}{c} = \frac{1,4 \times 10^3 \text{ W/m}^2}{3 \times 10^8 \text{ m/s}} = 0,5 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

$$A = \pi r^2 = \pi (0,5 \times 10^{-6} \text{ m})^2 = 0,8 \times 10^{-12} \text{ m}^2$$

$$F_g = \frac{GmM_{\text{sol}}}{R^2} = \frac{(6,67 \times 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}) \cdot (1,6 \times 10^{-15} \text{ kg}) \cdot (2 \times 10^{30} \text{ kg})}{(1,5 \times 10^{11} \text{ m})^2}$$

$$F_g = 0,9 \times 10^{-17} \text{ N}$$

Pressão de Radiação (exemplos)

- Os cometas são feitos de uma mistura de **gelo e poeira**, como uma bola de gelo sujo.
- À medida que eles se aproximam do Sol, parte do gelo se derrete, formando uma grande nuvem de gás e poeira ao redor do cometa, chamada **coma**.
- O calor e o vento solar proveniente do Sol sopram o gás e a poeira da coma formando a **cauda**.
- Essa cauda sempre aponta na direção oposta à do Sol.
- Normalmente podem ser observadas duas caudas, uma **cauda de gás** e uma **cauda de poeira**.
- A cauda de poeira é mais larga, curva e amarela porque brilha devido à reflexão da luz solar na poeira.
- A cauda de gás é reta e azul, pois brilha devido à emissão do monóxido de carbono ionizado (plasma).



Pressão de Radiação (exemplos - espaçonave de vela solar)

Uma vela solar é um espelho grande que reflete os raios solares. **Velas solares** são um tipo de propulsão que utiliza pressão de radiação para gerar aceleração. .

Enquanto os fótons de luz solar atingem a vela, impulsionando-a, levam a espaçonave a incidir sua força cinética sobre outros corpos.

Porque há muitos fótons de luz solar e estão constantemente atingindo a vela, há uma pressão constante (força por unidade de área) exercida sobre a vela que produz uma aceleração constante da espaçonave.

Embora a força em uma espaçonave de vela solar seja menor que a de um foguete convencional químico como, por exemplo, o de um ônibus espacial, a nave espacial de vela solar acelera constantemente com o passar do tempo e atinge uma velocidade maior.

É como comparar os efeitos de uma rajada de vento versus uma brisa serena em uma semente flutuando no ar.

Embora a rajada (motor do foguete) inicialmente empurre a semente com maior força, ela morre rápido e a semente para por aí.

Em oposição, a brisa de modo fraco empurra a semente durante um período maior e ela vai mais longe.

As velas solares fazem com que a espaçonave se mova dentro do sistema solar entre as estrelas sem grandes motores de foguete e muito combustível.



Contexto Tecnológico: A Energia Solar

Quanto de energia solar chega à Terra?

CONTEXTO 1: Uma primeira pergunta interessante seria aferir quanta energia do Sol chega ao nosso planeta Terra para posteriormente podermos armazená-la de modo adequado. Sabendo que a potência do Sol é $3,846 \times 10^{26} \text{ W}$ e que a distância da Terra ao Sol é $1,496 \times 10^{11} \text{ m}$, estime a intensidade da luz solar que chega à Terra ao longo de um dia. Para os cálculos, lembre-se que o Sol é uma fonte de luz isotrópica.

$$I_{1 \text{ seg}} = \frac{P}{\text{Área}} = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{3,846 \times 10^{26}}{4\pi(1,496 \times 10^{11})^2} = 1367,52 \text{ W/m}^2$$

$$I_{1 \text{ dia}} = 1367,52 \frac{\text{J}}{\text{sm}^2} \times \frac{3600\text{s}}{1\text{hora}} \times \frac{24\text{horas}}{1 \text{ dia}} \cong 1,2 \times 10^8 \frac{\text{J}}{\text{dia m}^2}$$

Contexto Tecnológico: A Energia Solar

Quanto de energia solar chega à Terra?

CONTEXTO 2: Estime quanto de energia em Joule que chega à superfície da Terra em um dia, supondo a seção de choque da Terra como sendo πR^2 , conforme ilustrado na figura ao lado. Note que nesse raciocínio não é usado a área de um hemisfério terrestre, pois a intensidade calculada no item anterior, correspondia a uma incidência de normal e o hemisfério apresenta diferentes ângulos de recepção da energia solar. Consideraremos a área da Terra sendo exposta perpendicularmente à radiação solar. No cálculo solicitado adote o raio da Terra como sendo 6400 km.

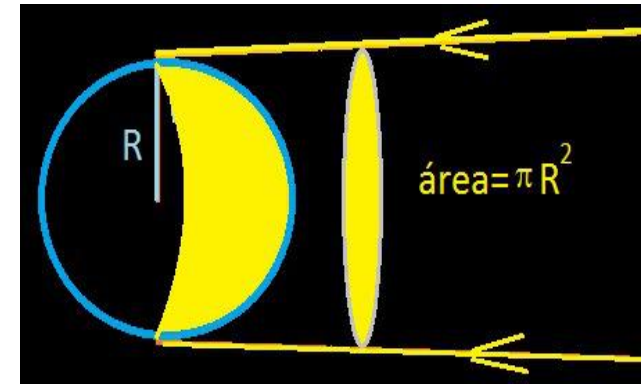


Figura: Hipótese adotada da incidência normal da luz solar sobre a Terra.

$$I = \frac{E}{\Delta t \text{ Área}} \rightarrow \frac{E}{\Delta t} = I \text{ Área} = I(\pi R^2)$$

$$\frac{E}{1 \text{ dia}} = 1,2 \times 10^8 (\pi(6400 \times 10^3)^2) \cong 1,5 \times 10^{22} \frac{J}{\text{dia}}$$

Contexto Tecnológico: A Energia Solar

CONTEXTO 3: Tendo em mãos os valores obtidos nos itens anteriores temos:

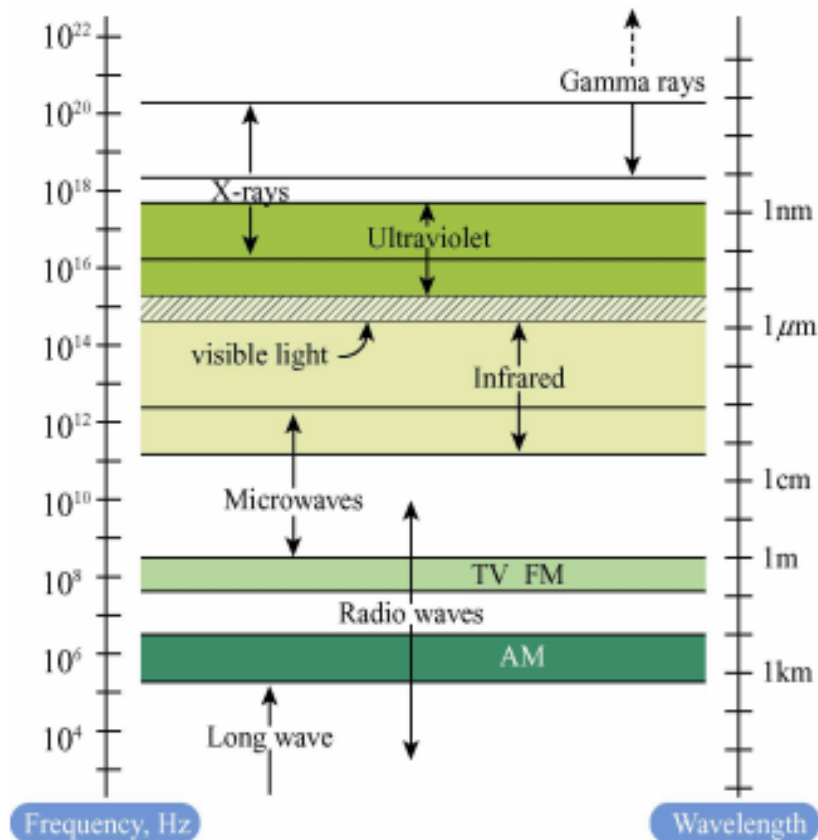
	Energia (J)	Tempo necessário de incidência solar
Reservas mundiais de combustíveis fósseis*	$3,0 \times 10^{23} \text{J}$	$\frac{3,0 \times 10^{23} \text{J}}{1,5 \times 10^{22} \frac{\text{J}}{\text{dia}}} = 20 \text{ dias}$
Consumo mundial de energia pelo homem ao longo de um ano	$4,6 \times 10^{20} \text{J}$	$\frac{4,6 \times 10^{20} \text{J}}{1,5 \times 10^{22} \frac{\text{J}}{\text{dia}}} \cong 0,031 \text{ dia} \cong 0,74 \text{ hora} \cong 1 \text{ hora}$
Número de anos que as reservas mundiais perdurarão considerando que o consumo mundial de energia permaneça constante	$\frac{3,0 \times 10^{23} \text{J}}{4,6 \times 10^{20} \frac{\text{J}}{\text{ano}}}$ $\cong 652 \text{ anos}$	

*Petróleo, gás natural e carvão mineral

<http://www.autoracing.com.br/forum/index.php?showtopic=54831>

Ondas eletromagnéticas

- **Ondas** eletromagnéticas são observadas em um grande intervalo de frequencias



Fontes natural ou artificiais de Megahertz propduzem ondas de raio

Ondas de radio

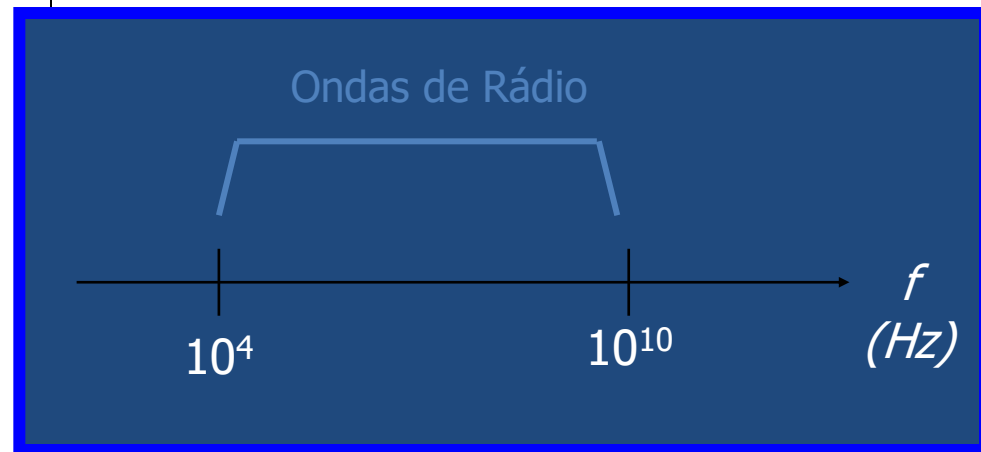


Figure 13.4.4 Electromagnetic spectrum

Radiação eletromagnética

Ondas Eletromagnéticas são produzidas quando cargas elétricas são aceleradas

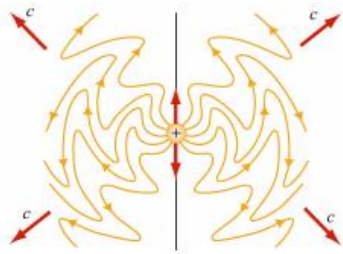
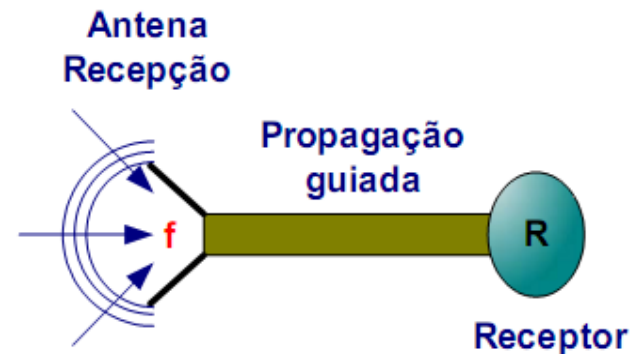
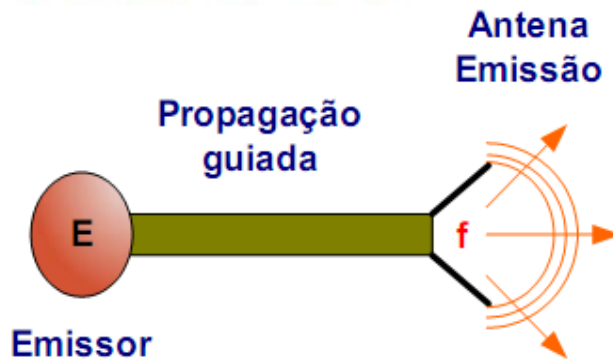


Figure 13.8.1 Electric field lines of an oscillating point charge

Sistemas que aceleram cargas inicializam as ondas eletromagnéticas: antenas de radiodifusão

Sistemas que detectamos a resposta das cargas aos campos de uma onda eletromagnética: antenas receptoras



O sistema mais simples para produção de ondas eletromagnéticas é aplicando uma fonte de voltagem senoidal: antena de dipolo – radiação de dipolo

Radiação eletromagnética

A antena de dipolo é formada por cargas que se movem com movimentos harmônicos ao longo de uma linha

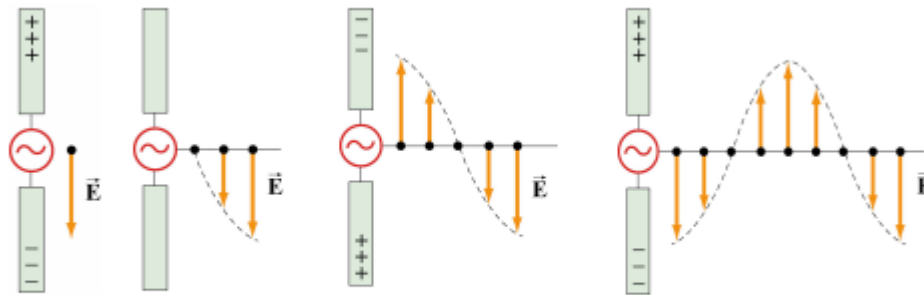


Figure 13.8.2 Electric fields produced by an electric-dipole antenna.

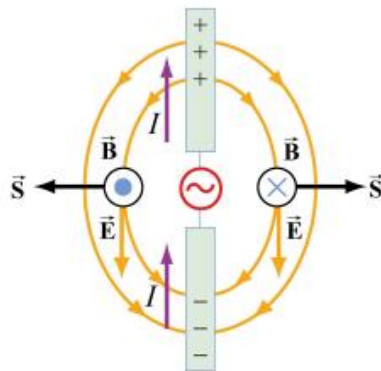


Figure 13.8.3 Electric and magnetic field lines produced by an electric-dipole antenna.

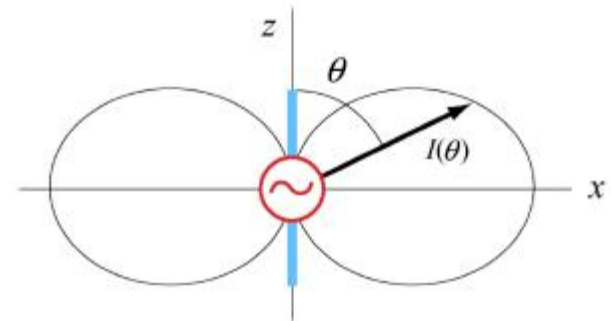


Figure 13.8.4 Angular dependence of the radiation intensity.

Radiação eletromagnética

LORAN (Long-Range Navigation System)

- Sistema de navegação de longa distância criado no início da década de **1940**
- Muito utilizado durante a II Guerra Mundial
- A posição é determinada pela análise do intervalo de tempo entre pulsos de sinais de rádio entre duas ou mais estações terrestres de coordenadas conhecidas.

GPS

- Abreviatura de *Global Positioning System*
- Sistema de radionavegação desenvolvido pelo Departamento de Defesa (DeD) do Estados Unidos que fornece posicionamento altamente preciso para usuários militares e civis
- Nome verdadeiro: NAVSTAR (Navigation System with Time and Ranging)

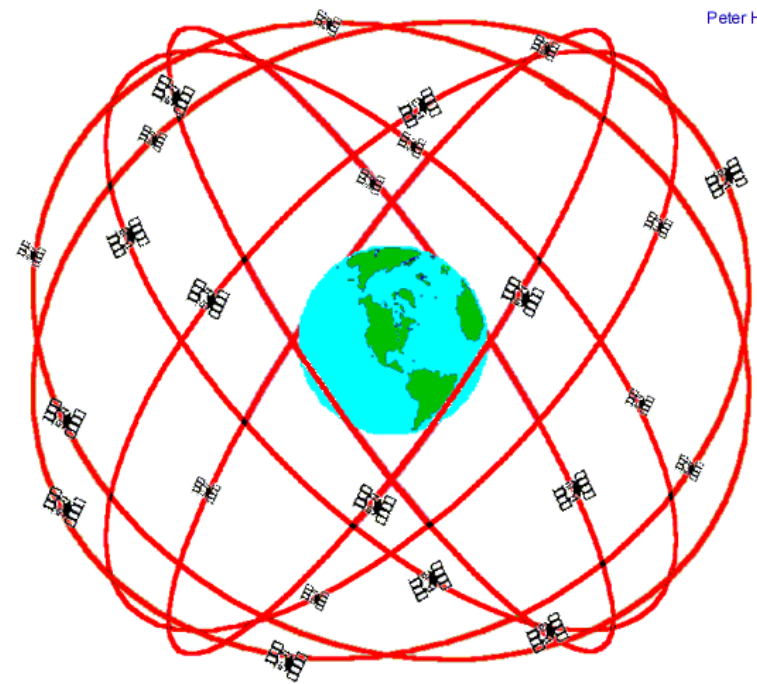
- Permite a qualquer usuário saber a sua localização, velocidade e tempo, 24 horas por dia, sob quaisquer condições atmosféricas e em qualquer ponto do globo terrestre.
- Não necessita de visibilidade entre as estações (métodos de levantamento convencionais).
- Adota como referência o elipsóide *World Geodetic System* de 1984 (WGS-84).

Histórico do GPS

- **1978**, primeiro satélite lançado;
- **1978 a 1985**, 11 satélites são lançados
- **1983**, sistema disponível para o uso civil
- **1993**, constelação de 24 satélites é alcançada
- **1995**, sistema é declarado operacional
- **1 de maio de 2000**, código SA é desativado, aumentando Precisão para uso civil de 100 m para 10 m;

Componente Espacial

- Constelação de 24 satélites em 6 planos orbitais (4 satélites em cada plano)
- Altitude de cerca de 20.200 km
Inclinação de 55° do Equador
- Concebido de forma que existam no mínimo 4 satélites visíveis acima do horizonte em qualquer ponto da superfície e em qualquer altura.
- Cada satélite construído para durar aproximadamente 10 anos;
- Constantemente estão sendo construídas substituições e lançadas em órbita.

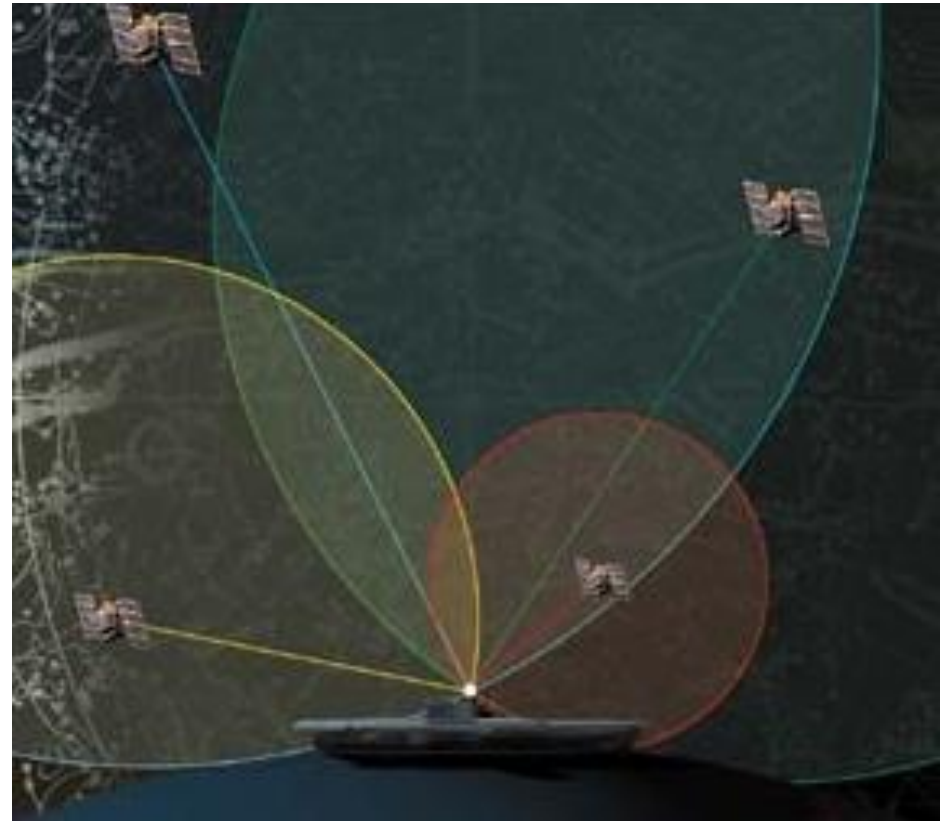




Localização das estações de controle GPS

Como funciona o GPS?

- Baseia-se na determinação da distância entre um ponto, o receptor, a outros de referência, os satélites.
- Sabendo a distância que nos separa de 3 pontos podemos determinar a nossa posição relativa a esses pontos através da intersecção de 3 circunferências cujos raios são as distancias medidas entre o receptor e os satélites
- São necessários, no mínimo, 4 satélites para determinar a nossa posição corretamente.



Característica das ondas portadoras

- Os satélites transmitem constantemente duas ondas portadoras na banda L (usada para rádio), geradas simultaneamente a partir de uma frequência fundamental de 10,23 MHz:

Onda portadora L1 (Link one)

Frequência: 1575.42 MHz ($154 \times 10,23$ MHz)

Comprimento: 19 cm

Onda portadora L2 (Link two)

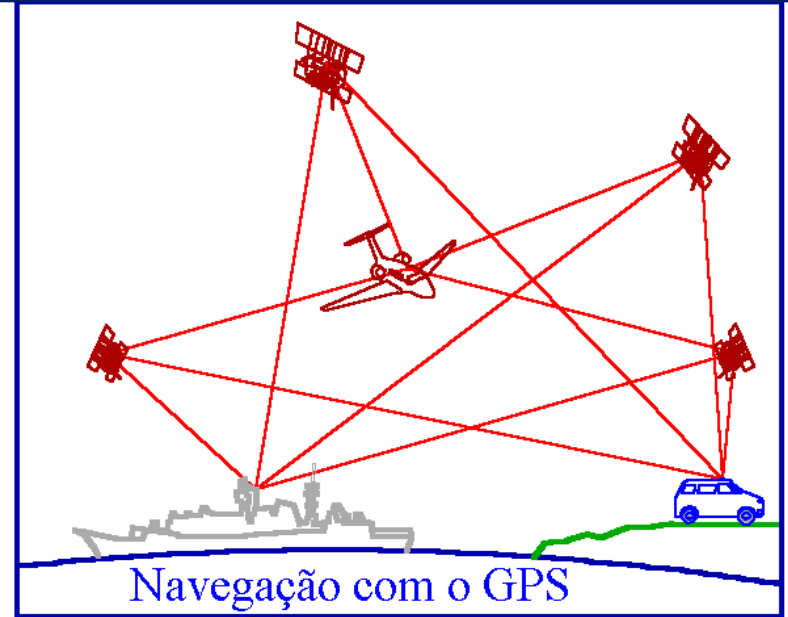
Frequência: 1227,60 MHz ($120 \times 10,23$ MHz)

Comprimento: 24 cm

GPS

Aplicação

- Transportes (logística)
- Esporte e Lazer
- Proteção Civil
- Topografia e Geodésia
- Militares
- Meteorologia
- Monitoramento de Abalos Sísmicos
- Roteiros de Viagens
- Georreferenciamento de imagens de satélite
- Atualização de informações cartográficas
- Atualização de Sistemas de Informação Geográfica



Objects Location and Management (OLM)

- Não apenas os veículos podem ser monitorados, mas também qualquer outro objeto
- Carga do caminhão;
- Cabeças de gado;
- Tornozeleiras para presidiários



Ondas eletromagnéticas

- **Ondas** eletromagnéticas são observadas em um grande intervalo de frequencias

Ondas de radio



1 Hz = 1 Hertz = um ciclo por segundo
1 KHz = 1 Kilo Hertz = 1.000 Hz = 1.000 ciclos por segundo = 10^3
1 MHz = 1 Mega Hertz = 1.000.000 Hz = 10^6 = um milhão de ciclos por segundo
1 GHz = 1 Giga Hertz = 1.000.000.000 Hz = 10^9 = um bilhão de ciclos por segundo
1 THz = 1 Tera Hertz = 10^{12}
1 PHz = 1 Penta Hertz = 10^{15}

Tabela de Frequências usadas nas
Comunicações Marítimas

Freq.	até 30 khz	30 a 300 khz	300 khz a 3 Mhz	3 a 30 Mhz	30 Mhz a 300 Mhz	300 Mhz a 3 Ghz	3 a 30 Ghz	30 a 300 Ghz
Faixa	VLF	LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF	EHF

Ondas eletromagnéticas

- ❑ **VLF (Very Low Frequency – Frequência Muito Baixa) – frequências-rádio menores que 30 KHz. É utilizada na navegação hiperbólica.**
- ❑ **LF (Low Frequency – Frequência Baixa) – vai de 30 a 300 KHz, sendo também aplicada na navegação hiperbólica e em radiofaróis (radiogoniometria).**
- ❑ **MF (Medium Frequency – Frequência Média) – Faixa que vai de 300 KHz a 3 MHz, usada na sua parte mais baixa por radiofaróis e comunicações a média distância. Também é conhecida como Ondas Médias.**
- ❑ **HF (High Frequency – Frequência Alta) – Faixa de 3 MHz a 30 MHz; usada, principalmente, em comunicações a grandes distâncias. Conhecida também como Ondas Curtas.**
- ❑ **VHF (Very High Frequency – Frequência Muito Alta) – Faixa entre 30 MHz e 300 MHz, usada em comunicações de curta e média distâncias.**
- ❑ **UHF (Ultra High Frequency – Frequência Ultra Alta) – Faixa de 300 MHz a 3 GHz; usada em comunicações a curtas distâncias.**
- ❑ **SHF (Super High Frequency – Frequência Super Alta) – Faixa de 3 GHz a 30 GHz.**
- ❑ **EHF (Extremely High Frequency – Frequência Extremamente Alta) – Faixa de 30 GHz a 300 GHz, usada em radares e radioastronomia.**

As faixas de maior uso nas Comunicações marítimas são: VHF e UHF.

Ondas eletromagnéticas: propagação ondas rádio

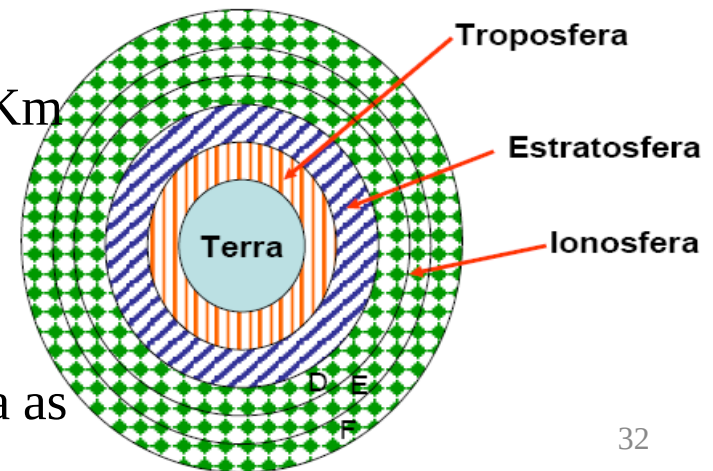
➤ **Composição da Atmosfera: três camadas.**

1 - Troposfera:

- Camada adjacente à superfície terrestre e se estende até uma altitude de 11 Km. É composta de gases, como oxigênio, nitrogênio e o dióxido de carbono.
- Camada transparente à radiação solar, cuja temperatura decresce com a altitude.
- Nessa camada o principal efeito na propagação das ondas de rádio é o da refração, que atua na trajetória das ondas com o aumento da velocidade de propagação devido à elevação da altitude.

2 - Estratosfera:

- Camada seguinte à troposfera que estende de 11 Km até cerca de 50 Km com temperatura constante de -50°C .
- É uma camada estável para propagação de sinais de rádio, embora possua pouco interesse para as telecomunicações.



Ondas eletromagnéticas: propagação ondas rádio

3 - Ionosfera:

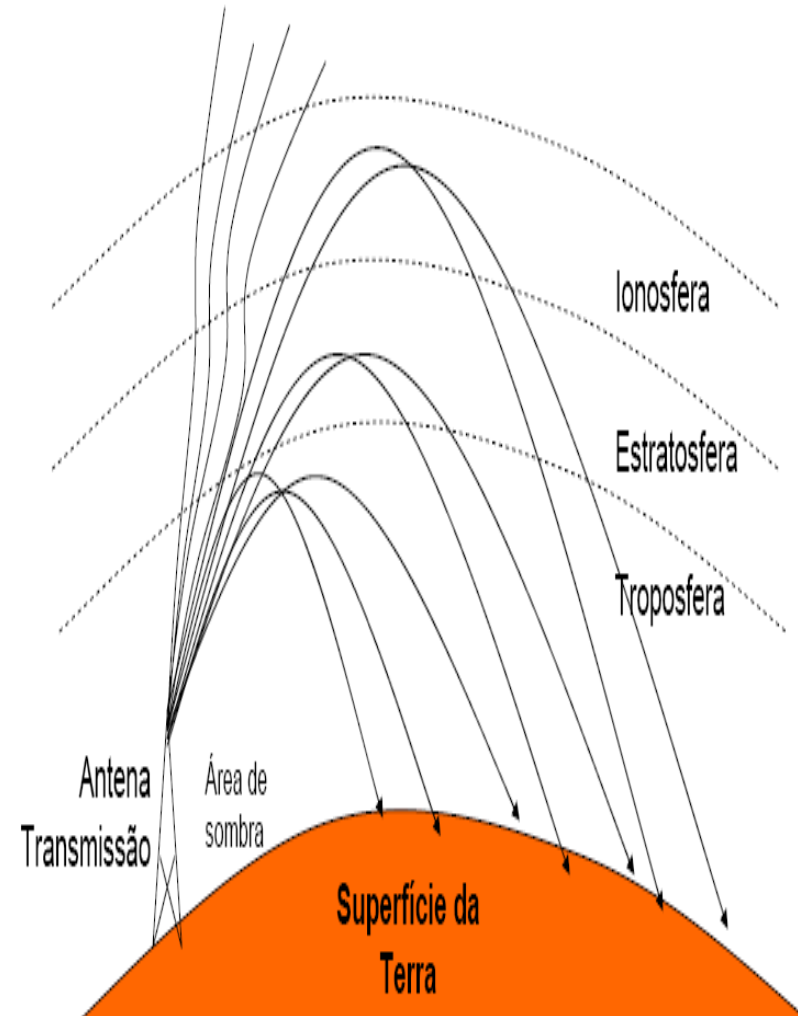
- Altitudes superiores a 50Km.
- Acontece em três ou quatro camadas distintas.
- É utilizada nas faixas de VLF, LF, MF e HF.

4 - Ondas de Superfície

A onda de superfície representa a parcela do campo irradiado que se propaga ao longo do contorno da terra, como se estivesse acompanhando uma estrutura física que a confinasse na região.

Para baixas frequências este tipo de propagação se combina com as ondas ionosféricas, resultando numa condição para cobertura local e para cobertura em longas distâncias (em alguns casos a cobertura pode assumir distâncias intercontinentais).

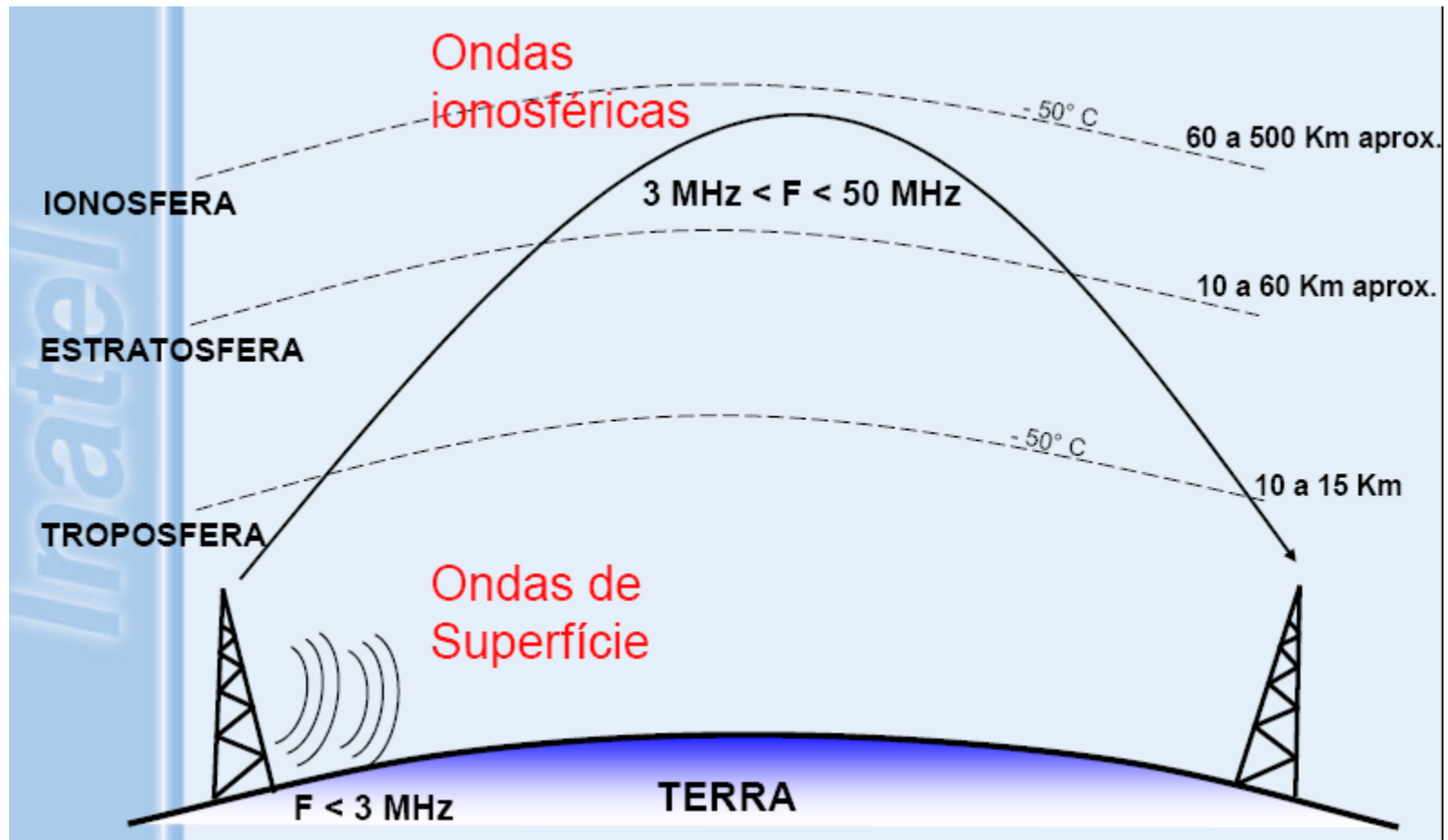
Ocorrem para frequências inferiores a 3MHz



Os caminhos possíveis para as ondas se propagarem:

➤ Tipos de propagação atmosférica

Ondas de Superfície



Tipos de propagação atmosférica

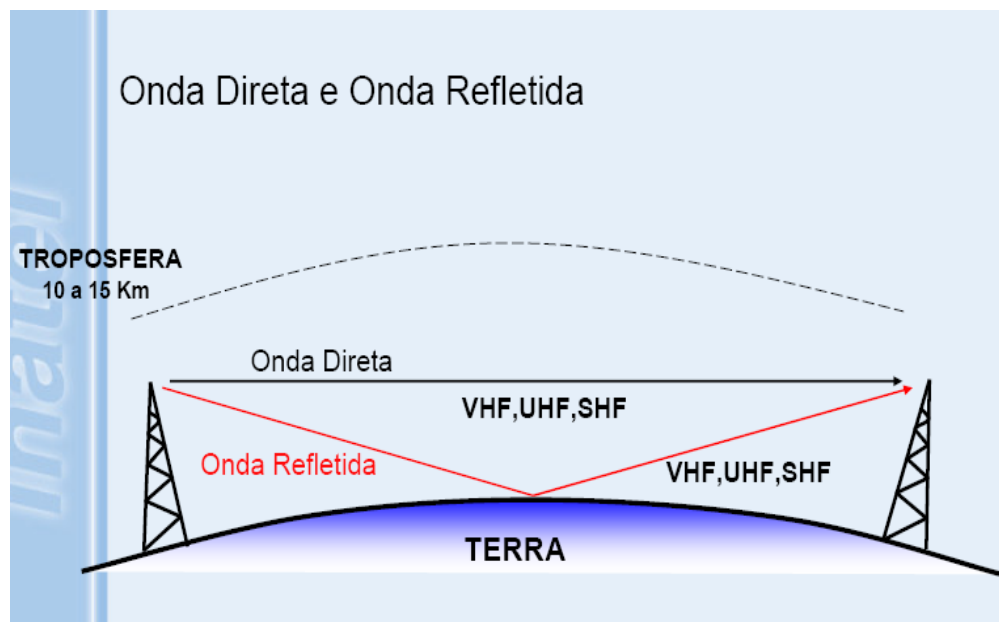
Ondas de Diretas e Refletidas

As ondas diretas e refletidas são consideradas ondas espaciais, que se propagam acima da superfície terrestre.

A onda direta é aquela que se propaga entre a antena transmissora e a antena receptora sem nenhuma interferência de obstáculos que possam alterar sua amplitude ou sua direção de propagação. O enlace atendido por este tipo de propagação é denominado de enlace em visada direta ou de comunicação em linha de visada.

A presença de obstáculos e da própria superfície terrestre pode resultar em ondas refletidas. A onda refletida pode ser considerada um problema em comunicação via rádio por gerar múltiplos percursos.

A Onda refletida é mais significativa nos enlaces em VHF, UHF e SHF.



Tipos de propagação atmosférica

Ondas Ionosféricas

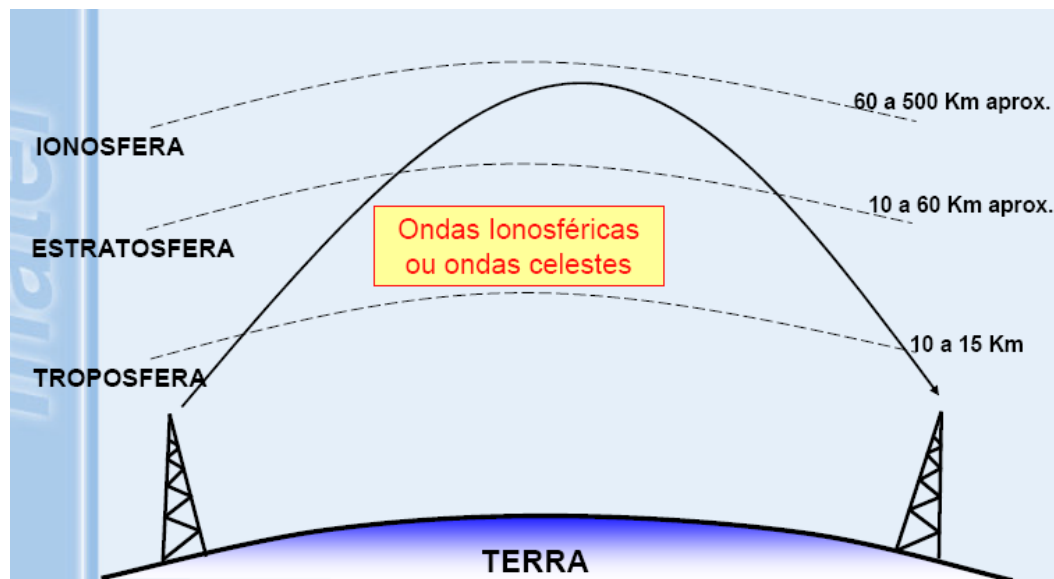
A ionosfera provoca reflexão da onda eletromagnética em baixas frequências (próximas de 2MHz). Neste caso, as ondas são refletidas na base da ionosfera resultando em saltos menores e menores distâncias de enlaces.

Para frequências mais elevadas (próximas de 50MHz) a onda eletromagnética penetra na ionosfera e sofre refrações sucessivas até a reflexão e retorno a superfície terrestre. Nesta condição as distâncias alcançadas são muito superiores.

Os enlaces de comunicação utilizando ondas ionosféricas alcançam distâncias de até 4000Km em condições favoráveis.

Como a ionosfera é bastante afetada pelas condições geoclimáticas, as variações de nível nestes enlaces são freqüentes e chamadas de desvanecimento.

Propagação das Ondas eletromagnéticas através de reflexão ionosférica para faixa de 2MHz a 50MHz.



Tipos de propagação atmosférica

Ondas Troposféricas

Os enlaces que utilizam ondas troposféricas são chamados de enlaces por tropodifusão.

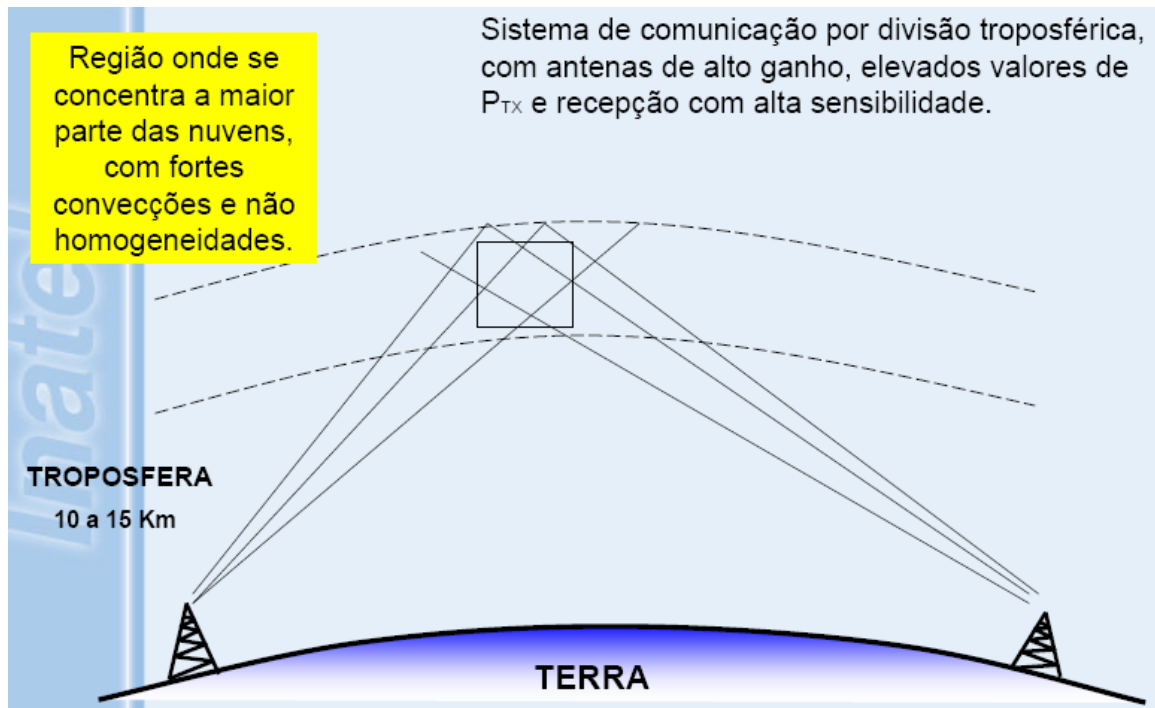
As frequências mais adequadas para implementação deste tipo de enlace estão entre 1GHz e 2GHz.

Elevadas atenuações na implementação dos enlaces exigindo potências de transmissão elevadas e rádios receptores bem sensíveis.

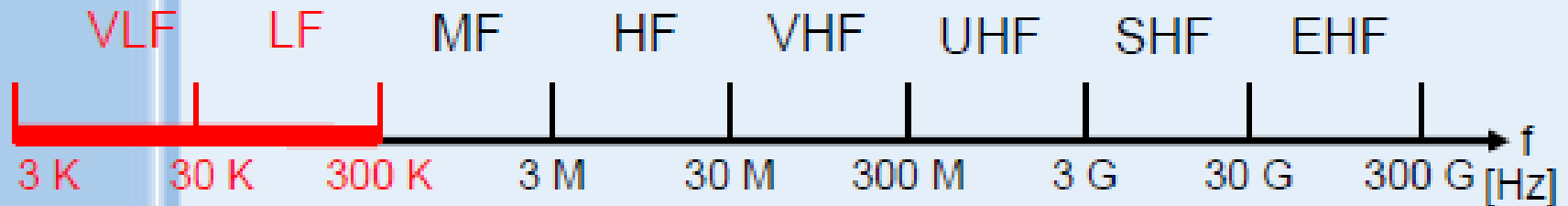
Para viabilizar enlaces perenes é necessário que a região geográfica ofereça taxas pluviométricas mais elevadas e constantes ao longo do ano.

No Brasil este tipo de enlace obtém maiores desempenhos na região norte.

Devido a baixa confiabilidade (em função da sazonalidade geoclimática) estes enlaces foram substituídos por enlaces via satélite.

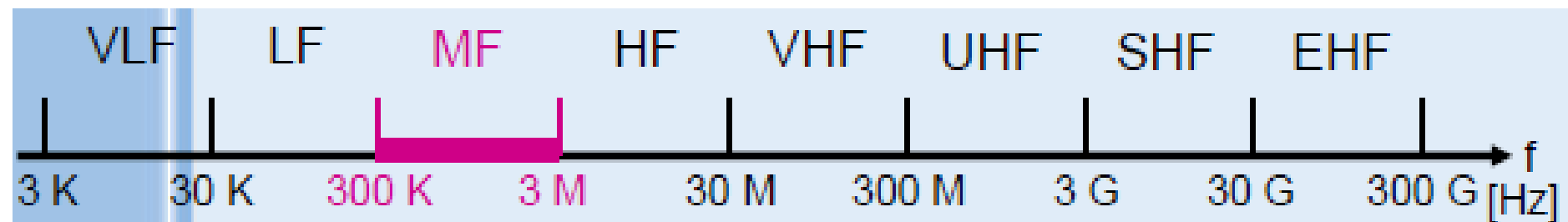


Divisão do Espectro de Rádio



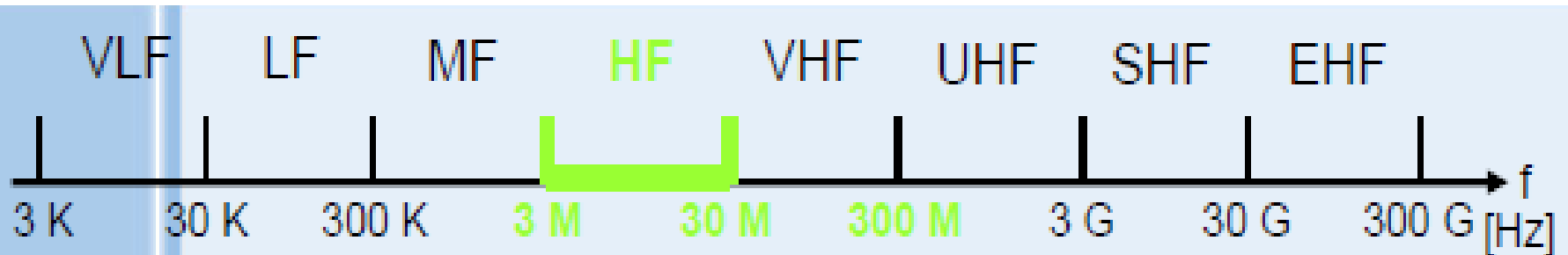
- Ondas Superficiais e Ondas Ionosféricas.
- Ondas com polarização vertical.
- Modulação AM, Pequenas BW.
- Elevado ruído Atmosférico.
- Baixa eficiência das antenas e altas potências de TX.
- Navegação marítima, Com. com submarinos.
- Comunicações militares.

Divisão do Espectro de Rádio



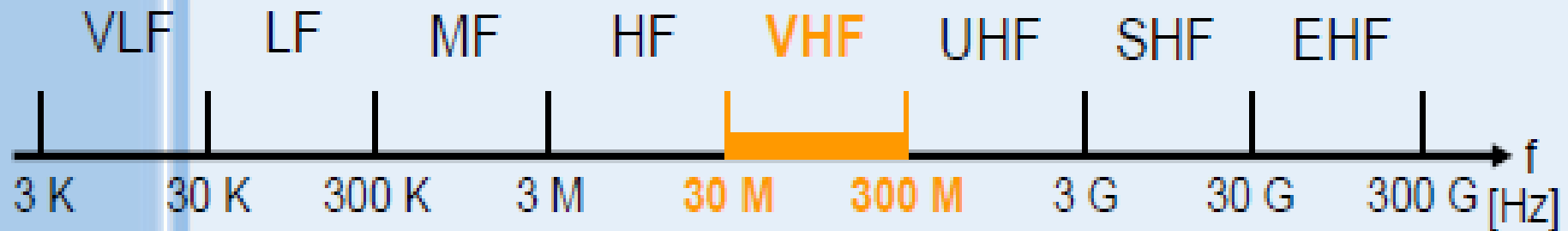
- Ondas Médias.
- Ondas de Superfície ou com reflexões ionosféricas.
- Propagação favorável em período noturno.
- Modulação AM.
- Comunicações militares de pequeno alcance.
- Radiodifusão sonora.

Divisão do Espectro de Rádio



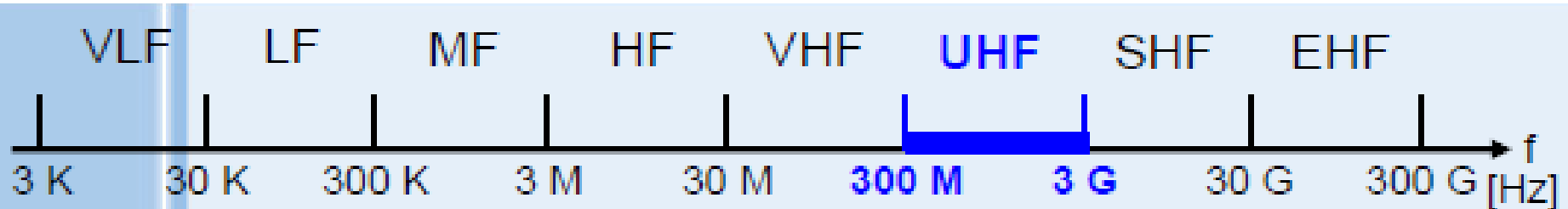
- Faixa de Ondas Curtas.
- Longa distância entre navios e aviões.
- Radiodifusão Sonora.
- Serviços Militares.
- Predominância da comunicação com ondas ionosféricas.

Divisão do Espectro de Rádio



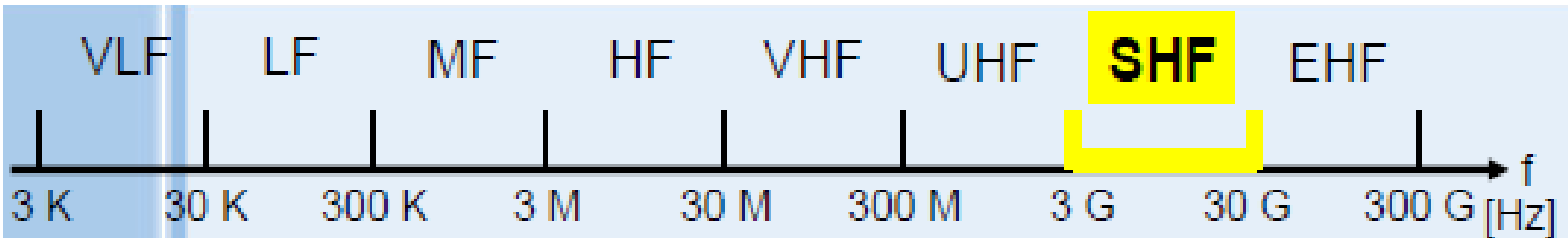
- Ondas espaciais e propagação através da troposfera.
- Radiodifusão de TV.
- Radiodifusão Sonora em FM.
- Auxílio a radionavegação.
- Comunicação por satélite de órbita baixa.

➤ Divisão do Espectro de Rádio



- Onda direta com a onda refletida.
- Esta faixa é denominada microondas para frequências acima de 500MHz.
- Radiodifusão de TV.
- Radar.
- Comunicações Via Satélite.
- Telefonia Móvel Celular.

Divisão do Espectro de Rádio

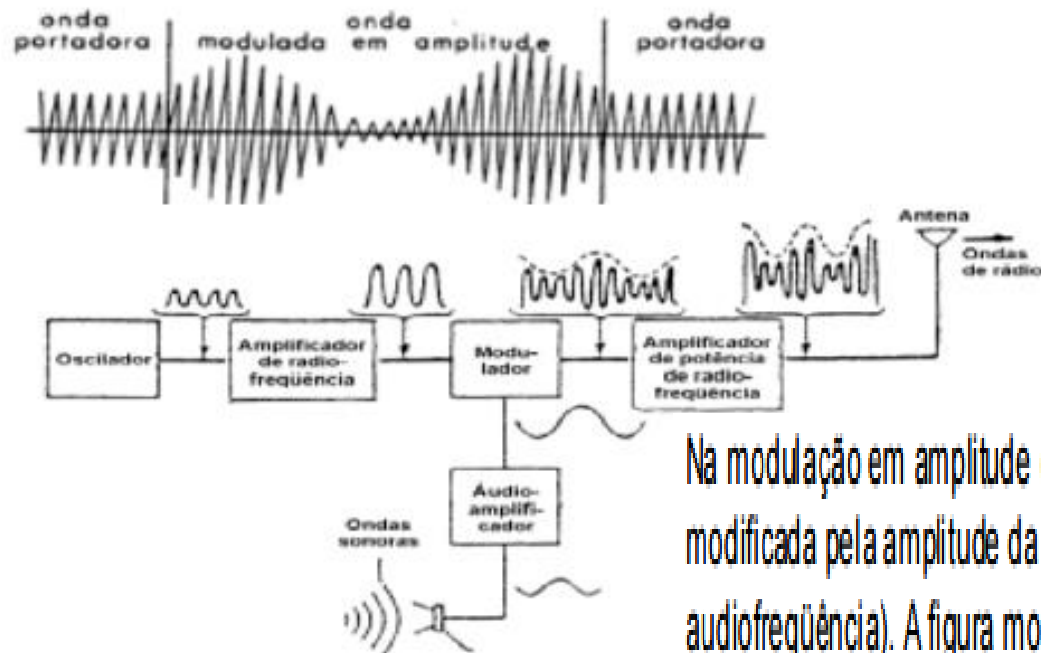


- Sistemas de Comunicações terrestres.
- Comunicação Via Satélite 4GHz e 12,5GHz.
- Radares Militares.
- Radares de auxílio a navegação.
- Radares rodoviários.
- Demais aplicações civis e militares.

Modulação em amplitude - AM

A modulação em amplitude (AM) foi a primeira forma de modulação desenvolvida e é ainda bastante comum, particularmente nas estações de rádio comerciais. A amplitude, ou tamanho, da onda senoidal da frequência portadora cresce ou decresce na mesma proporção da forma de onda do sinal de voz.

A AM é susceptível a sinais não desejados (por exemplo, ruído) que são incluídos juntamente com a informação assim que o sinal é irradiado, porque a AM varia a amplitude da onda portadora. Quando a onda portadora é removida no receptor de rádio (demodulada), o ruído permanece junto à informação, com a sua característica indesejável. Como resultado, a AM não é bastante adequada para aplicações móveis, devido ao ruído causado pelo sistema de ignição do veículo. A AM é usada em algumas aplicações (por exemplo, aviões, televisão..) nos quais as fontes de ruído são mais bem controladas.



Na modulação em amplitude (AM), a amplitude da onda portadora (onda de rádio frequência) é modificada pela amplitude da onda moduladora (geralmente, porém nem sempre, uma onda de áudiofrequência). A figura mostra este tipo de modulação.

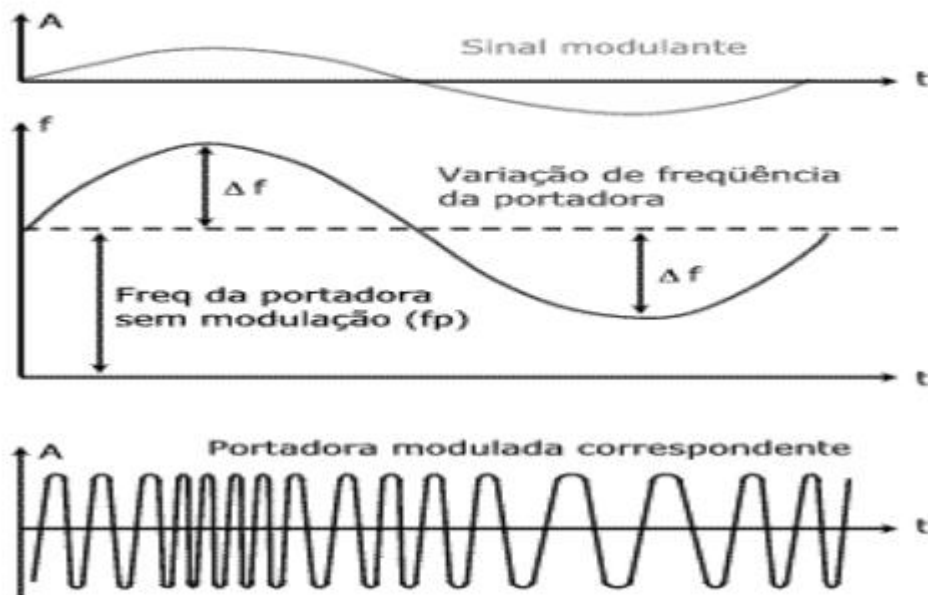
Modulação em Frequência - FM

Modulação em Frequência (FM)

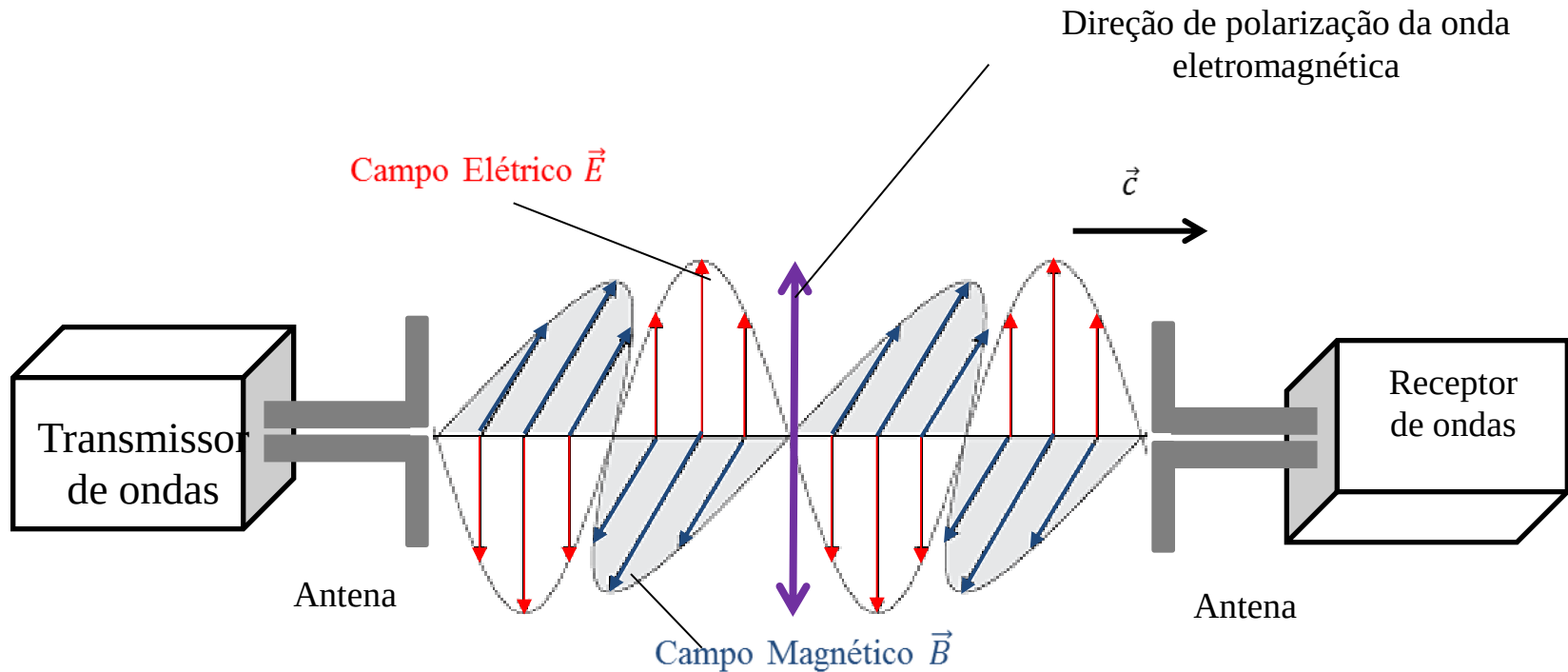
A modulação em frequência (FM) foi desenvolvida para contornar os problemas de ruído inerentes à AM. A FM varia a frequência da onda portadora (em lugar de sua amplitude) na mesma proporção que a forma de onda do sinal de voz (por exemplo, música). A FM não é largamente afetada pelo ruído encontrado depois que o sinal é irradiado já que a frequência é variada, em lugar da amplitude. A FM é utilizada quando são importantes o abrandamento do ruído (por exemplo, aplicações móveis) e a fidelidade do sinal (por exemplo, transmissões estéreo FM).

No caso de rádios, enquanto uma transmissão de AM pode ser razoavelmente efetuada numa faixa de 10 kHz, uma de FM precisa de larguras tão altas como 150 a 200 kHz para uma boa qualidade. Por isso, as frequências reservadas para transmissões comerciais de rádios de FM estão na faixa de VHF, de 88 a 108 MHz, para acomodar um número razoável de estações.

Modulação FM



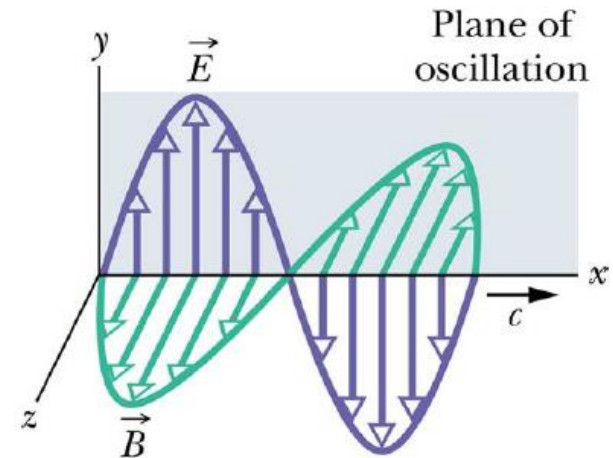
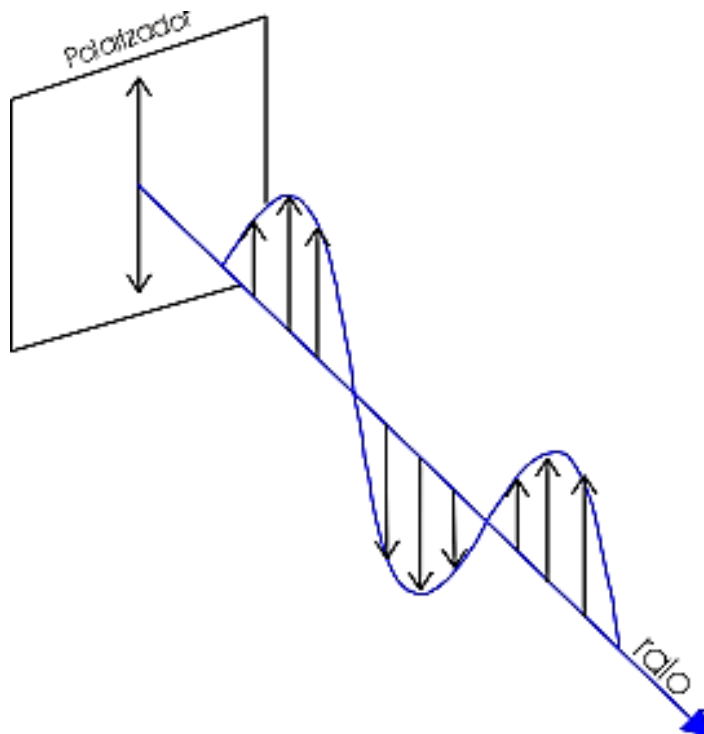
Polarização da Luz



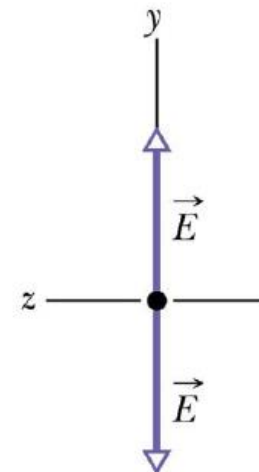
A direção de polarização da onda eletromagnética é definida pela direção do Campo Elétrico $\vec{E}$

Ondas linearmente polarizadas

- ✓ Exemplos: ondas de rádio, antena de telefone celular e antena de TV.

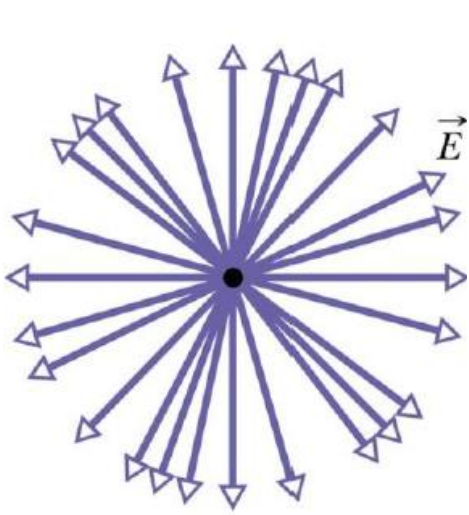


Polarizada

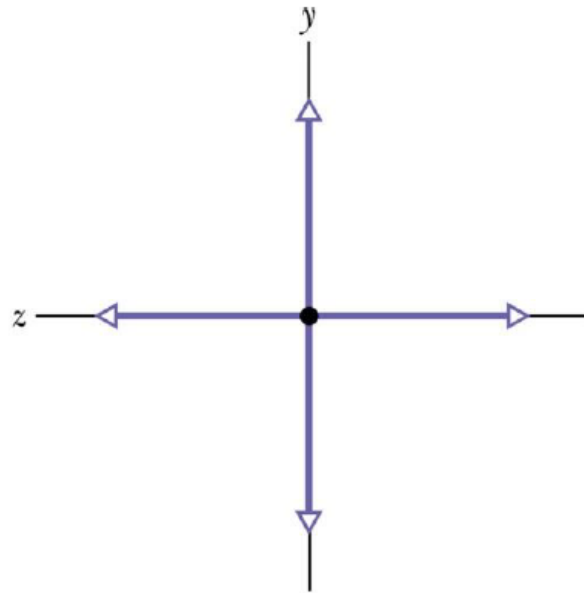


Representação

Ondas não polarizadas

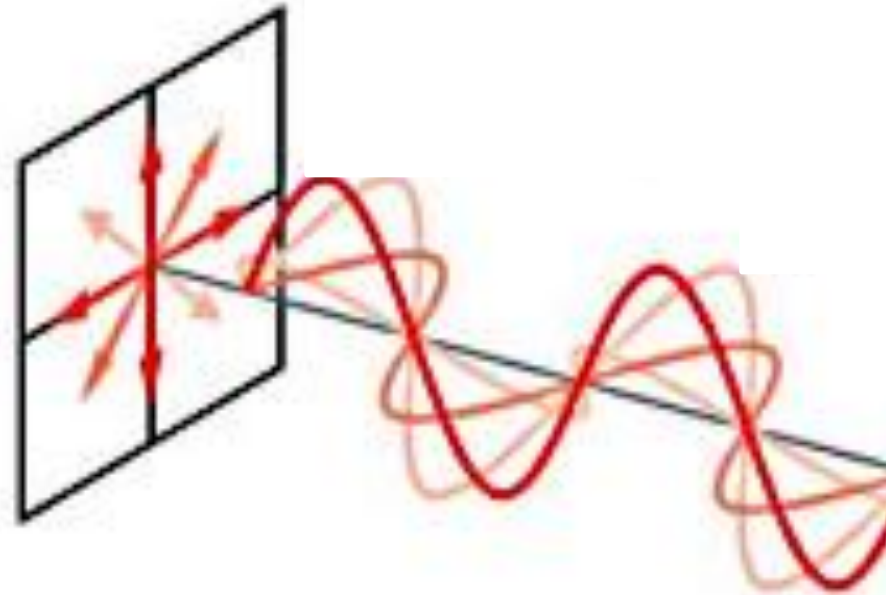


Não
polarizada



Representação

- ✓ Exemplos: luz do sol, lâmpadas incandescentes e fluorescentes.

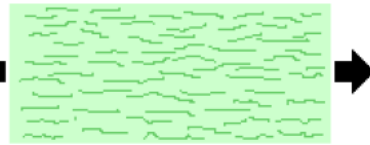
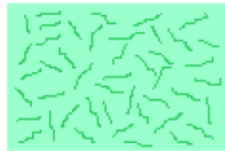


Filtro Polarizador

Filtro *polaroid*: folha com macromoléculas alinhadas ➡ Somente componentes do campo elétrico perpendicular às moléculas atravessam.



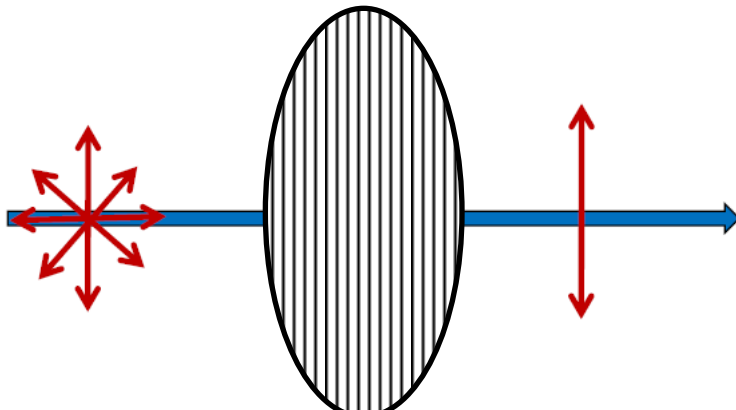
Filtro polarizador



Cadeias poliméricas



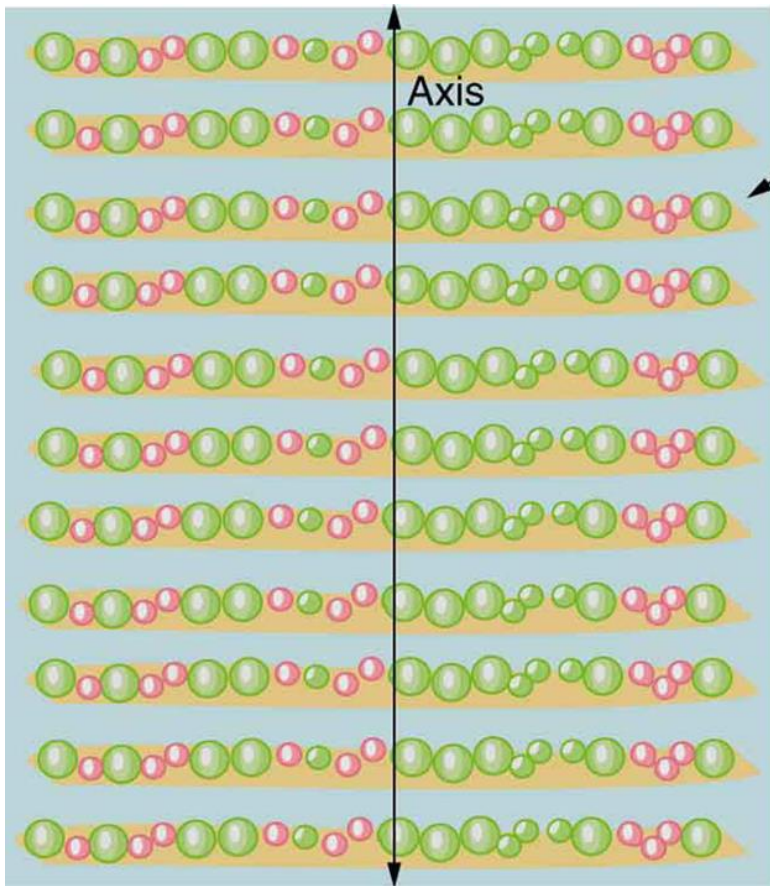
“Direção” de propagação da luz



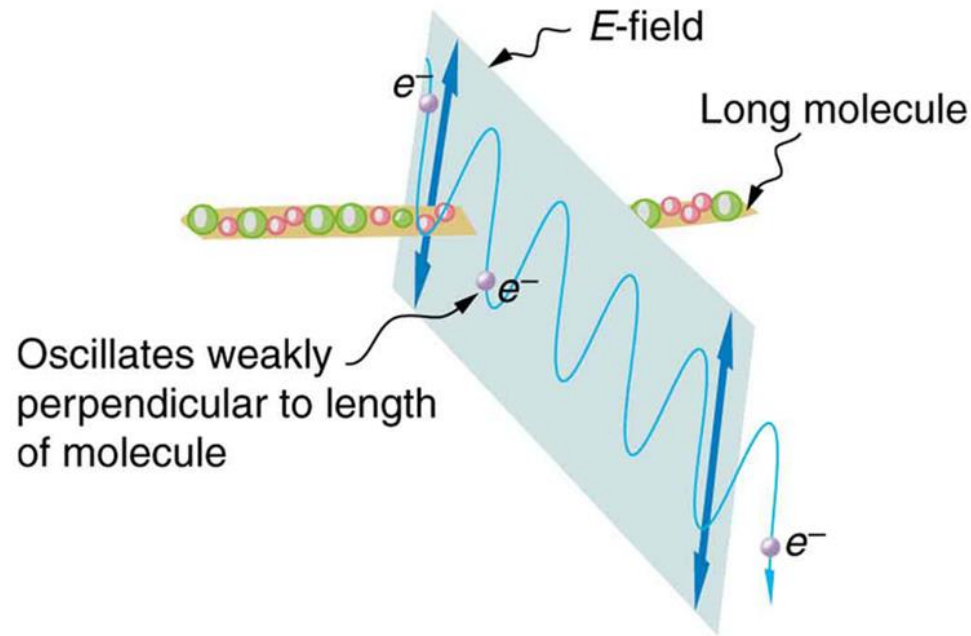
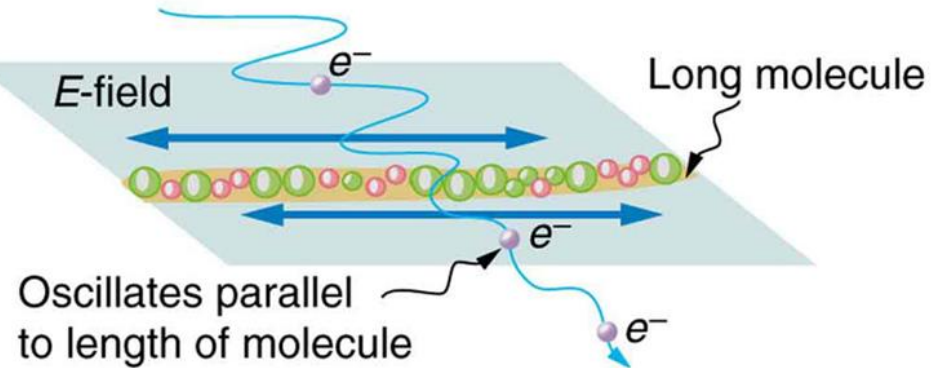
Direção de polarização da luz = direção do polarizador = direção de oscilação do campo elétrico

Somente os componentes de E paralelos ao eixo do polarizador são transmitidos de maneira que a luz que emerge do polarizador seja linearmente polarizada na direção paralela ao eixo.

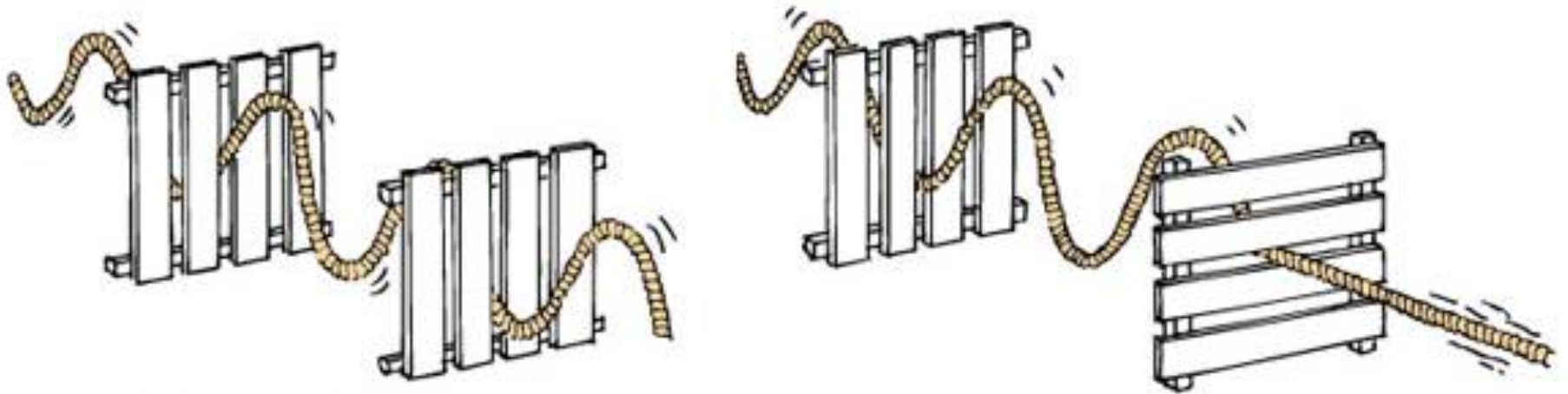
Filtro Polarizador



Long molecule



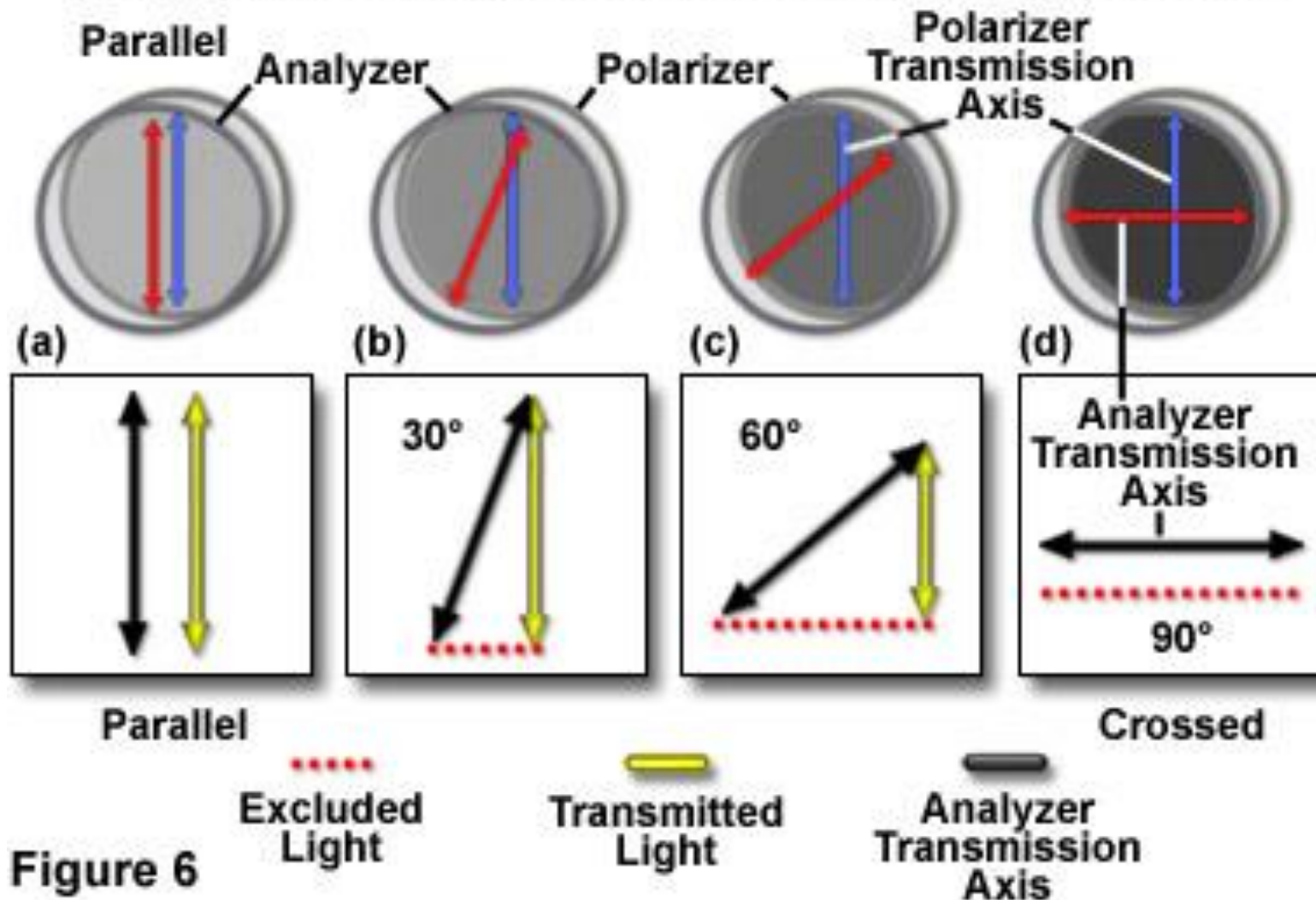
Polarização da Luz (analogia mecânica)



Hewitt, *Conceptual Physics*, Ninth Edition.
Copyright © 2002 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley. All rights reserved.

Filtro Polarizador

Transmission of Polarized Light Through an Analyzer



Filtro polarizador

Filtro polarizador
na vertical

Luz incidente
não polarizada



Luz emergente
linearmente
polarizada

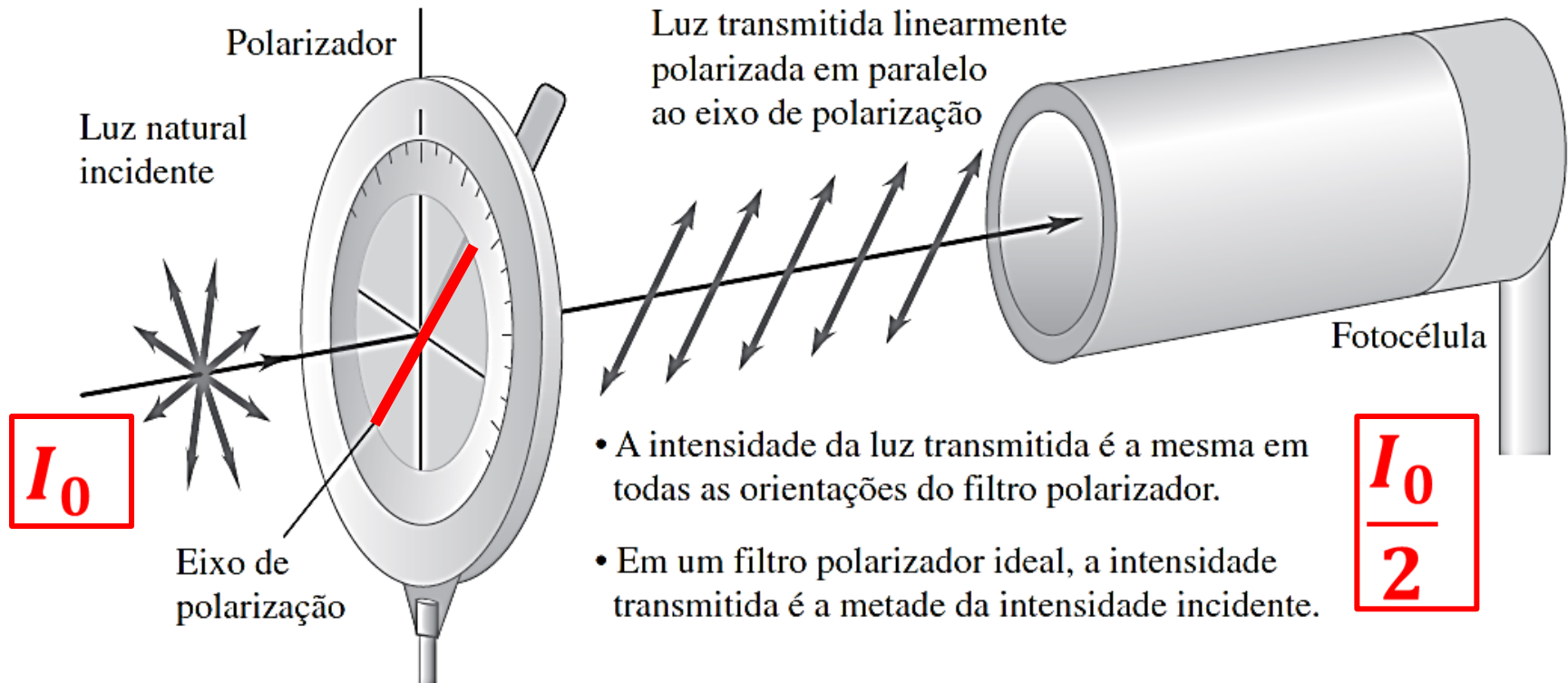
Cálculo da Intensidade

Luz não-polarizada: regra da metade

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

polarizada

não-polarizada



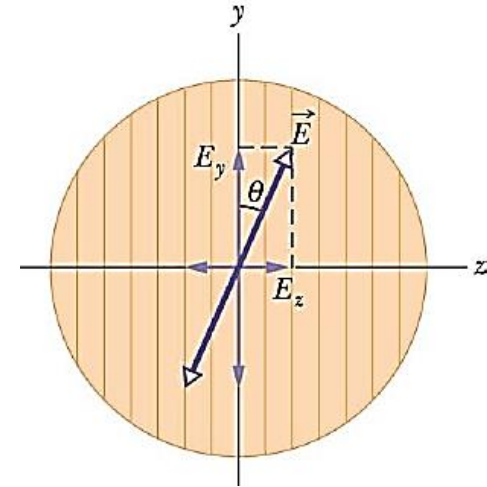
Cálculo da Intensidade

Luz polarizada: projeção o vetor $\vec{E}$

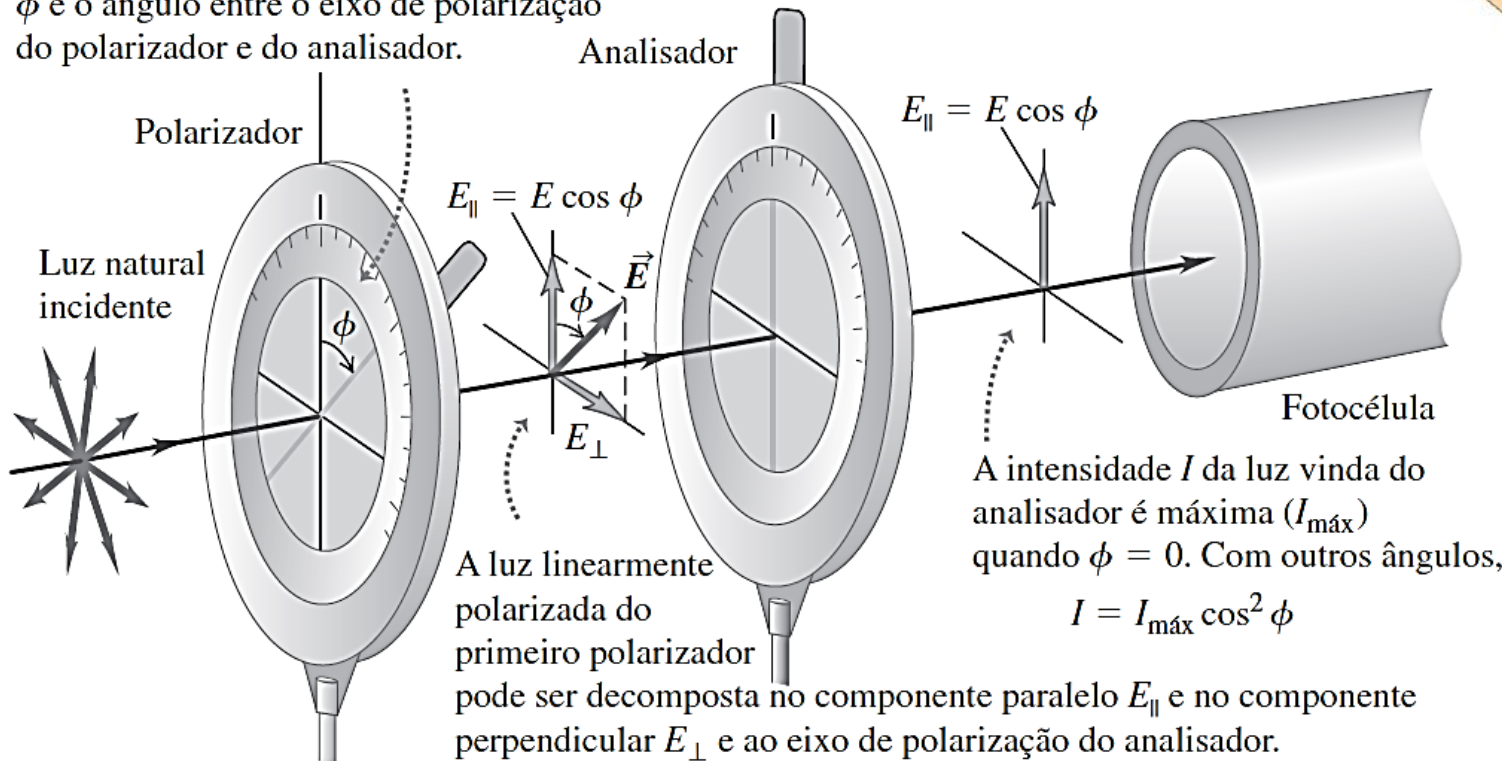
$$E_y = E \cos \theta$$

Como: $I \propto E^2$

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



ϕ é o ângulo entre o eixo de polarização do polarizador e do analisador.



A intensidade I da luz vinda do analisador é máxima ($I_{\text{máx}}$) quando $\phi = 0$. Com outros ângulos,

$$I = I_{\text{máx}} \cos^2 \phi$$

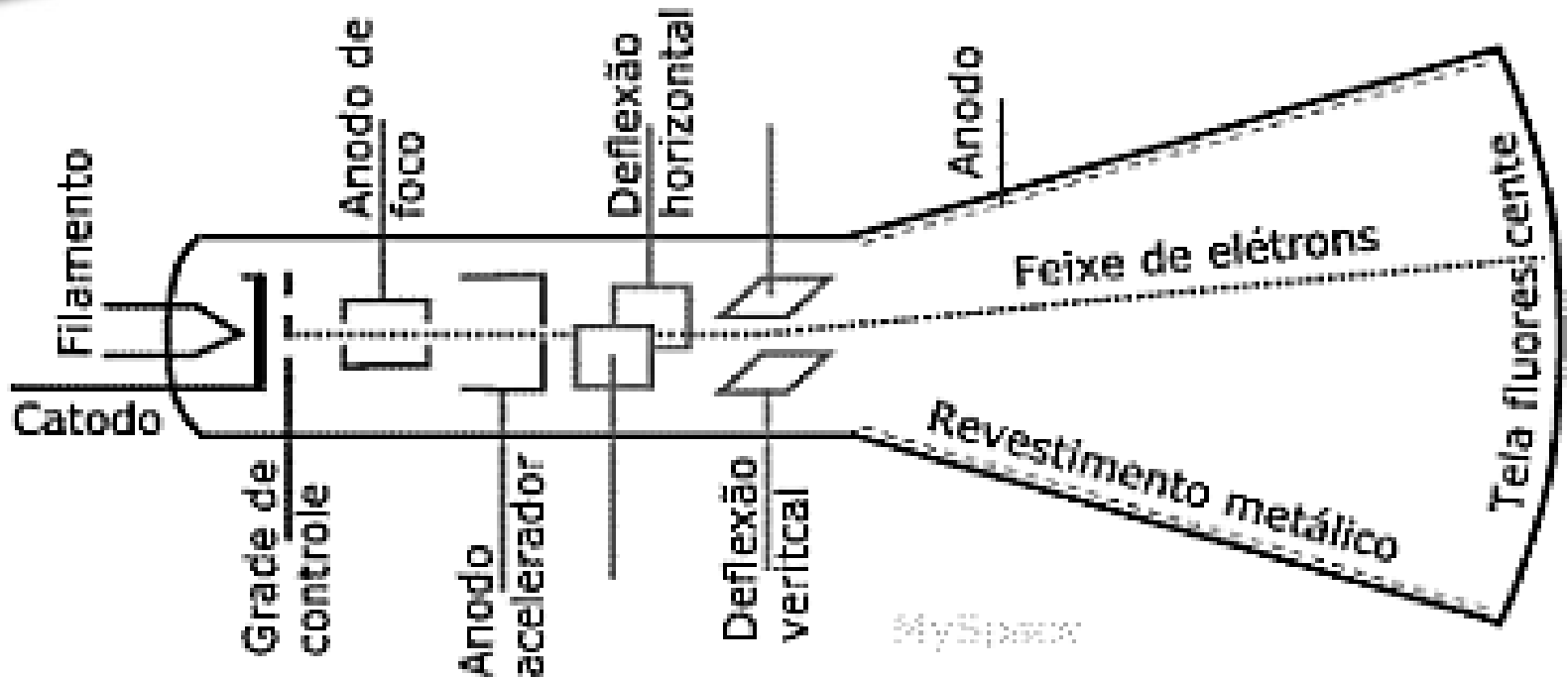
Uso de polarizadores - Contexto Tecnológico: Formação de Imagens

Geradores de imagens por cargas aceleradas

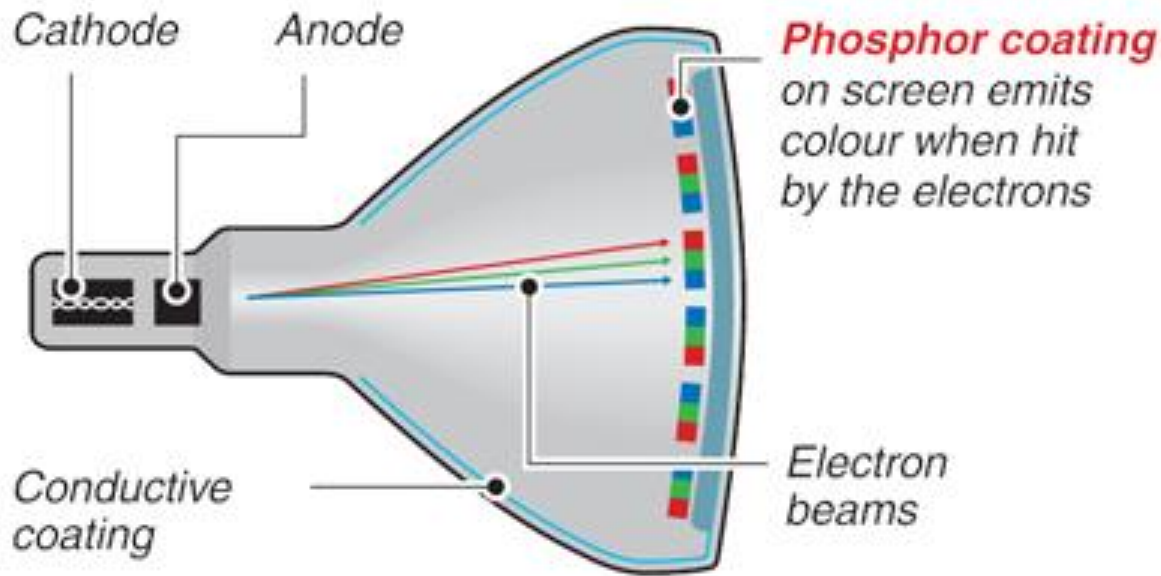
Contexto Tecnológico: Televisões Antigas (TRC)



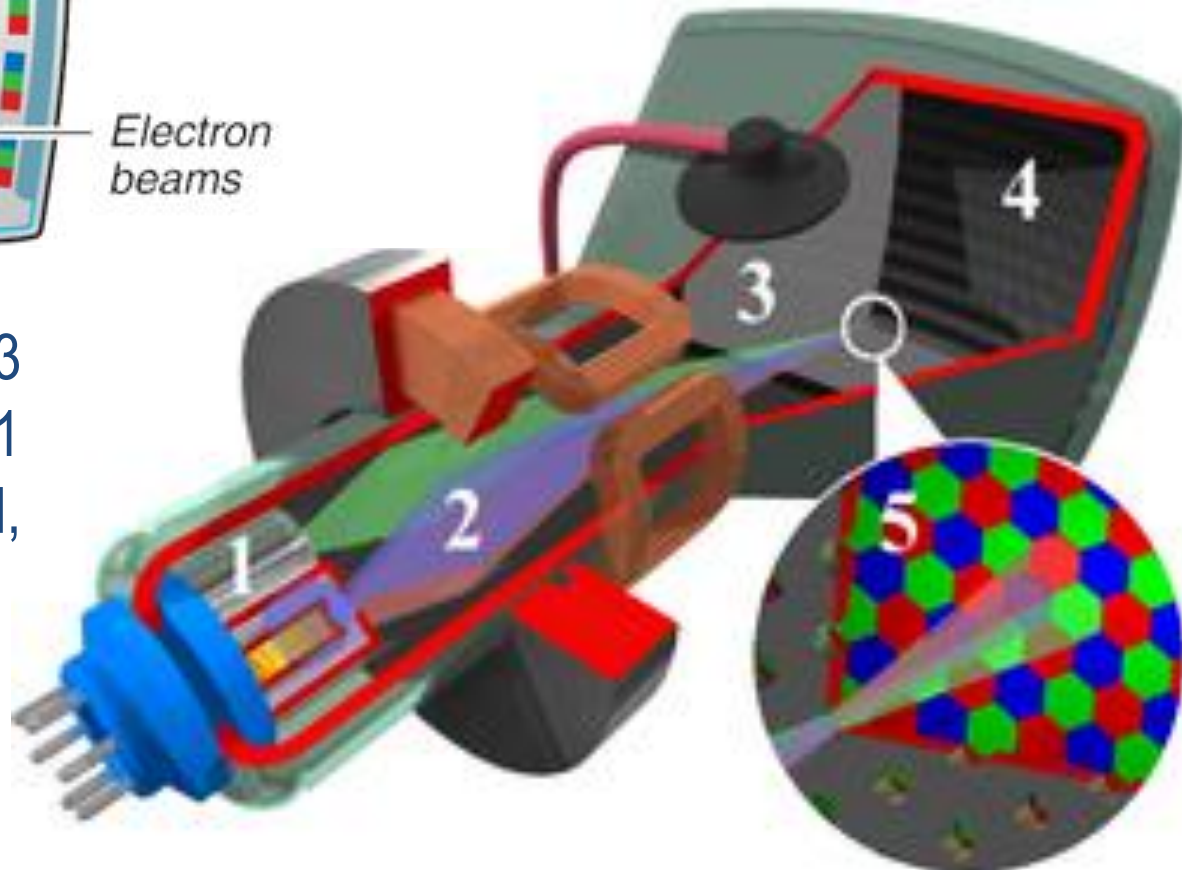
- ✓ TRC: Tubos de raios catódicos;
- ✓ A tela é revestida com fósforo;
- ✓ Fósforo emite luz visível quando irradiado por um feixe de elétrons;
- ✓ Varreduras verticais e horizontais;
- ✓ A tela é escaneada 60 vezes por segundo.



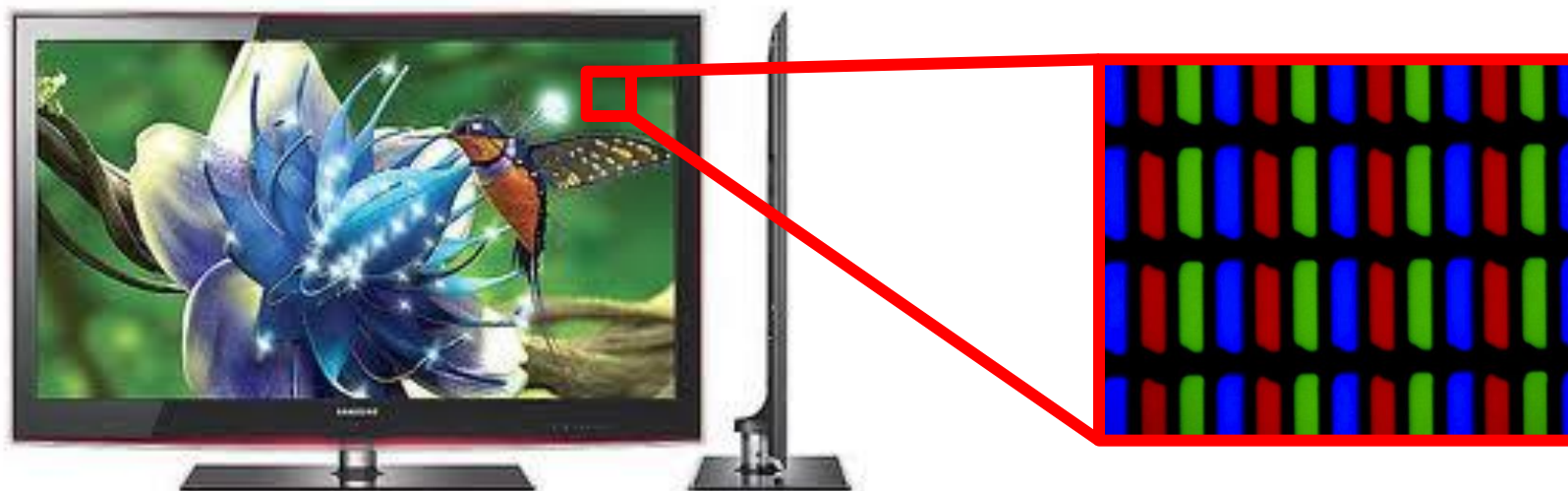
Contexto Tecnológico: Televisões Antigas (TRC)



- ✓ 1 pixel é subdividido em 3 sub-pixels: 1 vermelho, 1 verde, 1 azul (RGB: red, green, blue).



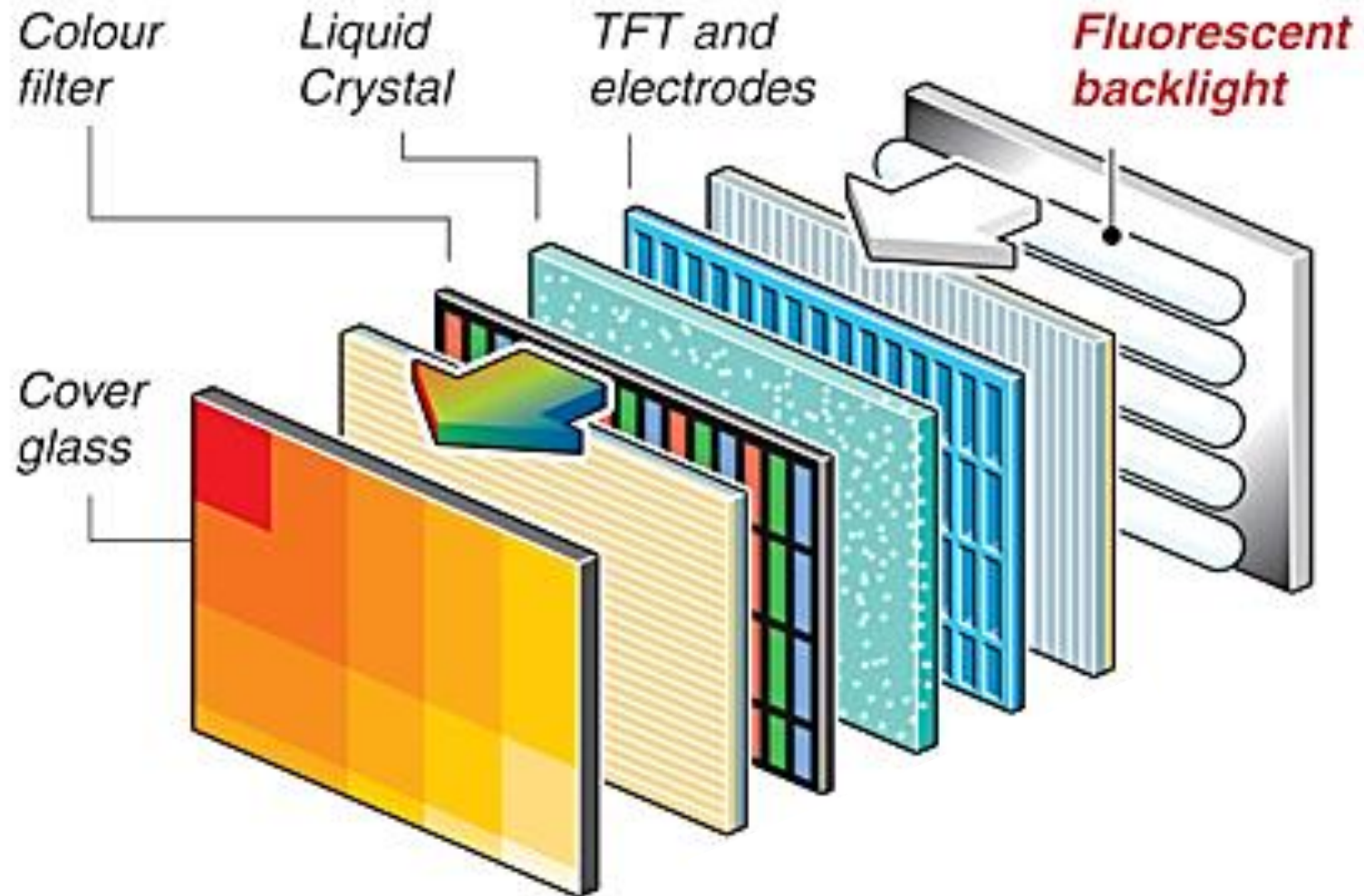
Contexto Tecnológico: Telas Planas de LCD



- ✓ Tela LCD: Tela de Cristal Líquido
- ✓ Tela com resolução de 1920 x 1080 pixels, ou seja, 1920 linhas e 1080 colunas;
- ✓ Se multiplicarmos o número de linhas pelo número de colunas temos que existem 2.073.600 pixels;
- ✓ Cada pixel deve ser acionado individualmente;

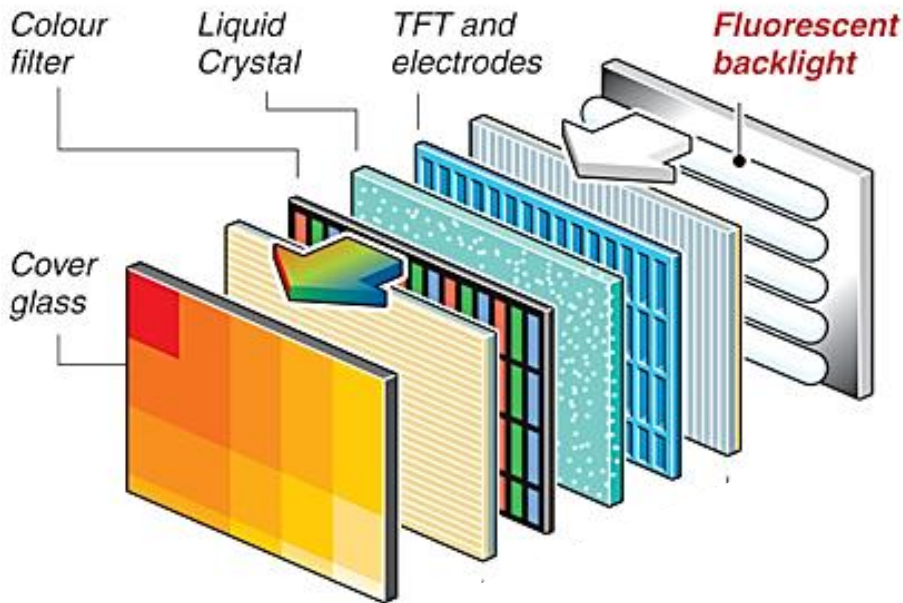
Contexto Tecnológico: as telas planas de LCD

Como é feita a iluminação?



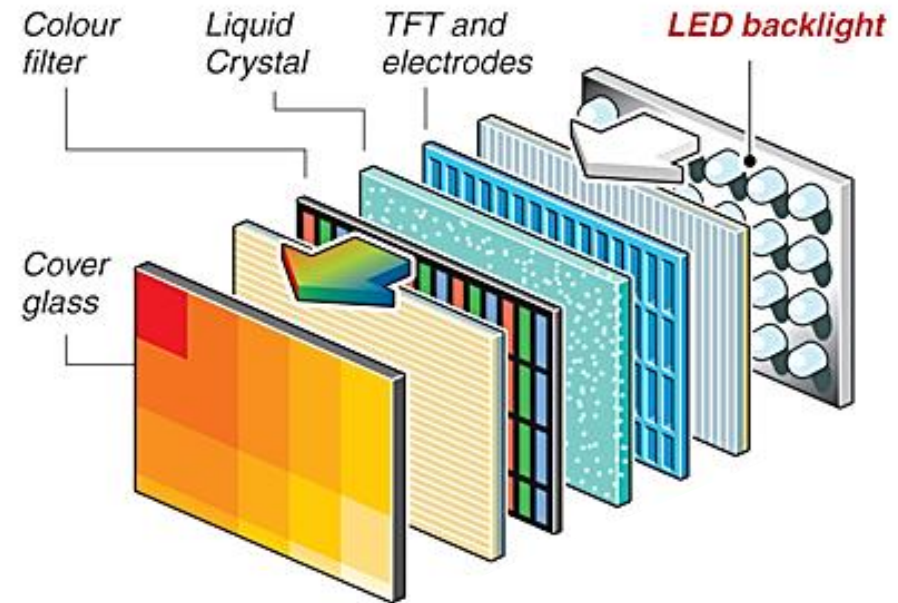
Contexto Tecnológico: Telas Planas de **LCD** x **LED**

LCD - Liquid Crystal Display



LED - Light Emitting Diode

LEDs are LCD TVs that replace the cold cathode fluorescent lamps (CCFL) used in conventional LCD displays



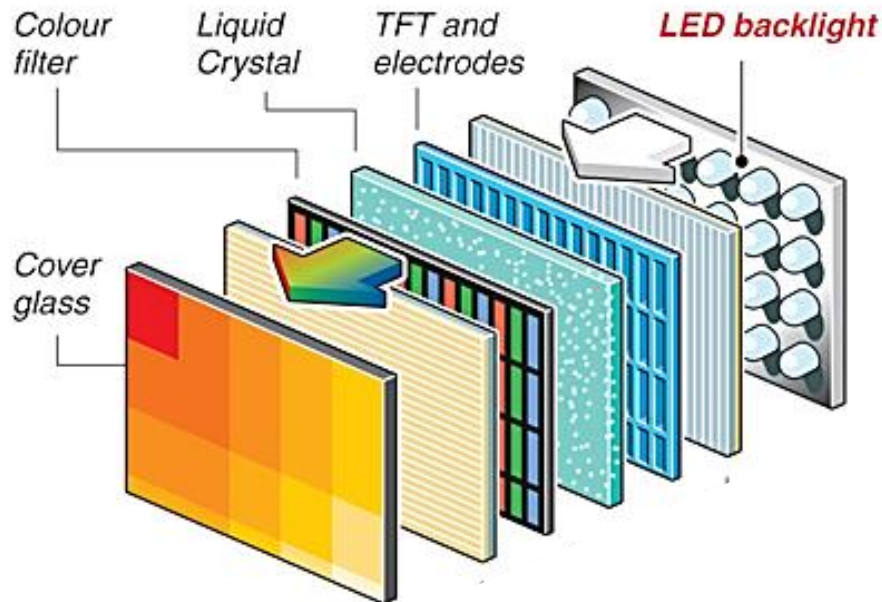
Como barrar a luz localmente na tela?

Resposta: Cristal líquido + **?????**

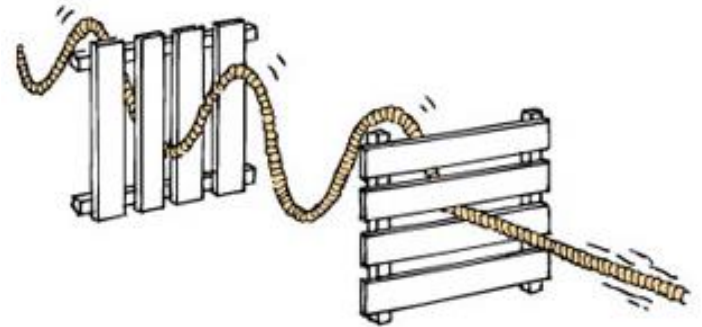
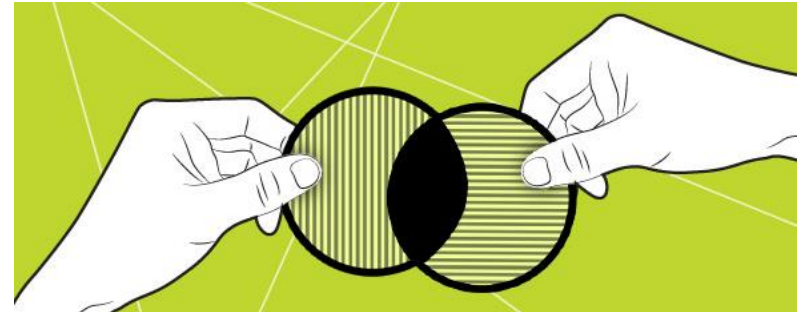
Contexto Tecnológico: Telas Planas de **LCD**

LED - Light Emitting Diode

LEDs are LCD TVs that replace the cold cathode fluorescent lamps (CCFL) used in conventional LCD displays



Filtros cruzados entre si



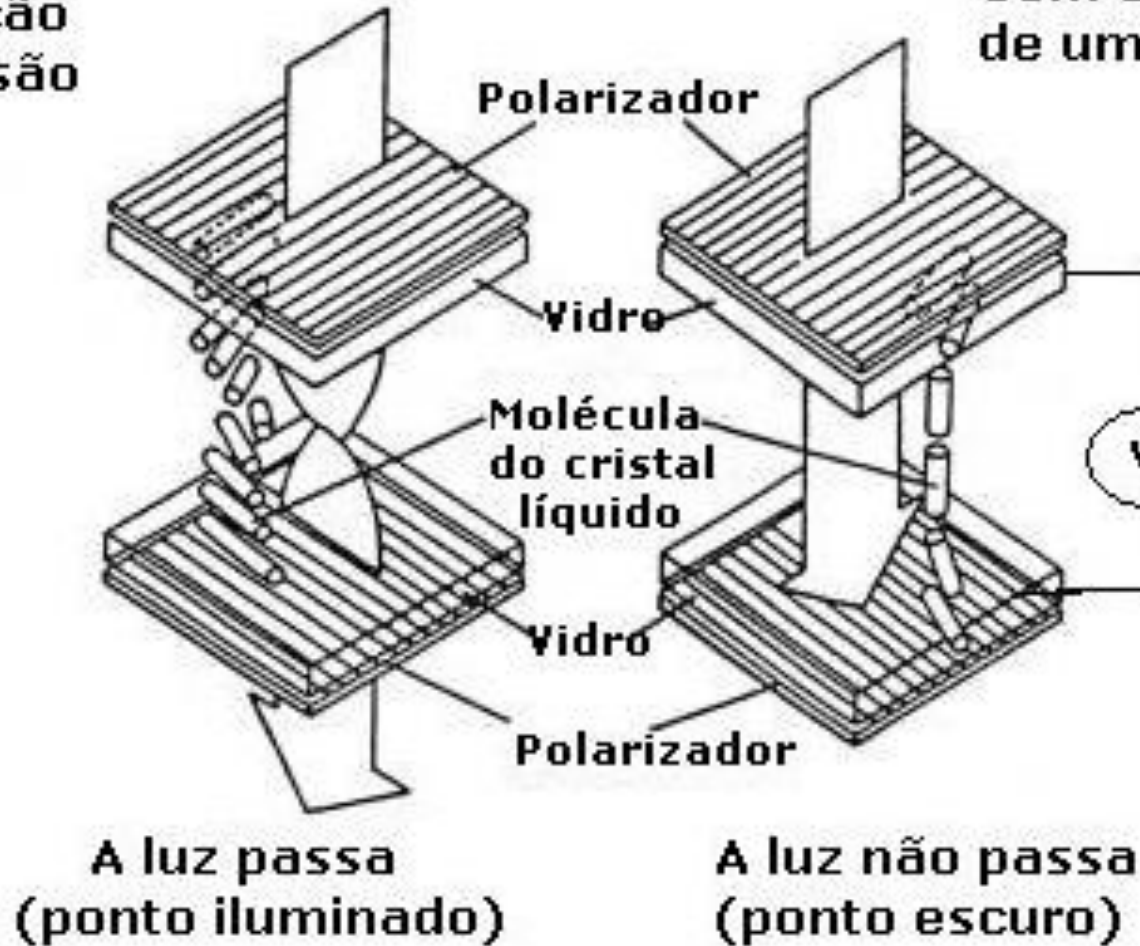
Hewitt, *Conceptual Physics*, Ninth Edition.
Copyright © 2002 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley. All rights reserved.

Como barrar a luz localmente na tela?

Resposta: Cristal líquido + **2 polarizadores cruzados**

Contexto Tecnológico: as telas planas de LCD

Sem aplicação
de uma tensão

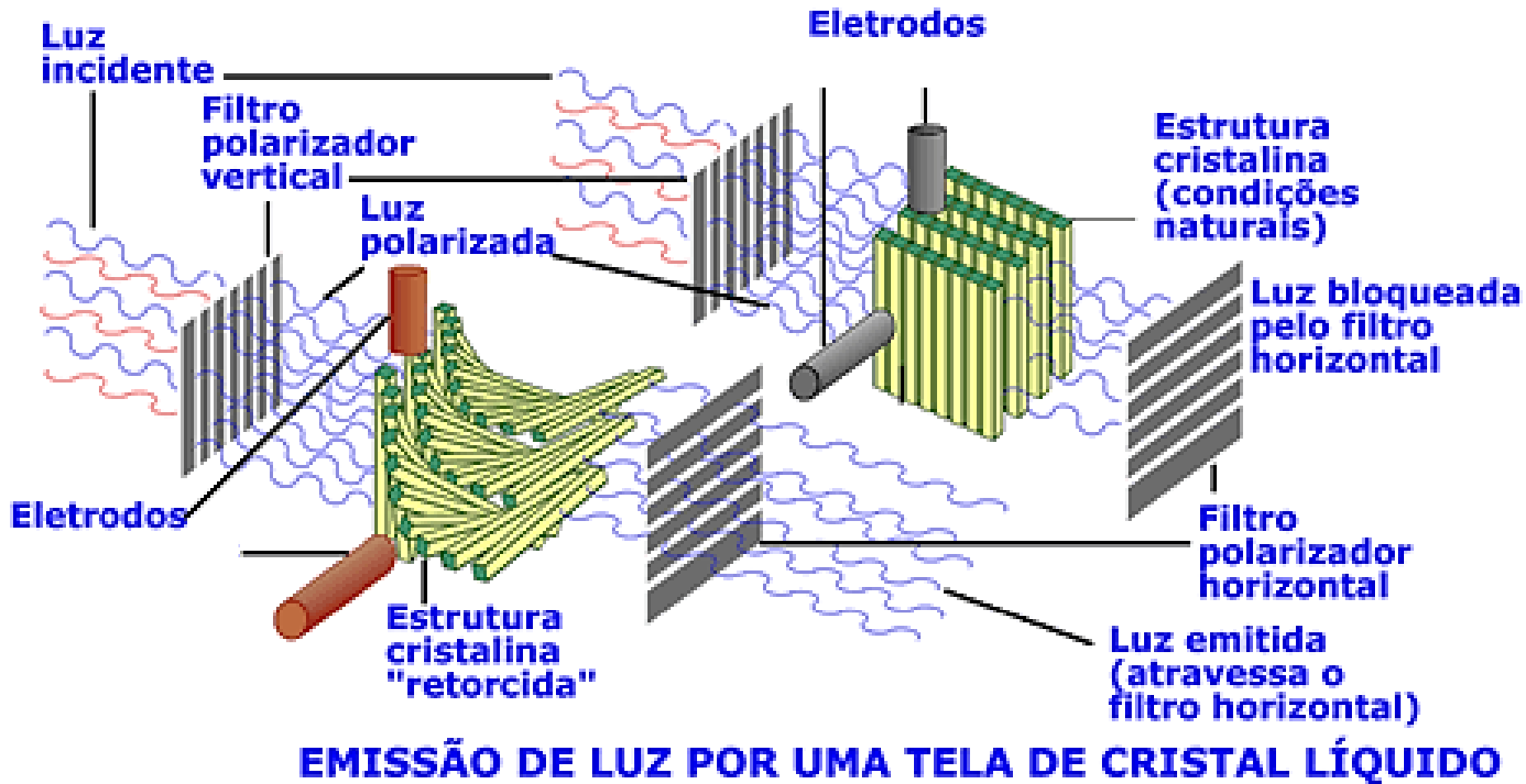


Com aplicação
de uma tensão

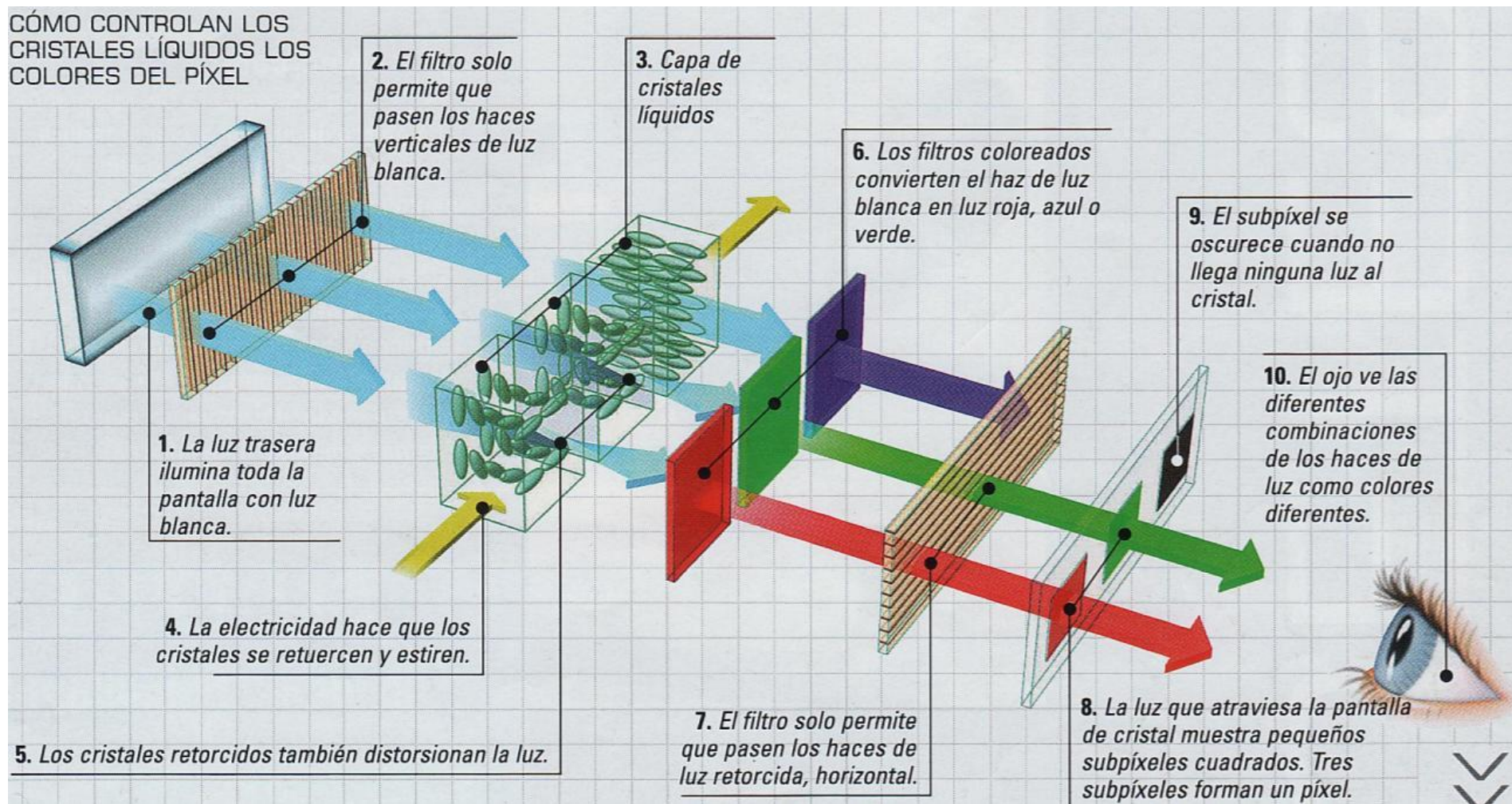
Aplicando-
se uma
tensão



Contexto Tecnológico: as telas planas de LCD



Contexto Tecnológico: as telas planas de LCD



REFERÊNCIAS UTILIZADAS NESTA AULA

- Halliday, Resnick e Walker - Fundamentos de Física –Vol. III e IV – 9ª ed.
- Sears e Zemansky - Fundamentos de Física Vol. III e IV – 12ª ed.
- H. Moysés Nussenzveig - Curso de Física Básica – Vol 3 e 4
- Physics for Scientists and Engineers – Fishbane, Gasiorowics, Thornton – second edition
- Texto radio_difusão_sonora.pdf – julioross@msn.com –
<http://julioross.hd1.com.br>
- Notas de aulas dos cursos de Princípios de Física Moderna e Princípios e Aplicações de Física Moderna – **Centro Universitário da FEI**
- <http://ohmios.es/2013/04/29/tecnologia-basica-del-lcd/>
- <http://www.bpiropo.com.br/fpc20050124.html>
- <http://blog.thomsonreuters.com/wp-content/uploads/2012/04/TV-Types.jpg>
- <http://www.microscopyu.com/articles/polarized/polarizedlightintro.html>