

Universidade de São Paulo

Instituto de Física

Física Aplicada
Aula 05

Profa. Márcia de Almeida Rizzutto

Edifício Oscar Sala – sala 220

rizzutto@if.usp.br

<http://disciplinas.stoa.usp.br/course/view.php?id=24279>

2º Semestre de 2016

Programa

- O Espectro Eletromagnético
 - Dimensões dos objetos
 - Produção de energia
- Revisão sobre ondas Mecânicas;
- Princípios de acústica - Efeito Doppler;
 - Imagens por Ultrassom
 - Levitação mecânica
- Revisão das Equações de Maxwell - Equação da onda eletromagnética
 - Ondas de rádio; TRC, LCD, Plasma
 - Estrutura atômica – Revisão de física moderna;
 - Lasers e Aplicações
 - Descrição dos princípios de geração dos Raios-X:
 - Tubos de raios-X e radiação Síncrotron
 - Aceleradores de partículas
 - Propriedades dos Raios-X – Absorção e interação com a matéria
- Imagens médicas obtidas com Raios-X – Radiografia e tomografia.
 - Uso de técnicas atômico-nucleares para análise de materiais
 - Ressonância magnética nuclear

Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
agosto						
	Aula 1		Aula 2			
	Aula 3		Aula 4			
	Aula 5		Aula 6			
	Aula 7		Aula 8			
setembro						
	SEMANA DA	DA	PÁTRIA			
	AULA 9		não AULA			
	não AULA		não AULA			
	Aula 10		Aula 11/AP1			
outubro						
	Aula 12/AP2		Aula 13/AP3			
SEMANA Física	Aula 14		feriado			
	Aula 15/AP4		Aula 16/AP5			
	Aula 17/AP6		Aula 18 /AP7			
	Aula 19/AP8					
novembro			feriado			
	Aula 20		Aula 21			
	RECESSO	feriado	não AULA			
	Aula 22		Aula 23			
	Aula 24		Aula 25			
dezembro						
	PROVA					

Calendário

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:

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

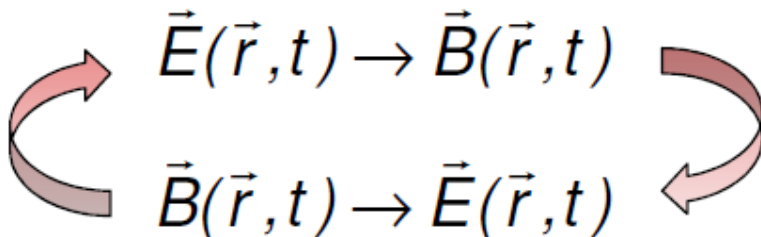
Variação de fluxo magnético com o tempo produz campo elétrico

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

Lei de Ampère-Maxwell:

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

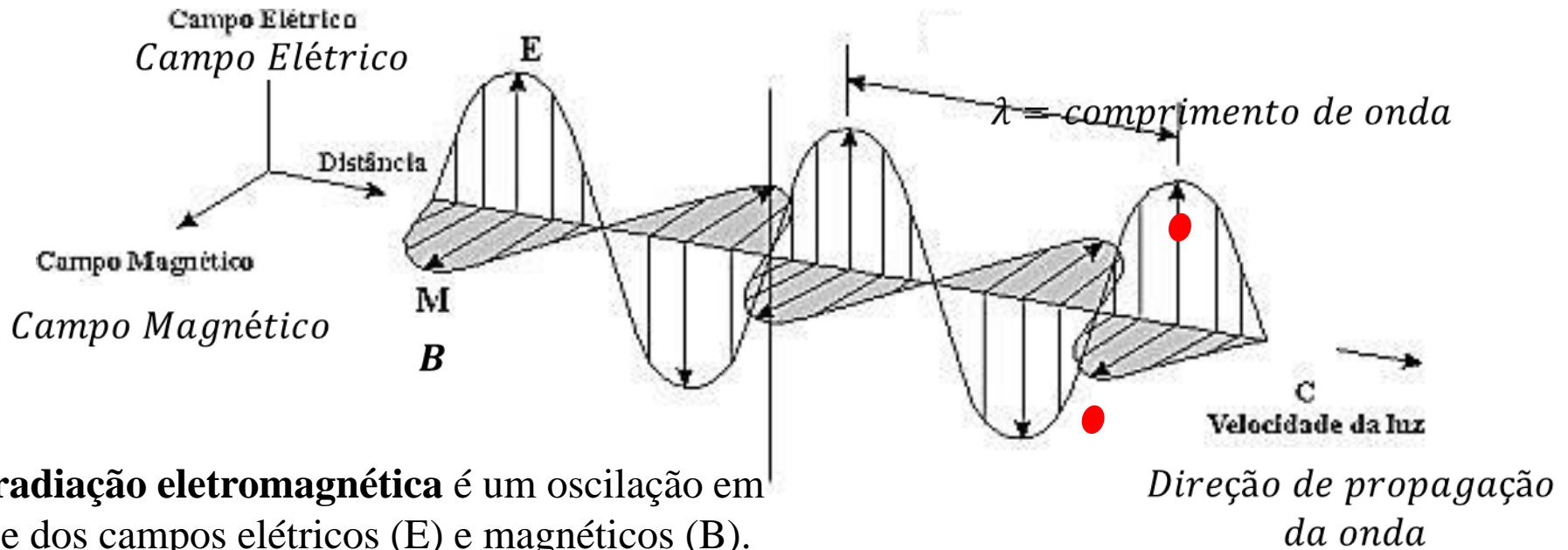
Variação de fluxo elétrico com o tempo e corrente elétrica produzem campo magnético



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

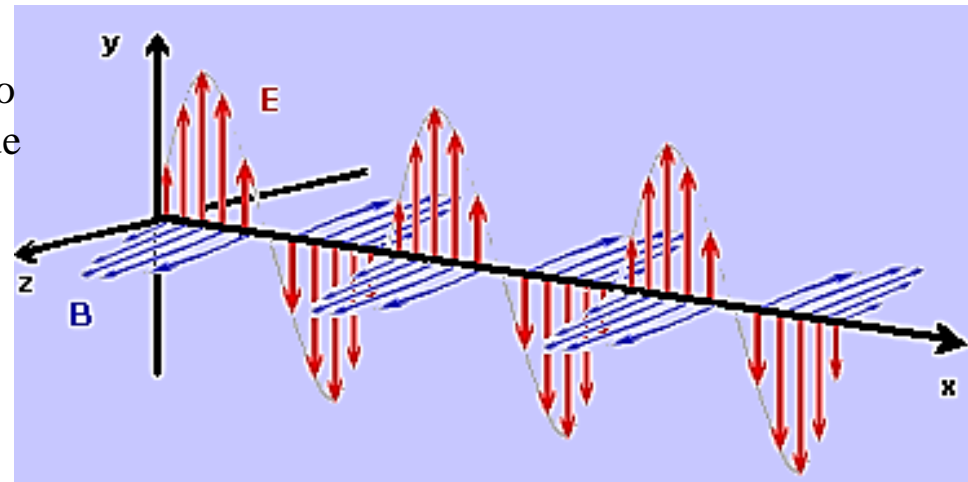
ONDA ELETROMAGNÉTICA

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:

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

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

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

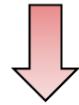
$$\vec{B}(\vec{r}, t) = \vec{B}_m \text{sen}(\kappa r \pm \omega t)$$

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

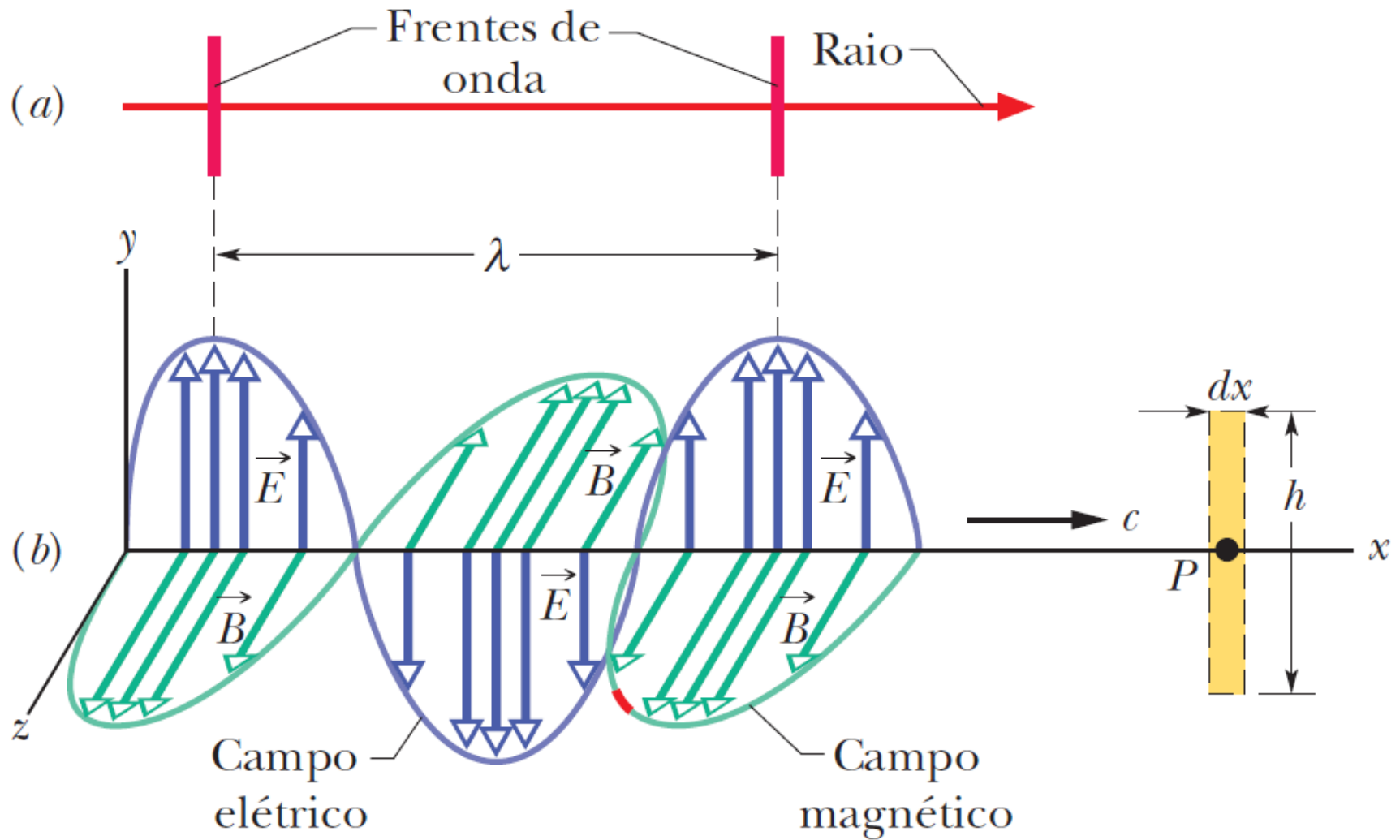


Figura 33-5 (a) Uma onda eletromagnética representada por um raio e duas frentes de onda; as frentes de onda estão separadas por um comprimento de onda λ .

Energia na Onda Eletromagnética

... Vetor de Poynting

Vetor que descreve o fluxo de energia

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

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

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

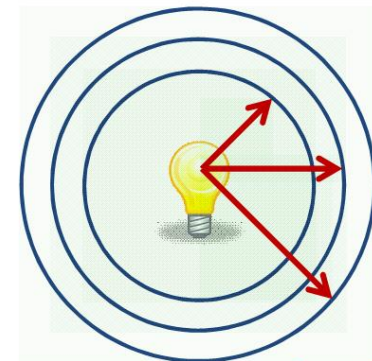
$$I = \frac{P}{A} \quad \begin{array}{l} P = \text{Potência Média} \\ A = \text{Área} \end{array}$$

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

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:

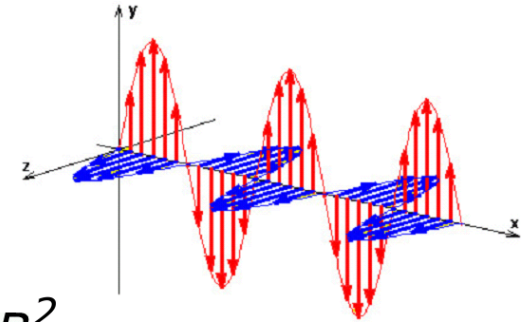
$$P = \textit{potência} = \frac{E}{\Delta t}$$

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: $u_B = \frac{1}{2\mu_0} B^2$

[J/m³]

- Densidade de energia da onda eletromagnética:

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

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

B=E/c

energia transportada na direção da OEM...

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

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:

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

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

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:

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

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

$$m = 1,6 \times 10^{-15} \text{ kg}$$

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

$$F = 0,4 \times 10^{-17} \text{ N}$$

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

$$F_g = \frac{GmM_{sol}}{R^2} =$$

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

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

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

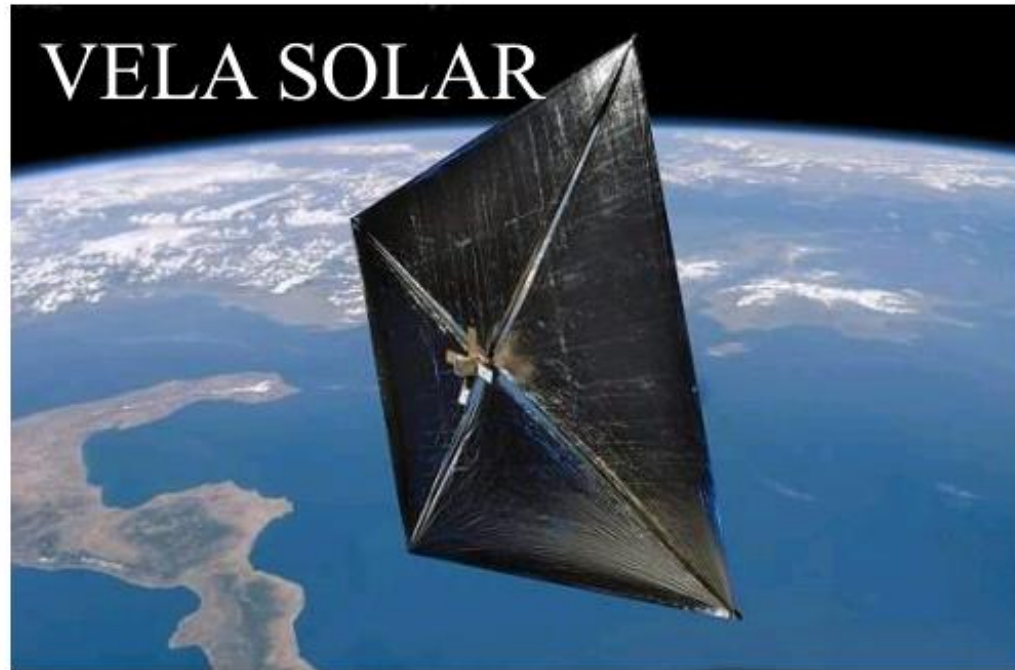
Pressão de Radiação (exemplos)

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)

Uma vela solar é um espelho grande que reflete os raios solares. Enquanto os fótons de luz solar atingem a vela, impulsionando-a, levam a espaçonave a incidirem 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.

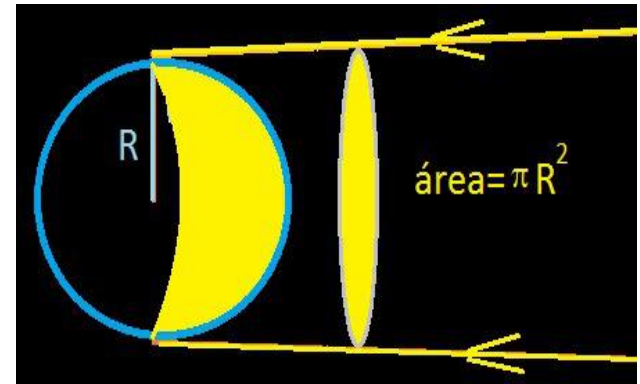
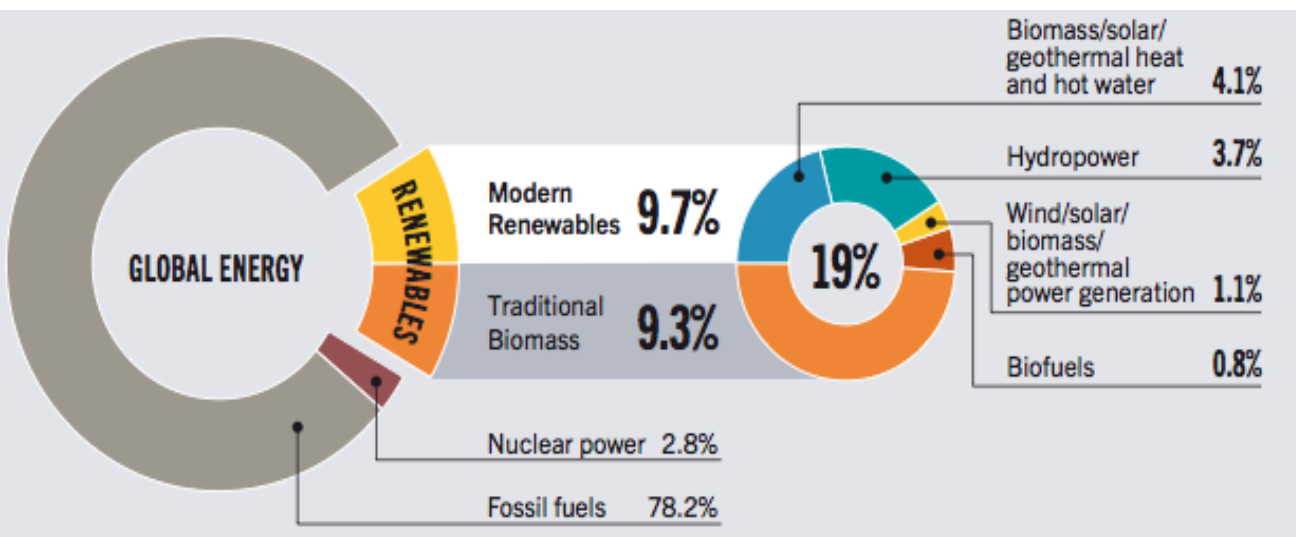


Figura: Hipótese adotada da incidência normal da luz solar sobre a Terra.

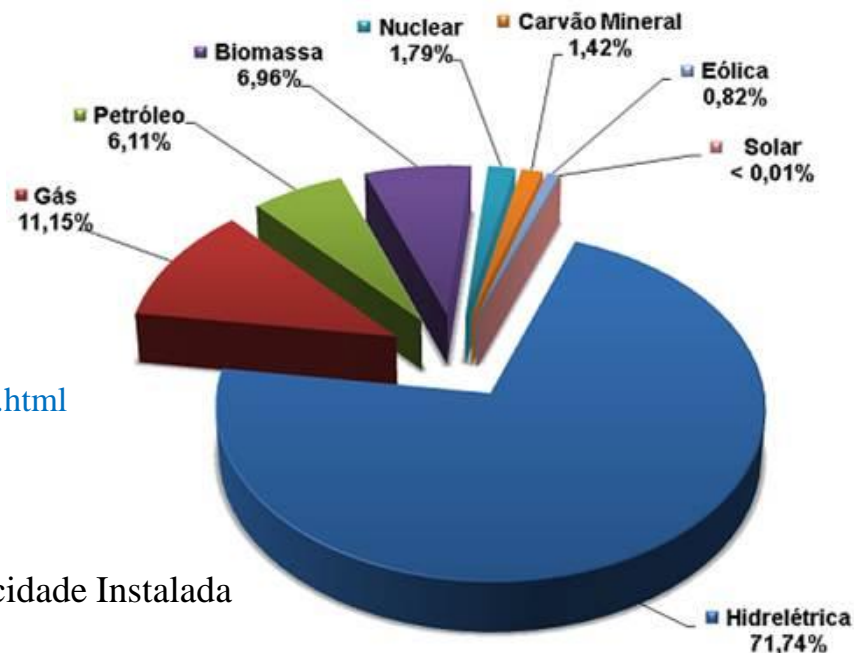
$$I = \frac{E}{\Delta t \text{ Área}} \rightarrow \frac{E}{\Delta t} = I \text{ Área} = I(\pi R^2)$$

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

Contexto Tecnológico: A Energia Solar



Estimativa do consumo global das energias renováveis para o ano de 2011.



<http://www.riberto.com.br/sustentabilidade/consumo%20de%20energia.html>

<http://empiregreen.org/renewables-2013/>

Matriz de Energia Elétrica Brasileira - Capacidade Instalada
Fonte: BRASIL, 2011e

Contexto Tecnológico: A Energia Solar

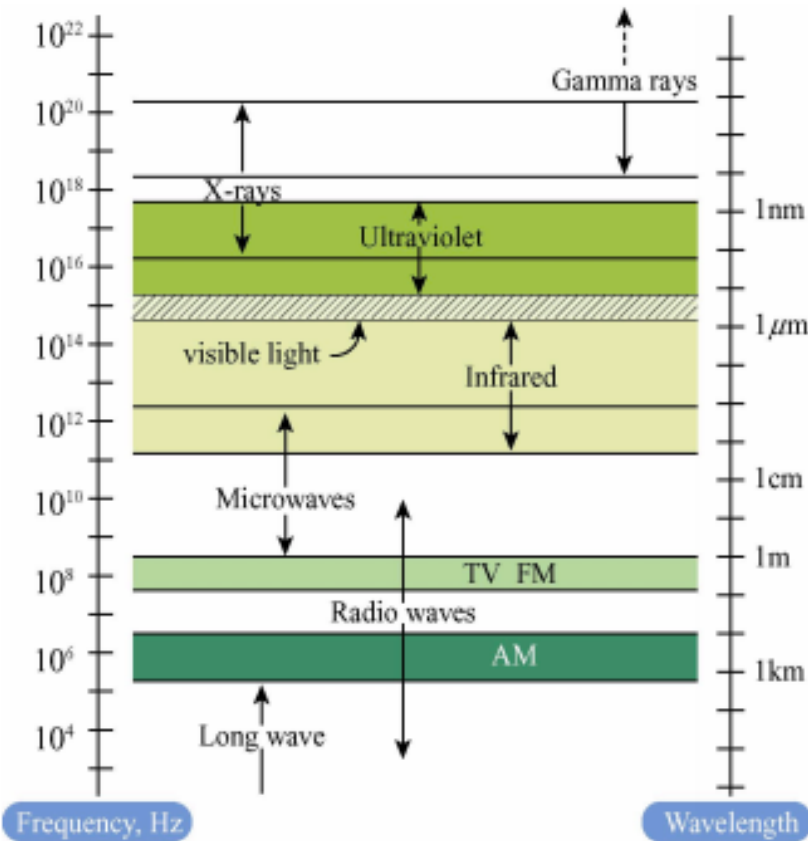
CONTEXTO 3: Tendo em mãos os valores obtidos nos itens anteriores temos:

	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

Ondas eletromagnéticas

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



Fontes natural ou artificiais de Megahertz produzem ondas de raio

Ondas de radio

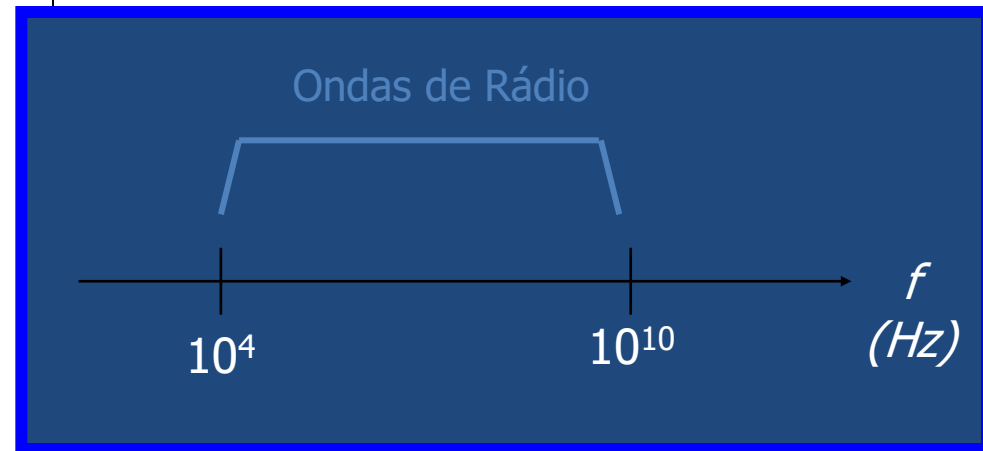


Figure 13.4.4 Electromagnetic spectrum

Radiação eletromagnética

Ondas Eletromagnéticas são produzidas quando cargas elétricas são aceleradas

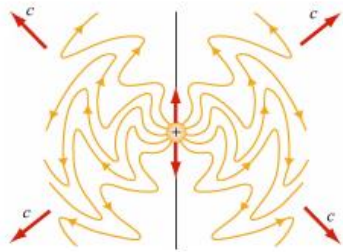
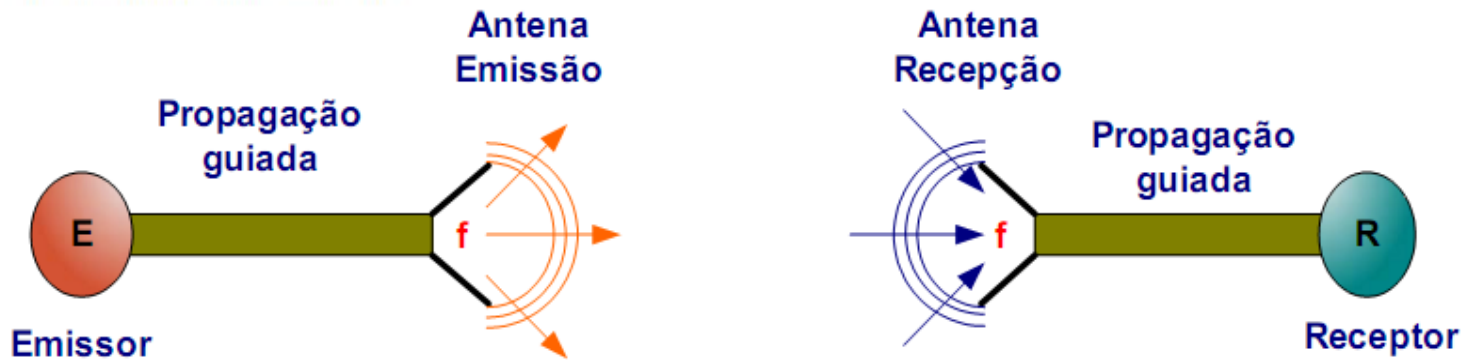


Figure 13.8.1 Electric field lines of an oscillating point charge

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

Sistemas que detectamos a repostada 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

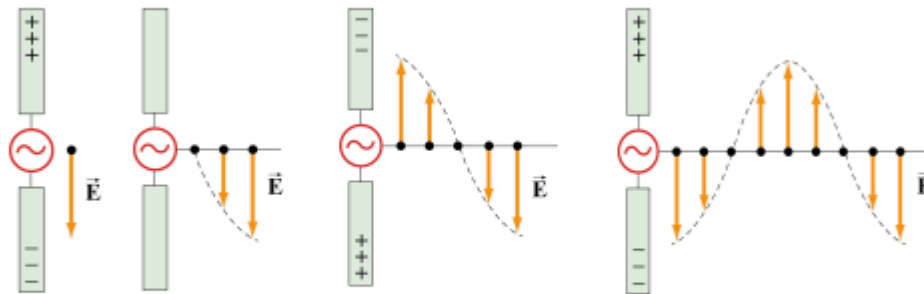


Figure 13.8.2 Electric fields produced by an electric-dipole antenna.

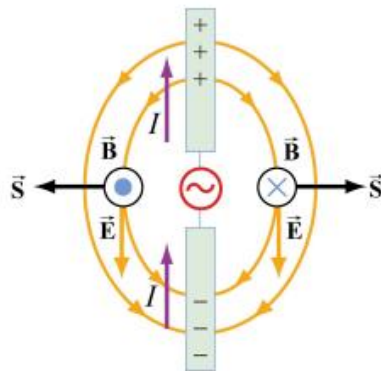


Figure 13.8.3 Electric and magnetic field lines produced by an electric-dipole antenna.

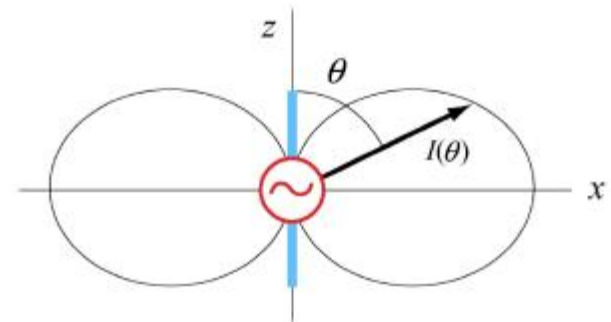


Figure 13.8.4 Angular dependence of the radiation intensity.

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 (DoD) do Estados Unidos que fornece posicionamento altamente preciso para usuários militares e civis
- Nome verdadeiro: NAVSTAR (Navigation System with Time and Ranging)

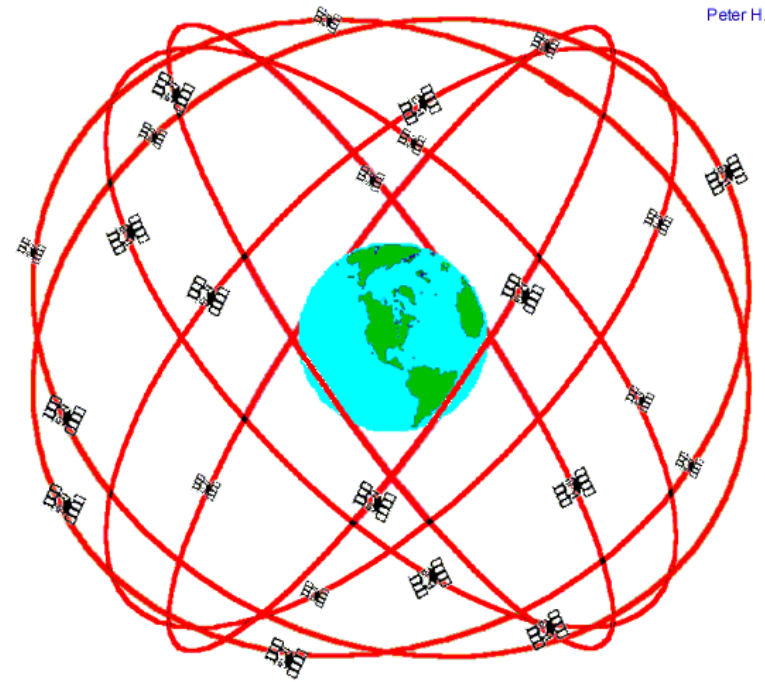
- Permite a qualquer usuário saber a sua localização, velocidade e tempo, 24 horas por dia, sob quaisquer condições atmosféricas e em qualquer ponto do globo terrestre.
- Não necessita de de visibilidade entre as estações (métodos de levantamento convencionais).
- Adota como referência o elipsóide *World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

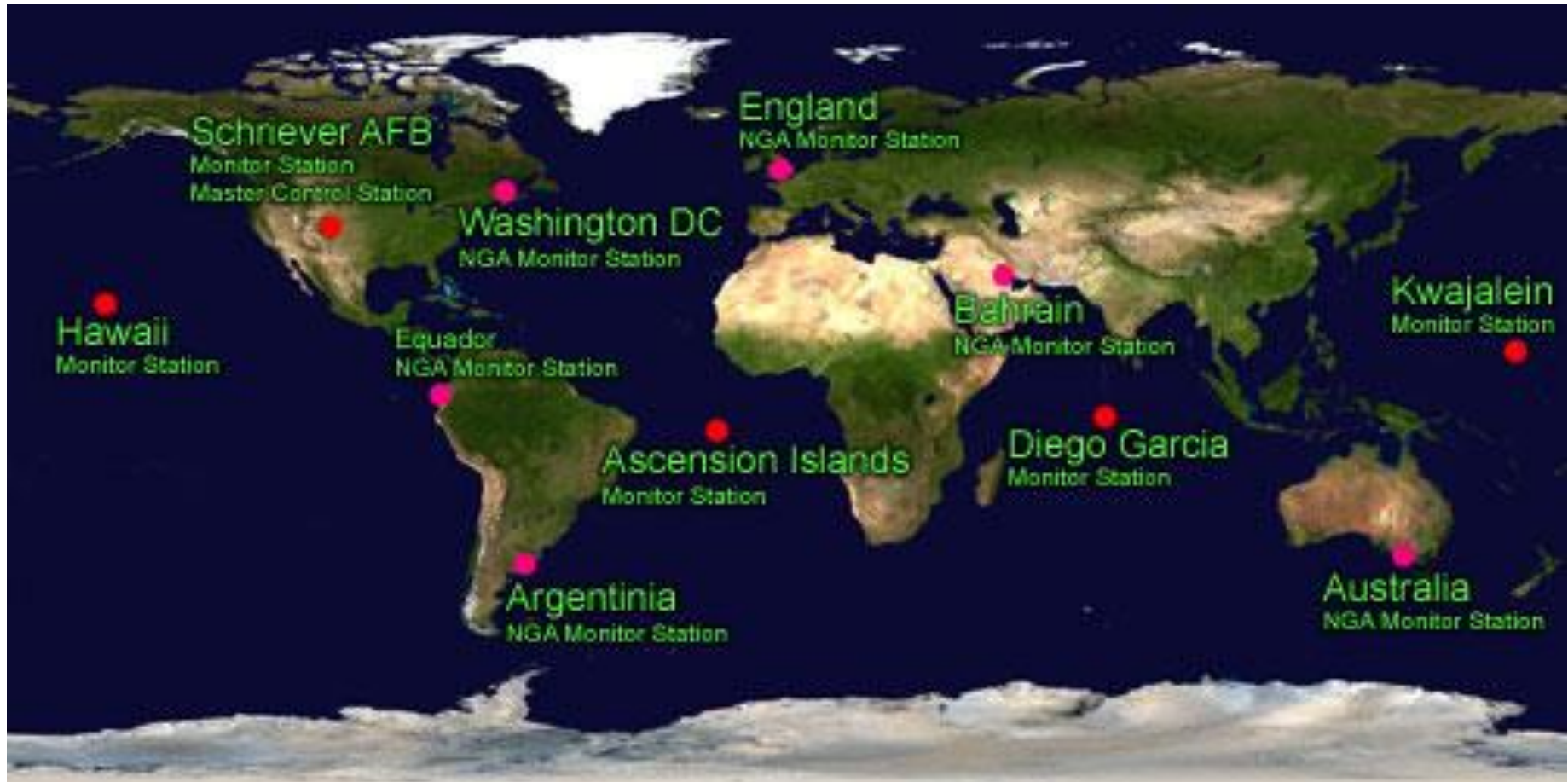
Histórico do GPS

- **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.

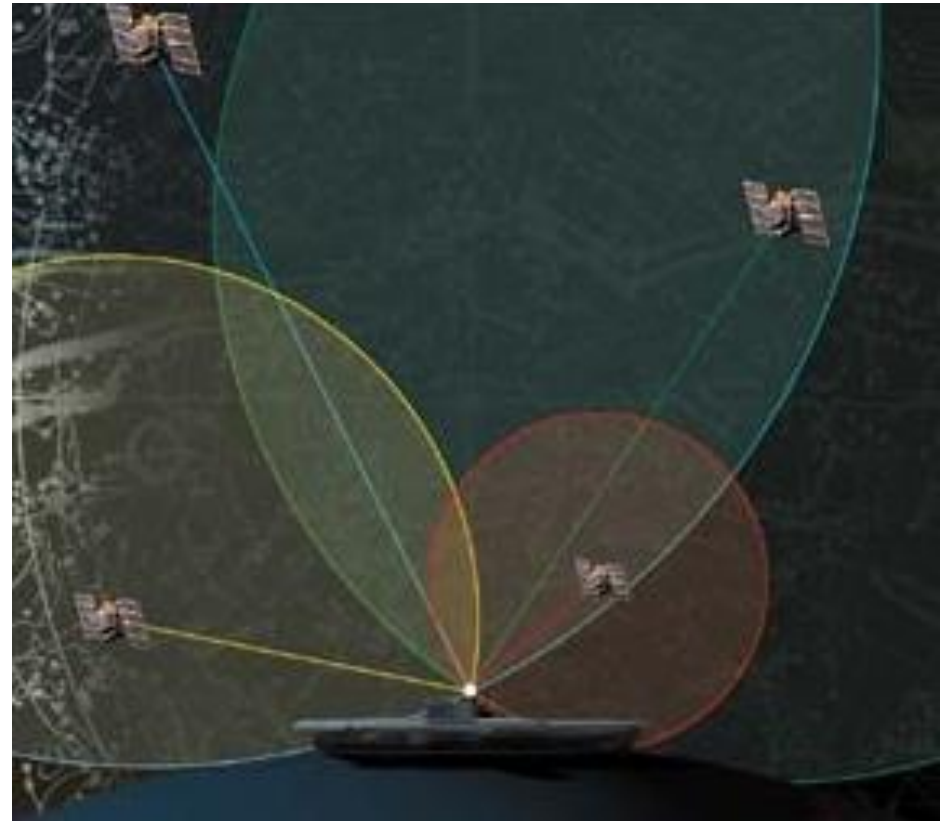




Localização das estações de controle GPS

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 x 10,23 MHz)

Comprimento: 19 cm

Onda portadora L2 (Link two)

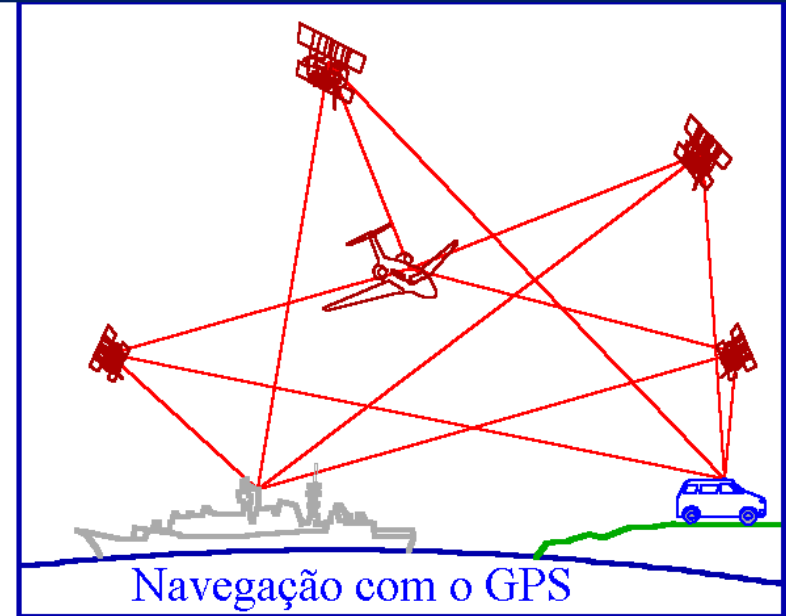
Frequência: 1227,60 MHz (120 x 10,23 MHz)

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

