

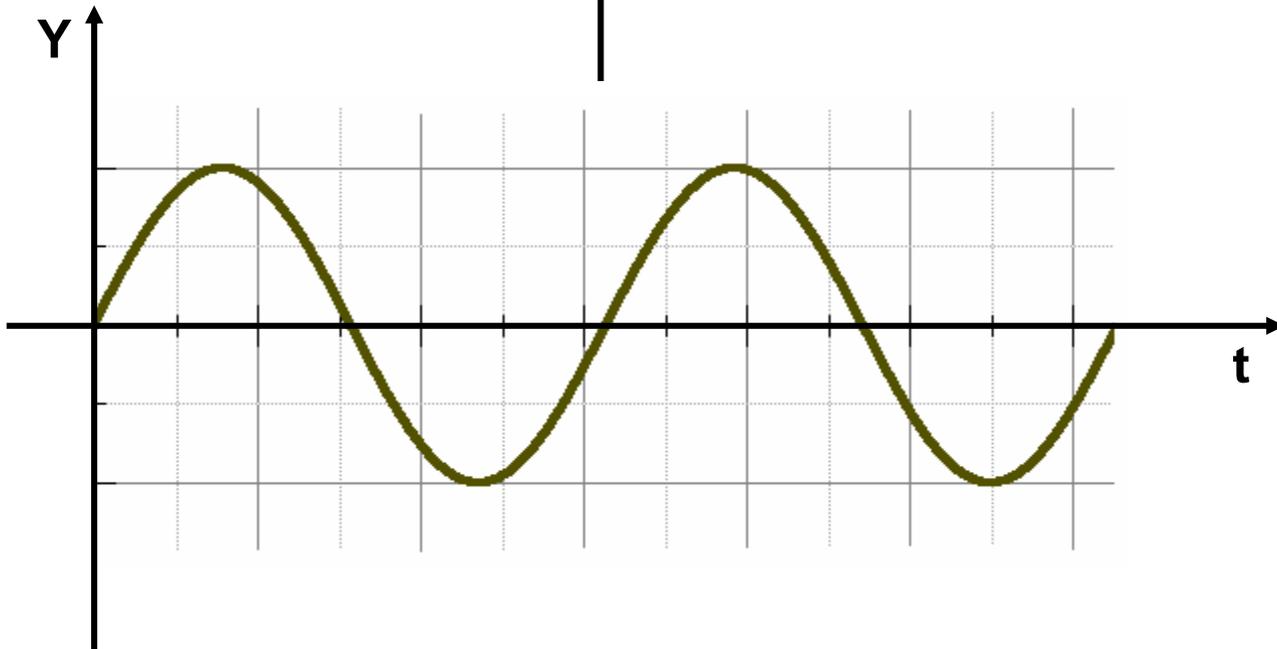
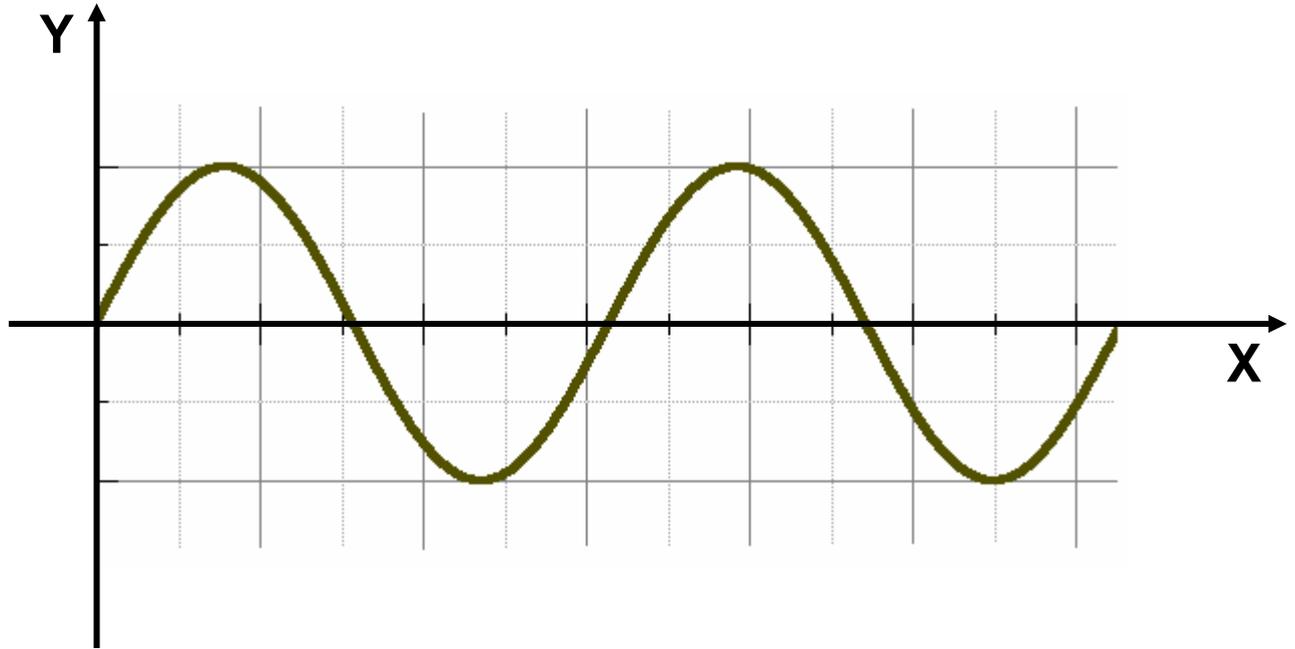
# Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - *Campus São Paulo*

## ONDAS

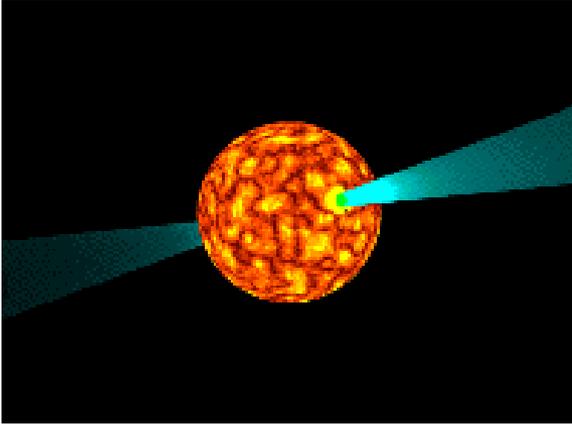
*3ª série – Ensino Médio Integrado*

*André Cipoli  
Rogério Burgugi*

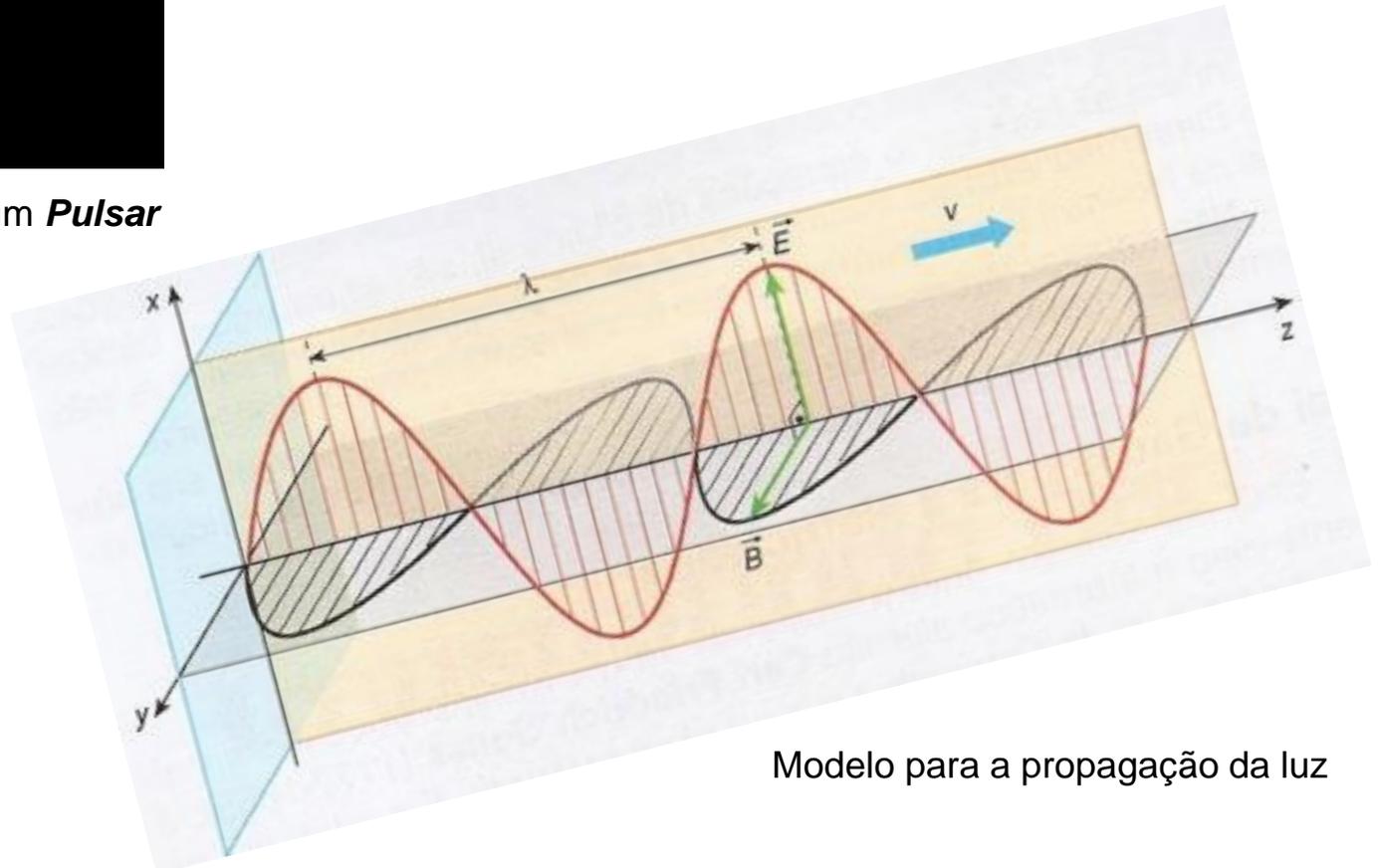
*Qual dos gráficos abaixo representa a fotografia de uma onda?*



# Ondas Eletromagnéticas



Modelo de um *Pulsar*



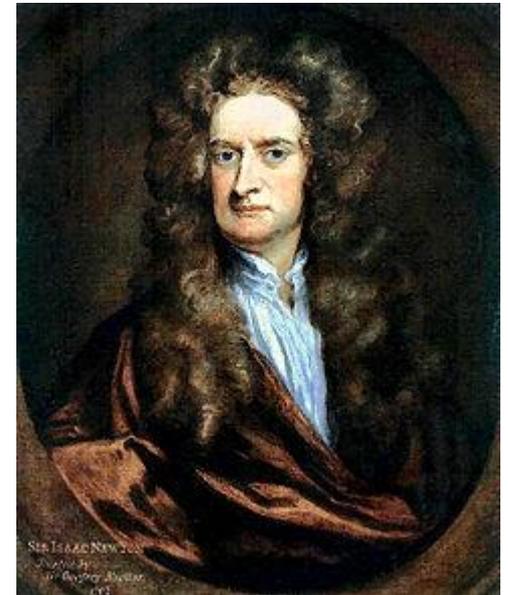
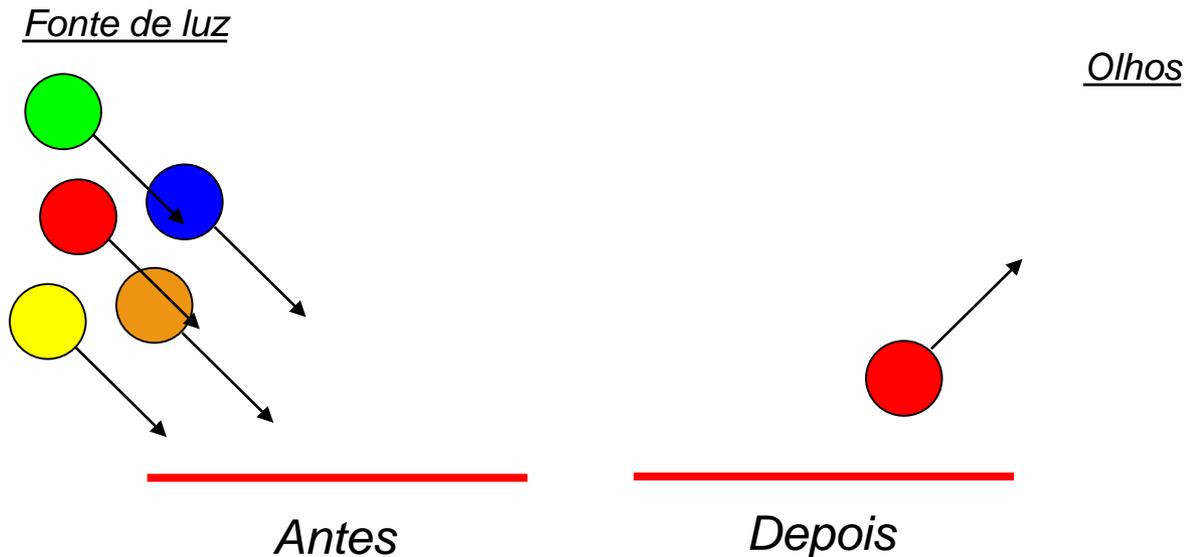
Modelo para a propagação da luz

# Breve cronologia dos modelos para a luz

- Isaac Newton (1640 - 1725): sucesso do modelo mecânico para explicar vários fenômenos.

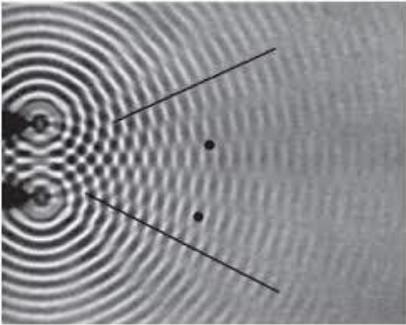
## Modelo Corpuscular da Luz

### Reflexão da Luz

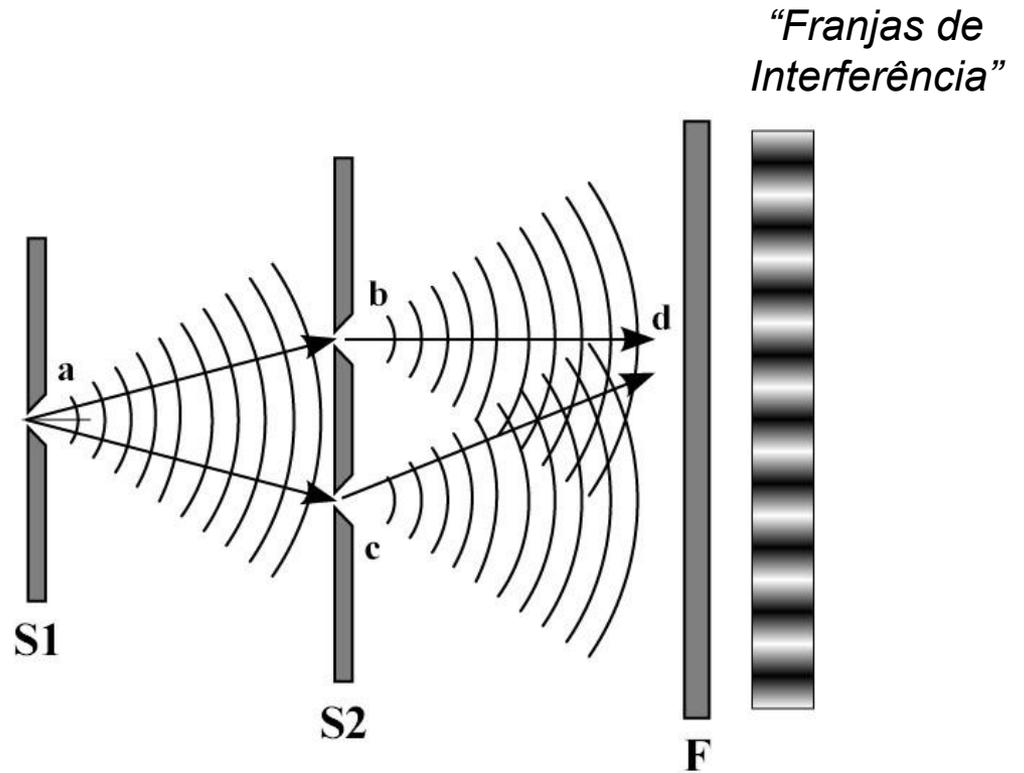


- Christian Huygens (1629 - 1695)

*Modelo ondulatório da luz*



- Thomas Young (1773 - 1829)

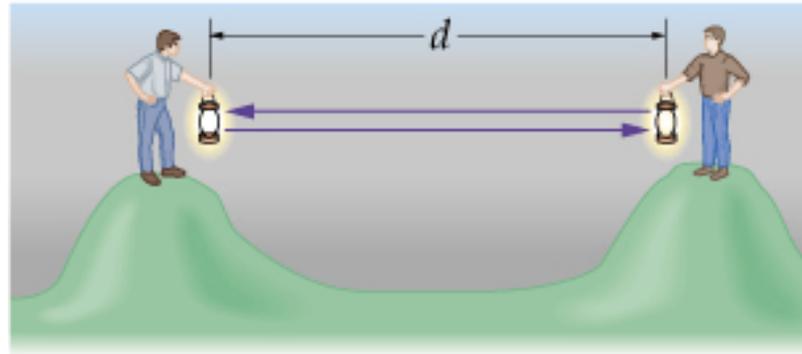


**Interferência da luz** – experimento da dupla fenda (1801)

- Determinação da Velocidade da Luz



Galileu Galilei  
1564 - 1642



$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

# Capacitor

*Armazenador de energia no campo elétrico.*



Ewald Georg von Kleist  
1700 - 1748  
(1745)



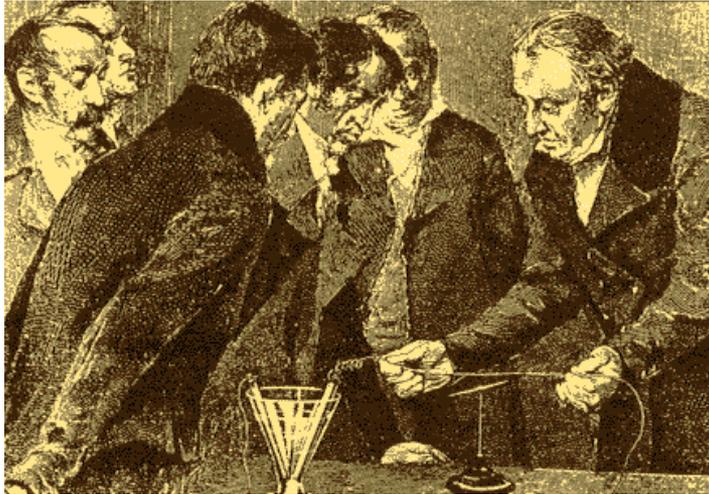
Pieter van  
Musschenbroek  
1692 - 1761  
(1746)



**Kleist and  
Musschenbroek's  
Leyden Jar  
(circa 1745)**

# Experimento de Oersted

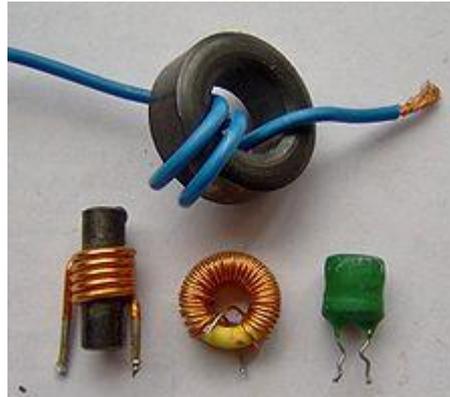
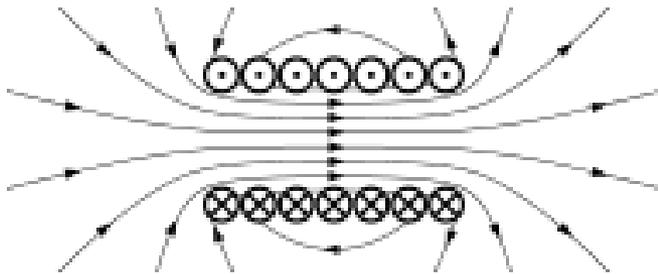
*Relação entre magnetismo e eletricidade.*



Hans Christian Oersted  
1777 - 1851  
( $\approx$  1820)

# Bobina

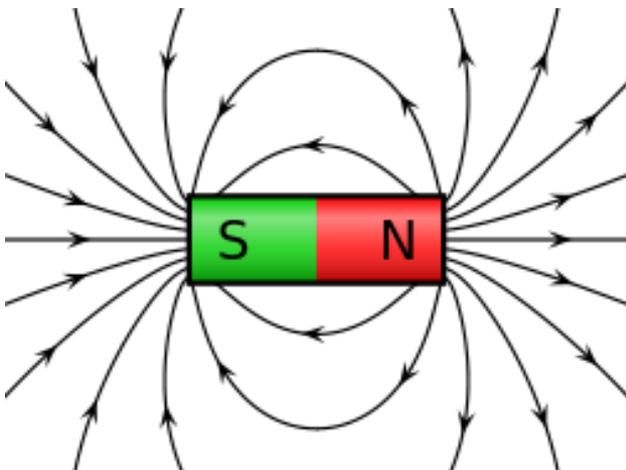
*Armazenador de energia no campo magnético.*



*Transformadores*



Michael Faraday  
1791 - 1867  
(1831)



# • James Clerk Maxwell (1831-1879)

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \rho / \epsilon_0$$

Lei de Gauss (eletrostática)

• relaciona os campos elétricos e suas fontes, as cargas elétricas, e pode ser aplicada mesmo para campos elétricos variáveis com o tempo.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

Lei de Gauss (magnetostática)

• aplicável aos campos magnéticos e evidenciando ainda a não existência de monopolos magnéticos (não existe polo sul ou polo norte isolado), isto é, as linhas de campo magnético são contínuas.

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu_0 \vec{J}$$

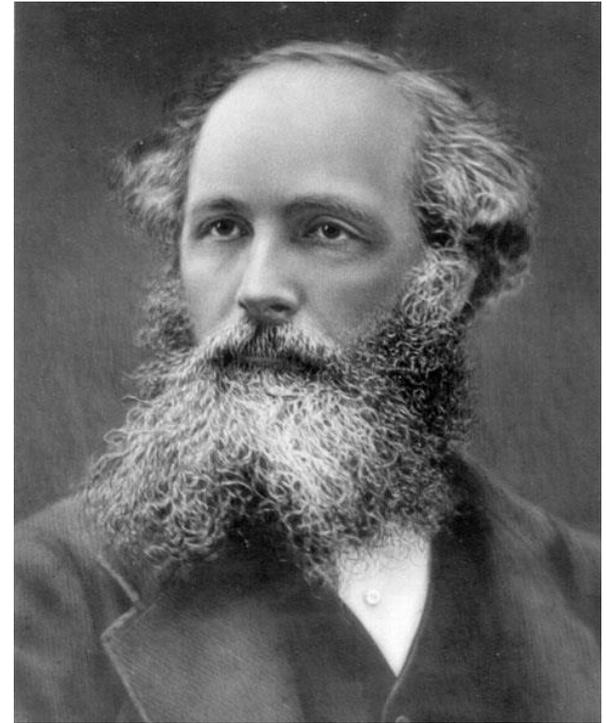
Lei de Ampère

• a relação entre um campo magnético e a corrente elétrica que o origina. Ela estabelece que um campo magnético é sempre produzido por uma corrente elétrica ou por um campo elétrico variável. Essa segunda maneira de se obter um campo magnético foi prevista pelo próprio Maxwell, com base na simetria de natureza: se um campo magnético variável induz um campo elétrico, e conseqüentemente uma corrente elétrica, então um campo elétrico variável deve induzir um campo magnético.

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Lei de Faraday

• descreve as características do campo elétrico originando um fluxo magnético variável. Os campos magnéticos originados são variáveis no tempo, gerando assim campos elétricos do tipo rotacionais.



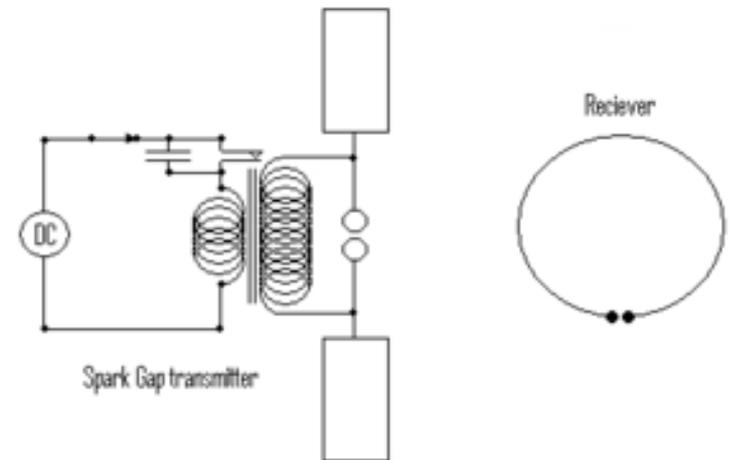
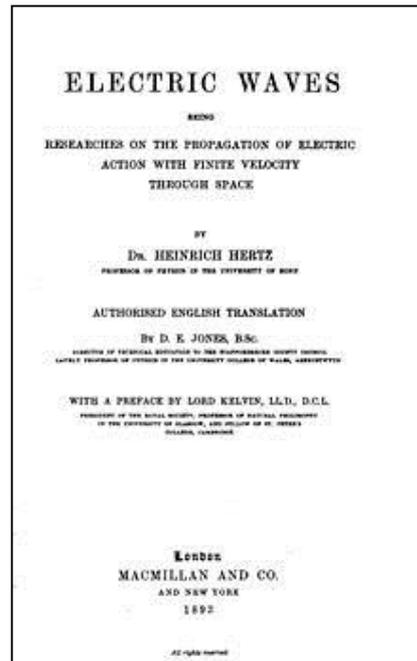
Teoria eletromagnética  
clássica da luz (1873)

• Eletromagnetismo

• Óptica

- Heinrich Rudolf Hertz (1857 - 1894)

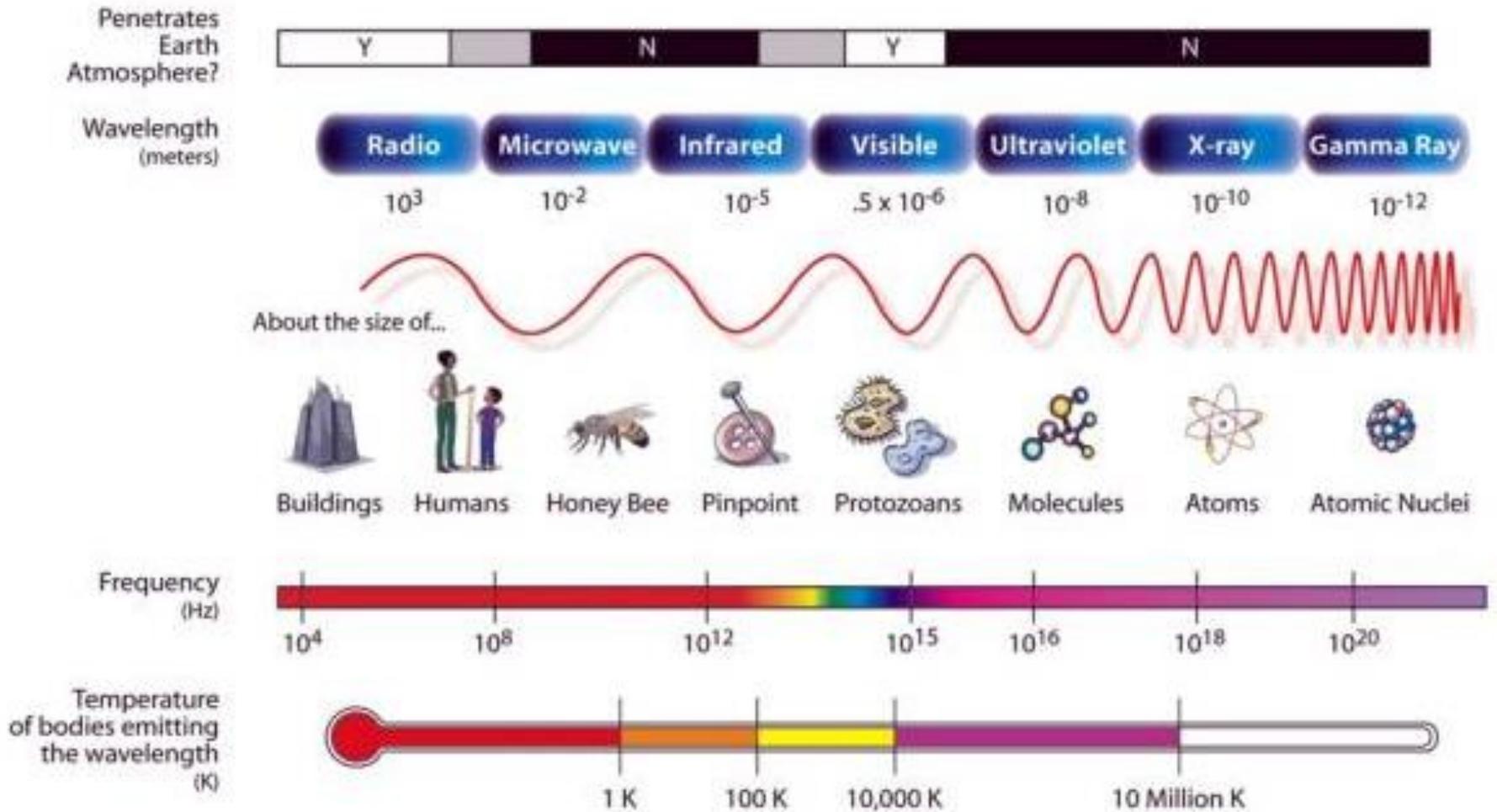
*Realização de experiências para a comprovação da T.E.C.*



*Esquema do aparato de Hertz (1.887)*

# Espectro Eletromagnético

$$1\text{\AA} = 1.10^{-10}m$$



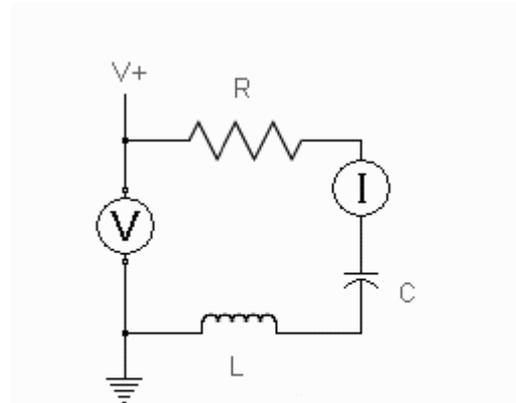
# Ressonância

- Mecânica



Ponte do rio Tacoma

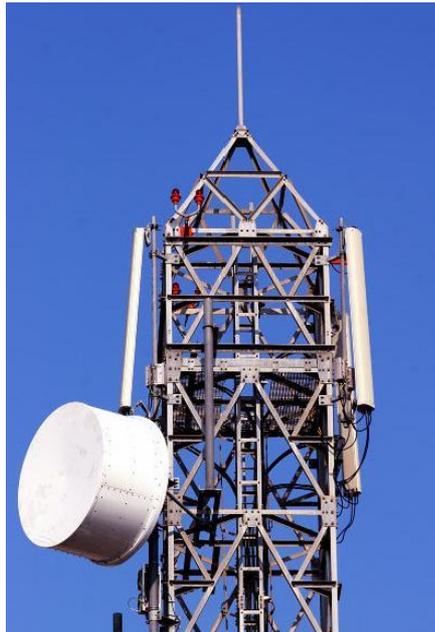
- Elétrica



Circuito elétrico

# Antenas

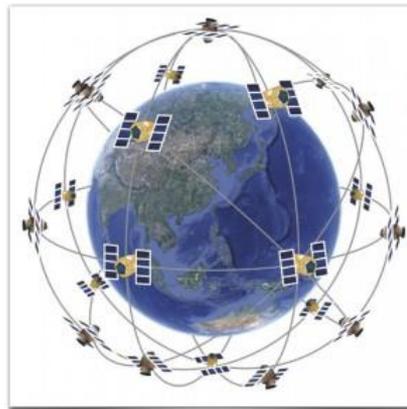
- Transmissão e recepção na faixa de rádio



- Micro-ondas



*Radiotelescópio de Arecibo*

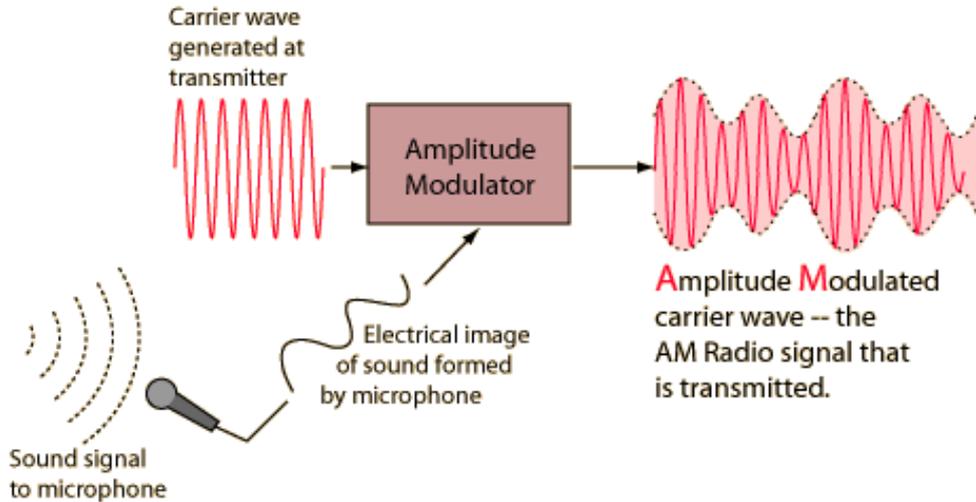


- GPS



# Transmissão e recepção de rádio

- Transmissão

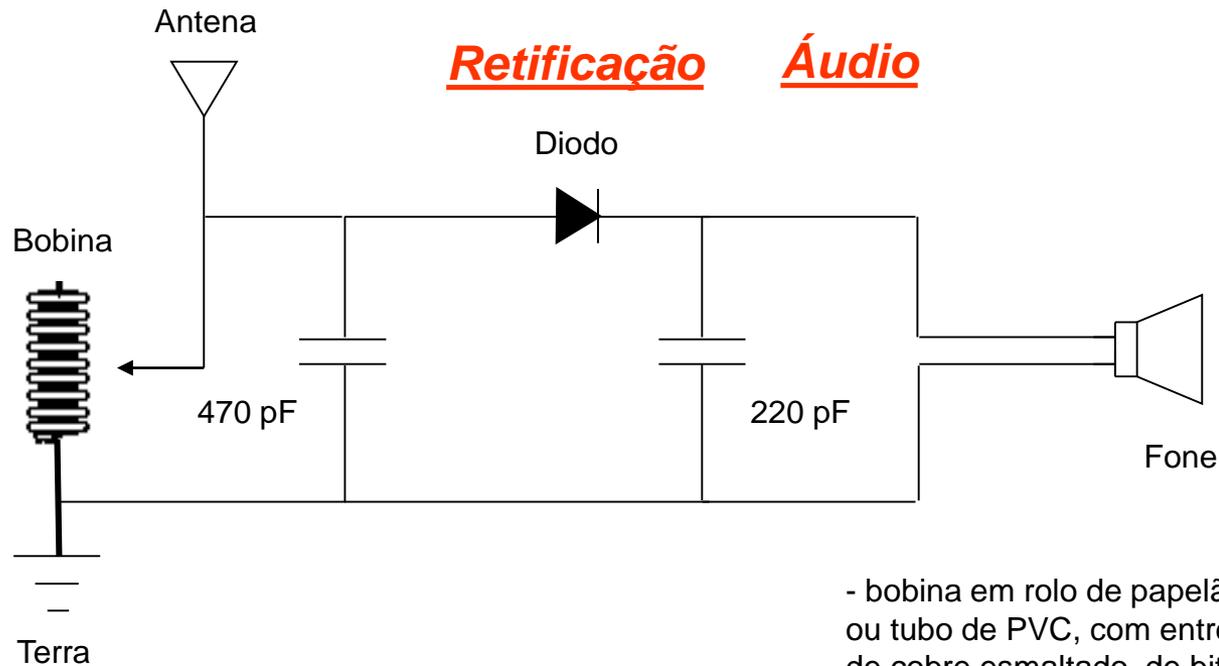


- Recepção



# Circuito oscilante de um receptor de rádio

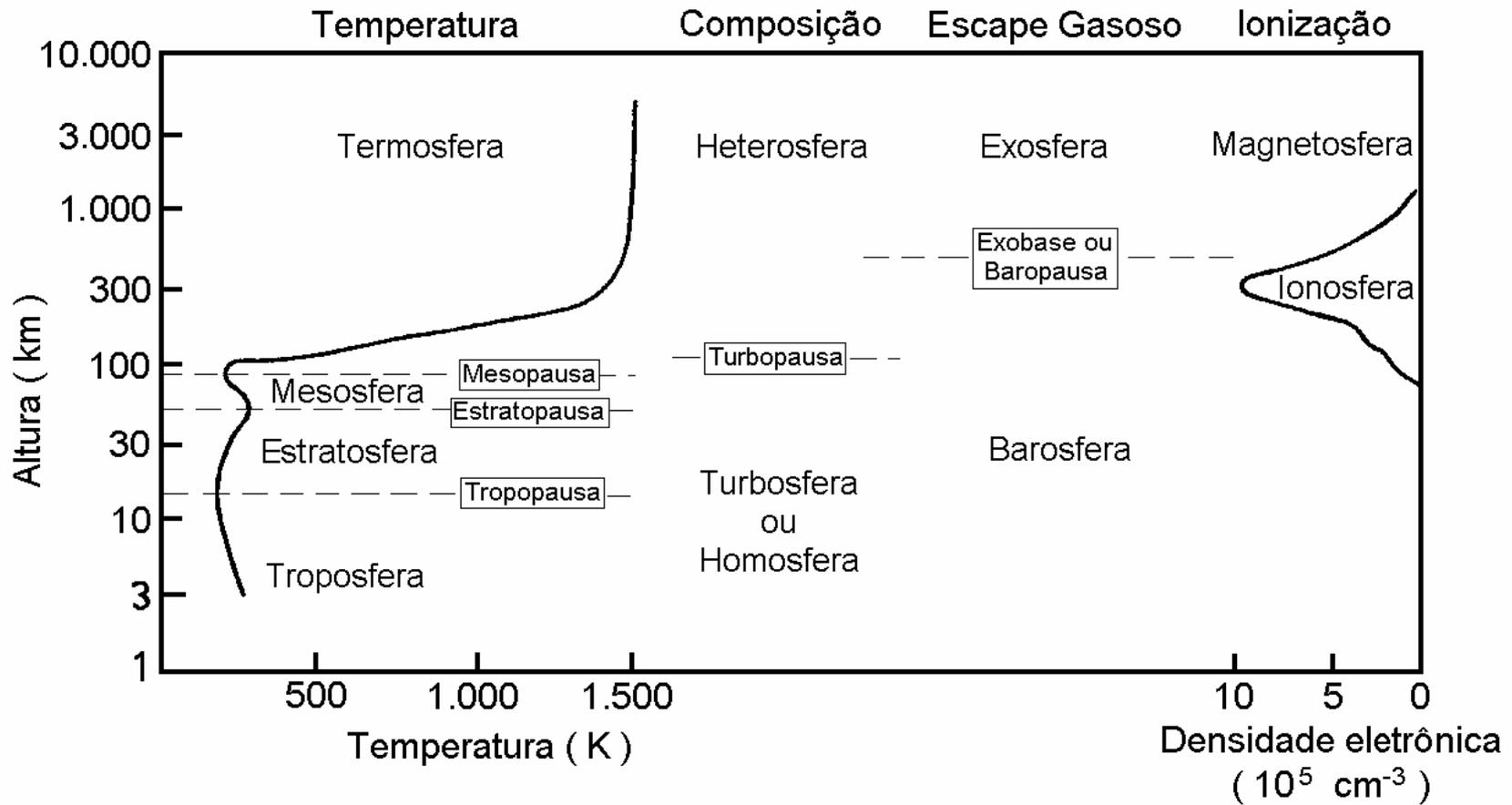
## Recepção e Sintonia



- bobina em rolo de papelão rígido (tipo *Magipack*) ou tubo de PVC, com entre 100 e 120 voltas de fio de cobre esmaltado, de bitola 26 a 30;
- Fone DR 40 ou similar;
- Diodo de silício ou germânio

***É zero ou dez!!! Portanto, boa sorte.***

# Perfil da Atmosfera Terrestre

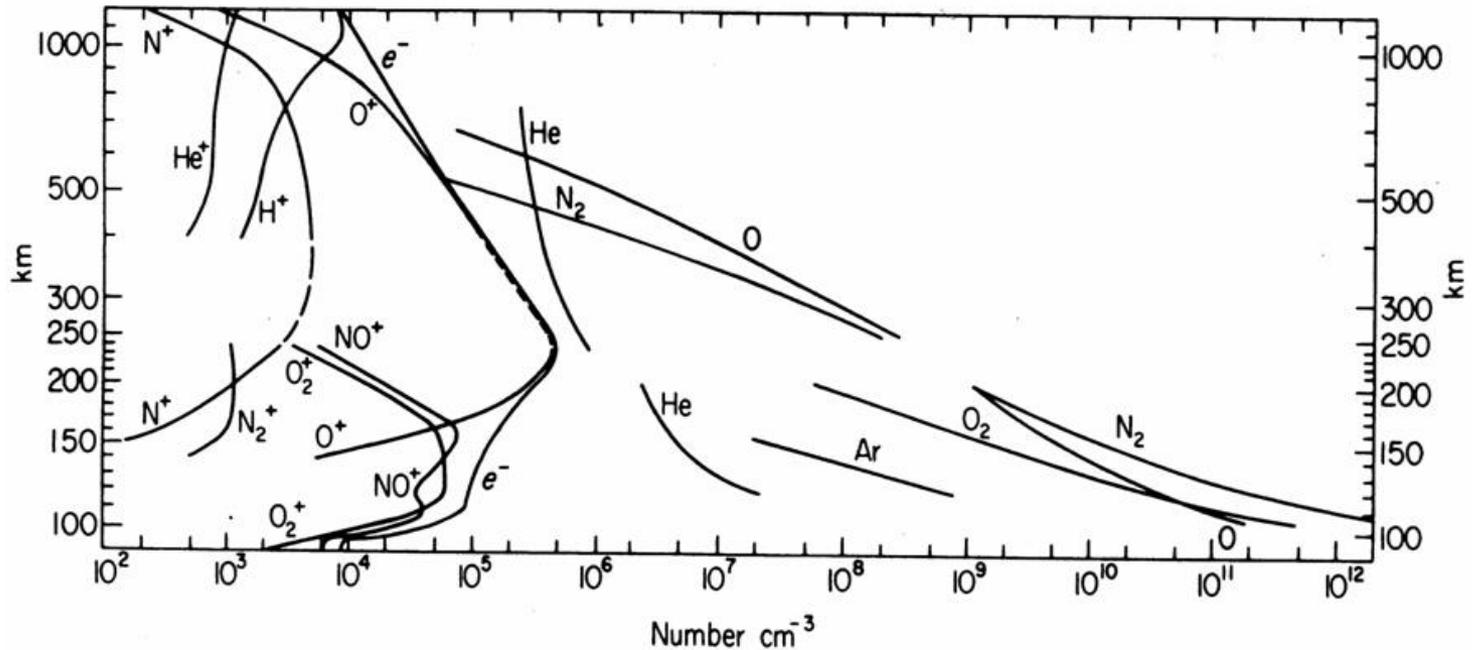


*Regiões da atmosfera terrestre com os nomes convencionais descrevendo as camadas.*

Hargreaves (1992, p. 99)

# IONOSFERA

- aproximadamente 60 e 1.000 km de altitude;
- partículas ionizadas positivamente e elétrons livres;
- Ionização de gases neutros, como oxigênio, nitrogênio e outros → radiação solar (comprimentos de onda)

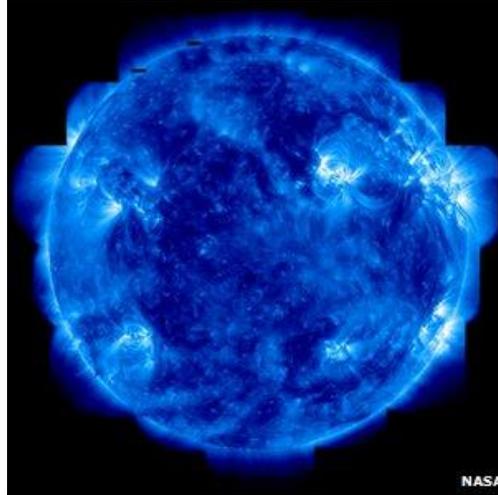


*Concentração de gases neutros e de partículas ionizadas em condições de atmosfera diurna não perturbada.*

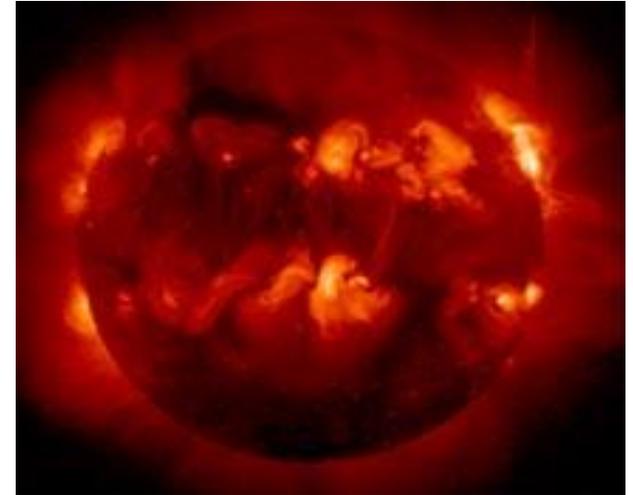
# SOL



*Radiação Visível*



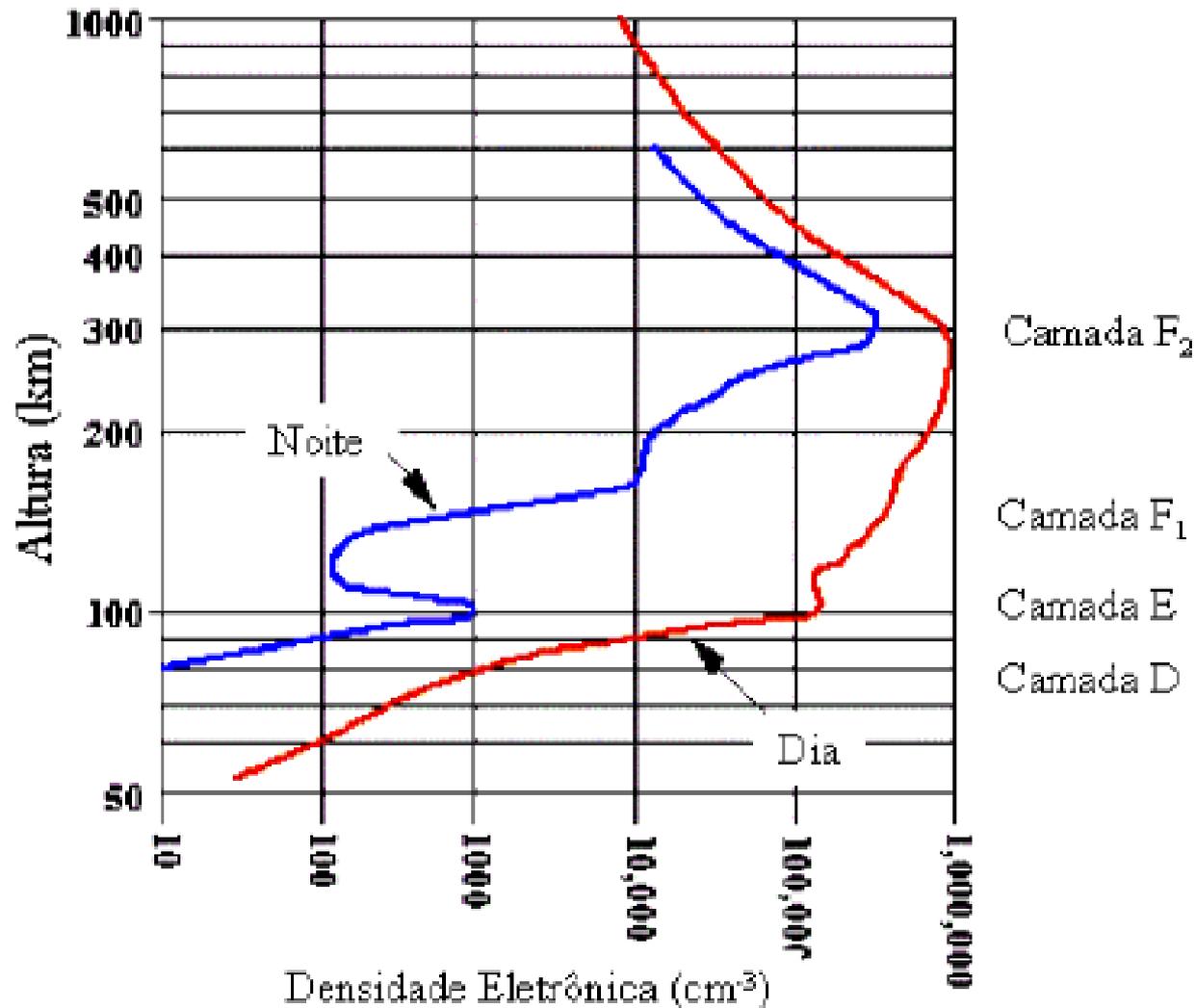
*Radiação Ultravioleta*



*Radiação X*

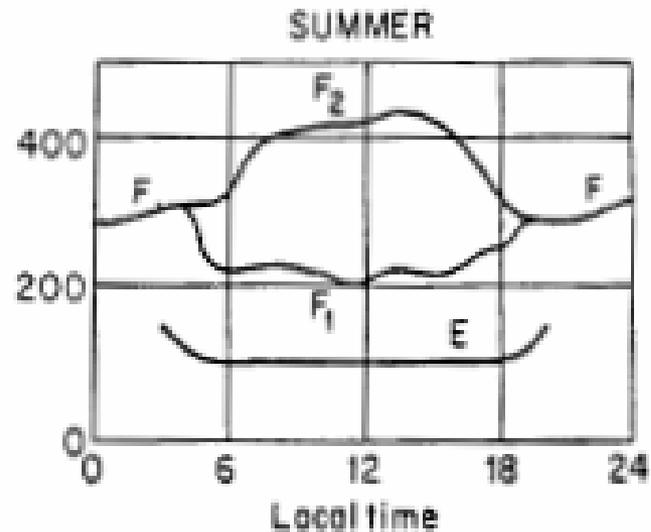
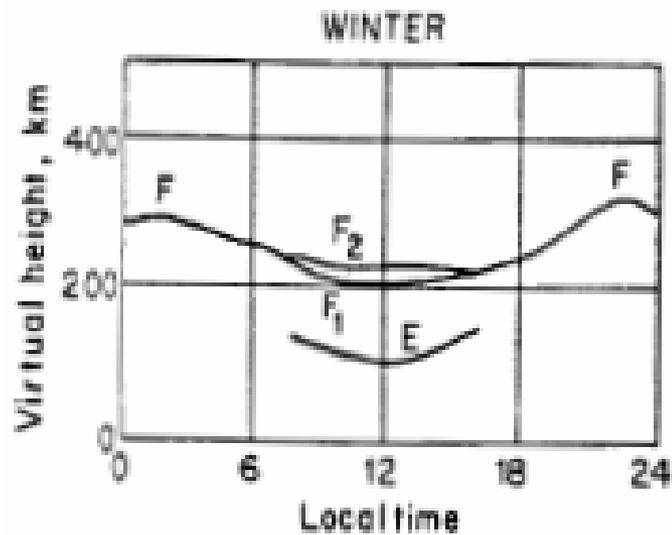
- **Camada D** (60 e 90km) → Raios X, raios cósmicos, Lyman- $\alpha$  (1216 Å), UVE 1027 e 1118 Å e partículas de origem solar ou auroral
- **Camada E** (90 e 120km) → (abaixo de 14nm e entre 80 e 102,7nm)
- **Camada F** (120 e 200 e 200 e 1.000km) → (14 e 80nm)

# Estrutura Eletrônica da Ionosfera



# Dependências

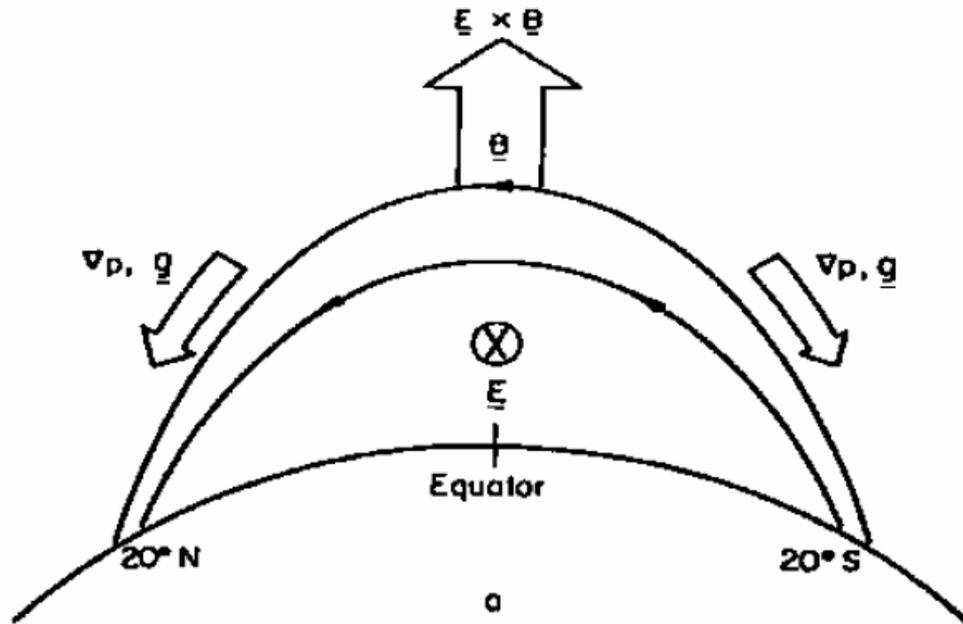
- Atividade Solar
- Estação do ano
- Latitude
- Longitude
- Hora do dia



# Anomalia Equatorial

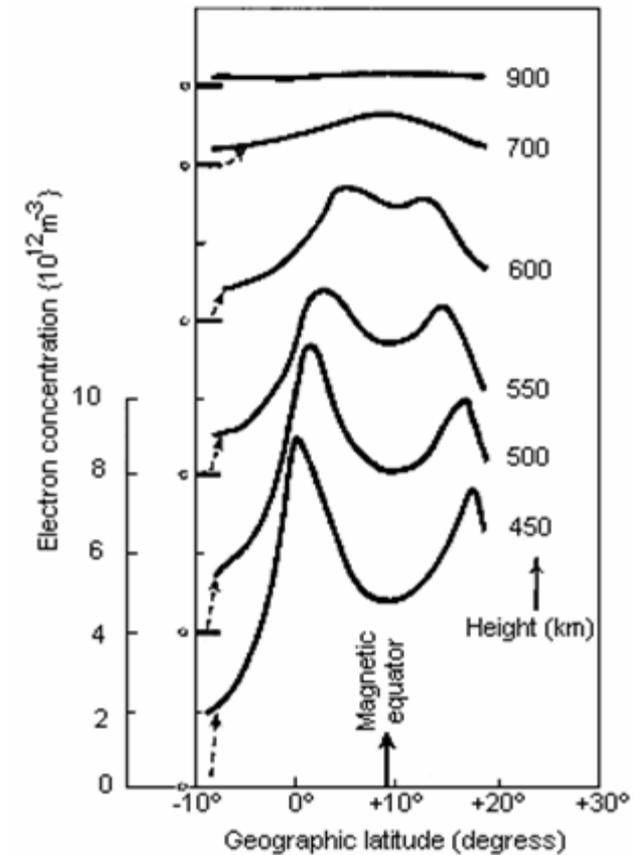
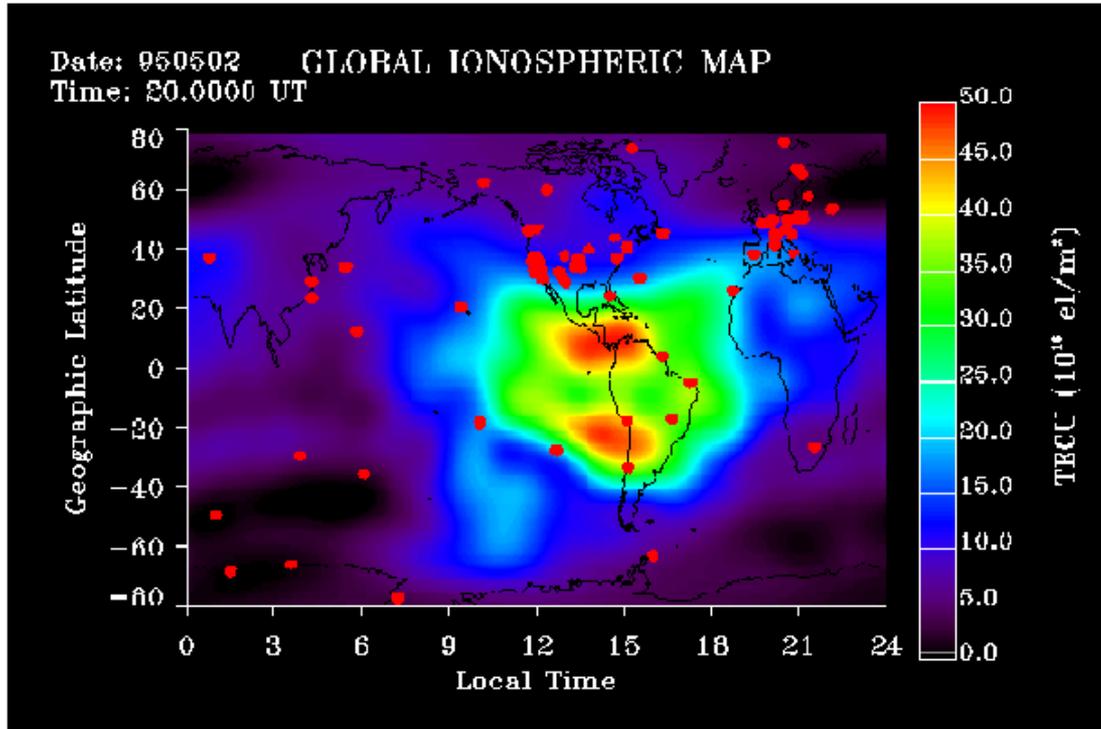
ou anomalia Appleton

- Duas faixas de alta densidade do plasma ionosférico;
- Localizadas nas regiões tropicais que circulam paralelamente ao equador magnético;
- Nas faixas da anomalia que se localizam no território brasileiro as densidades da ionosfera atingem valores maiores que em outras regiões da Terra;
- Importante influência nas telecomunicações terrestres e espaciais.

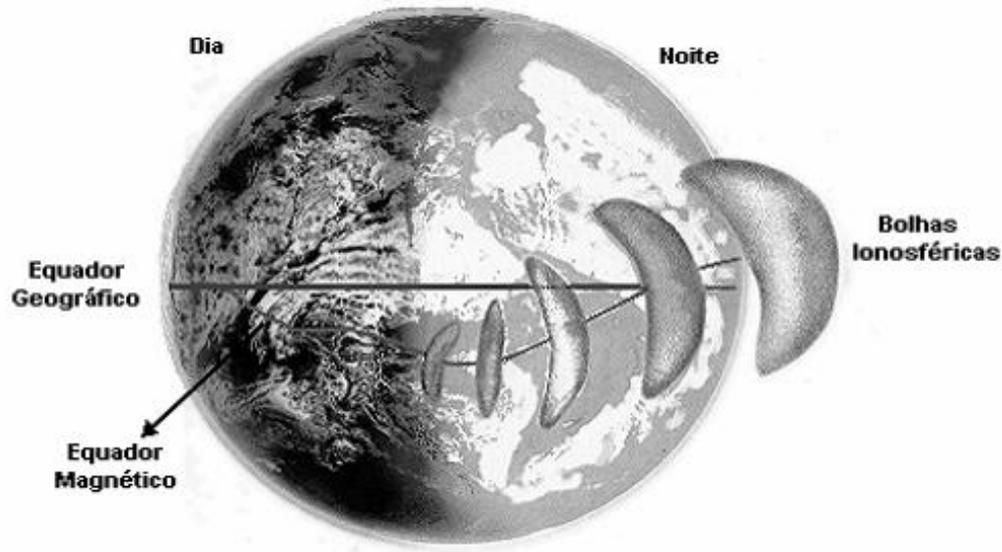


Kelley (1989, pág. 193)

# Medições da Anomalia Equatorial



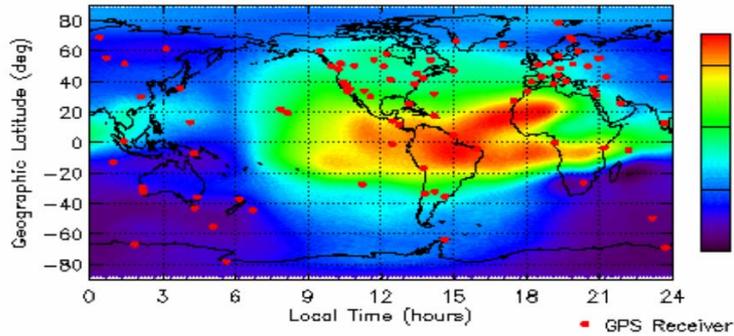
# Bolhas Ionosféricas



- Baixa densidade de plasma ionosférico que ocorre na região do equador magnético;
- Linhas de força do campo geomagnético (maior mobilidade dos elétrons livres na região);
- Zona equatorial, mais intensamente sobre o Brasil;
- Dependente do ciclo solar (não acontece durante o dia devido a alta condutividade iônica influenciada pela radiação solar);
- Ocorrência a partir de outubro até março, com maior incidência entre novembro e janeiro;

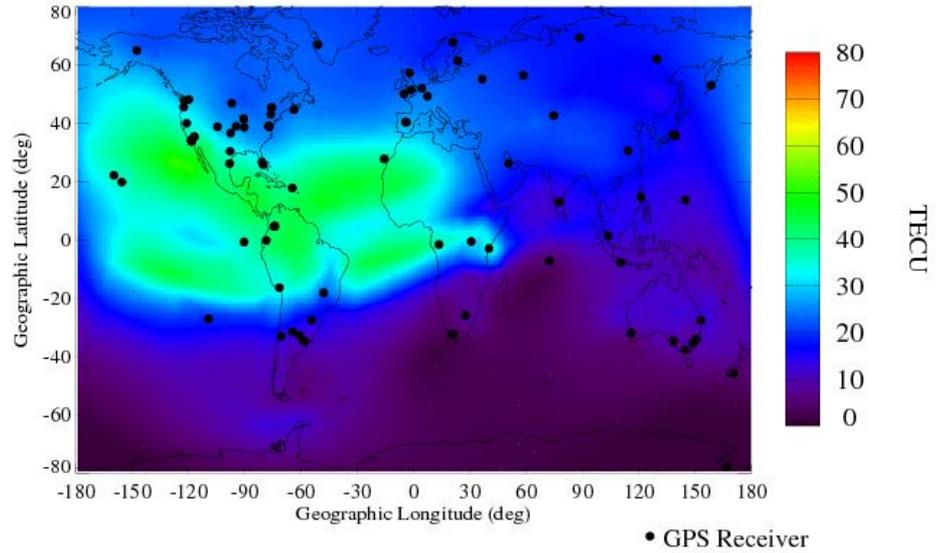
# Conteúdo Eletrônico *Total*

08/21/01  
18:00 - 19:00 UT Global Ionospheric TEC Map



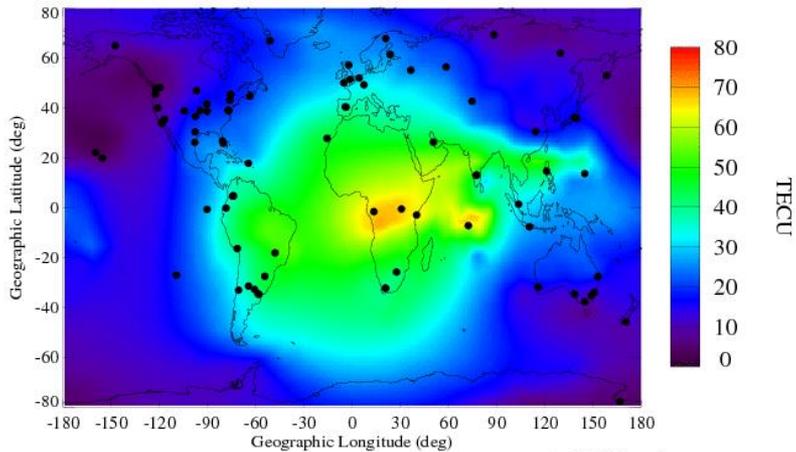
07/02/14  
18:35 UT

Ionospheric TEC Map



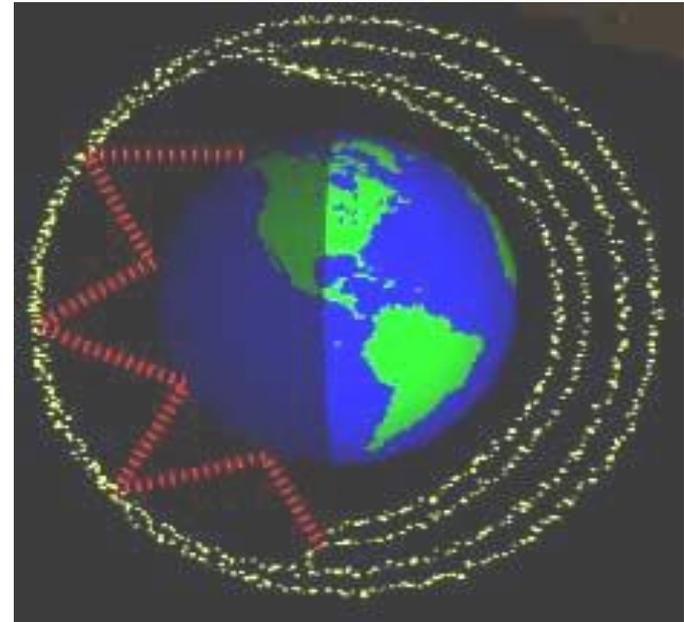
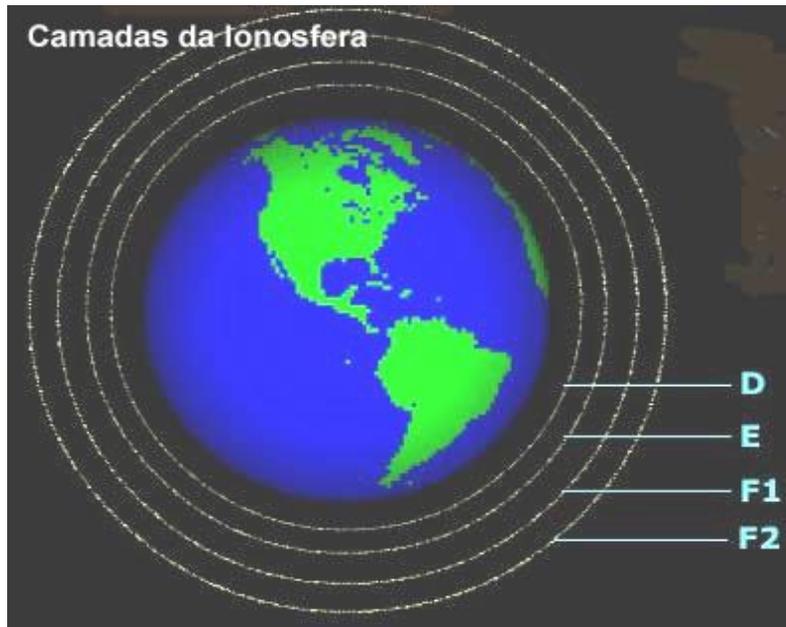
10/02/12  
13:45 UT

Ionospheric TEC Map

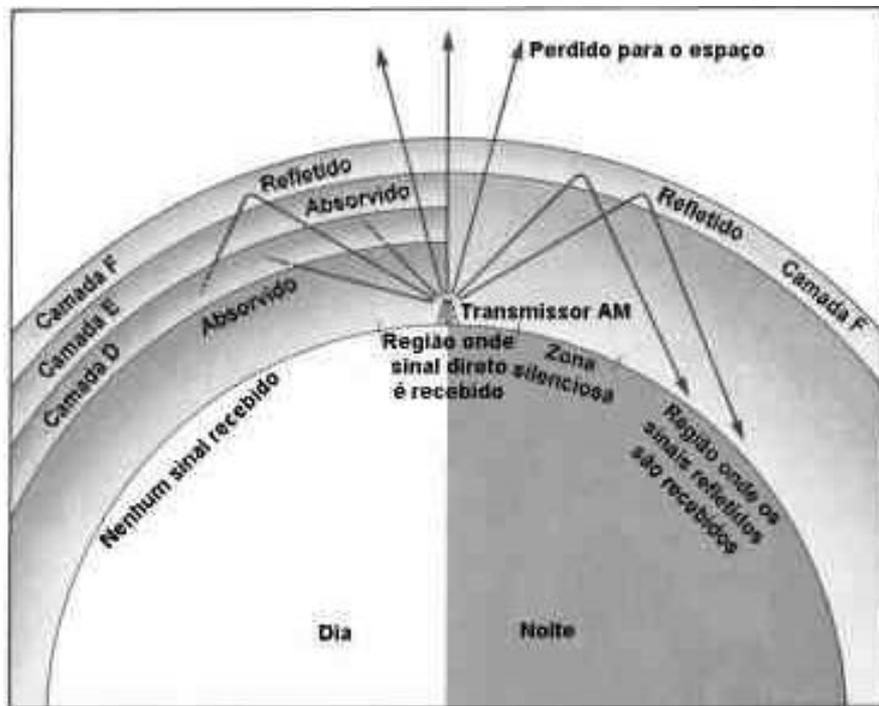


• GPS Receiver

# Ação da Ionosfera nas Comunicações



- **Camada D** - Máxima ionização durante a tarde; rápida dissipação iônica; absorve rádio abaixo de 10MHz;
- **Camada E** – rápida dissipação iônica; permite refração de rádio com reflexão;
- **Camada F** – camada única à noite; comunicações em longa distância em ondas curtas; ionizada à noite; refletem abaixo de 10MHz durante a noite;



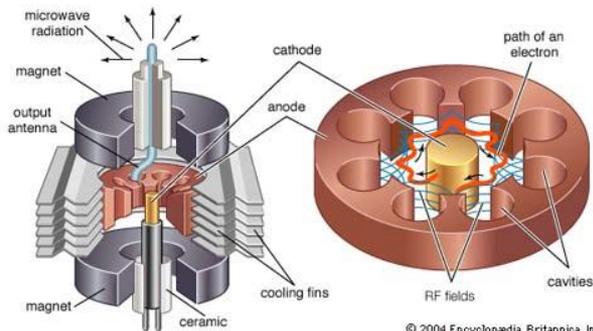
# Exercícios

1) (UFPR 2010) O primeiro forno de micro-ondas foi patenteado no início da década de 1950 nos Estados Unidos pelo engenheiro eletrônico Percy Spence. Fornos de micro-ondas mais práticos e eficientes foram desenvolvidos nos anos 1970 e a partir daí ganharam grande popularidade, sendo amplamente utilizados em residências e no comércio. Em geral, a frequência das ondas eletromagnéticas geradas em um forno de micro-ondas é de 2.450 MHz. Em relação à Física de um forno de micro-ondas, considere as seguintes afirmativas:

1. Um forno de micro-ondas transmite calor para assar e esquentar alimentos sólidos e líquidos.
2. O comprimento de onda dessas ondas é de aproximadamente 12,2 cm.
3. As ondas eletromagnéticas geradas ficam confinadas no interior do aparelho, pois sofrem reflexões nas paredes metálicas do forno e na grade metálica que recobre o vidro da porta.

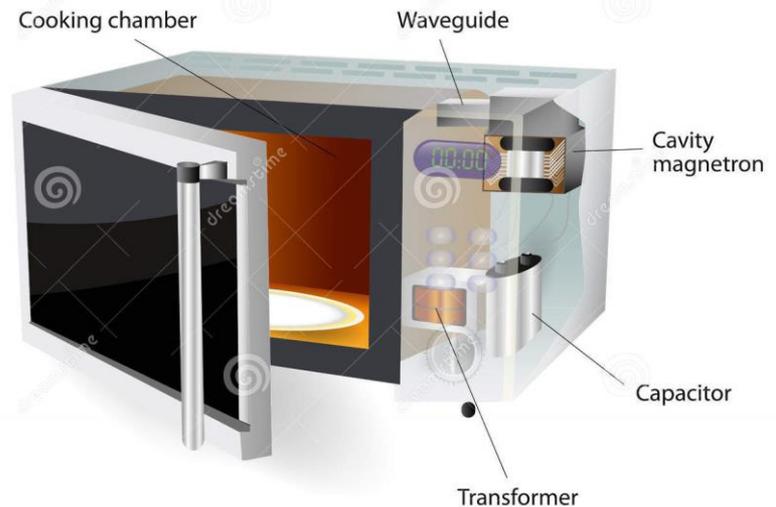
Assinale a alternativa correta.

- A) Somente a afirmativa 1 é verdadeira.
- B) Somente a afirmativa 2 é verdadeira.
- C) Somente a afirmativa 3 é verdadeira.
- D) Somente as afirmativas 1 e 2 são verdadeiras.
- E) Somente as afirmativas 2 e 3 são verdadeiras.



© 2004 Encyclopædia Britannica, Inc.

## MICROWAVE OVEN



- 2) (UFG) As ondas eletromagnéticas foram previstas por Maxwell e comprovadas experimentalmente por Hertz (final do século XIX). Essa descoberta revolucionou o mundo moderno. Sobre as ondas eletromagnéticas são feitas as afirmações:
- I. Ondas eletromagnéticas são ondas longitudinais que se propagam no vácuo com velocidade constante  $c = 3,0 \times 10^8$  m/s.
  - II. Variações no campo magnético produzem campos elétricos variáveis que, por sua vez, produzem campos magnéticos também dependentes do tempo e assim por diante, permitindo que energia e informações sejam transmitidas a grandes distâncias.
  - III. São exemplos de ondas eletromagnéticas muito frequentes no cotidiano: ondas de rádio, sonoras, microondas e raios X.

Está correto o que se afirma em:

- a) I, apenas.
- b) II, apenas.
- c) I e II, apenas.
- d) I e III, apenas.
- e) II e III, apenas.

- 3) (UFRS) São exemplos de ondas os raios X, os raios gama, as ondas de rádio, as ondas sonoras e as ondas de luz. Cada um desses cinco tipos de onda difere, de algum modo, dos demais. Qual das alternativas apresenta uma afirmação que diferencia corretamente o tipo de onda referido das demais ondas acima citadas?

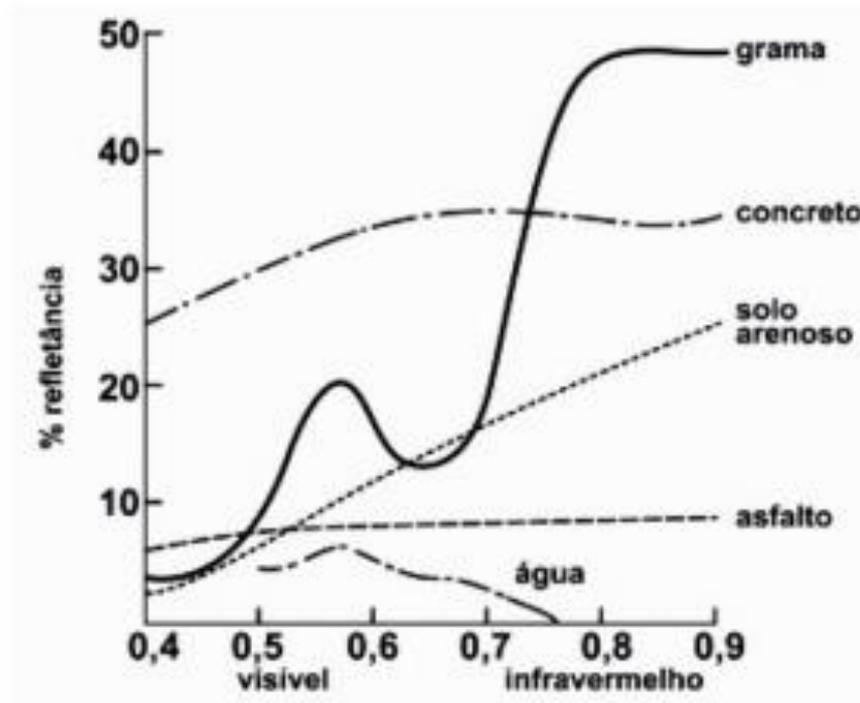
- a) Raios X são as únicas ondas que não são visíveis.
- b) Raios gama são as únicas ondas transversais.
- c) Ondas de rádio são as únicas ondas que transportam energia.
- d) Ondas sonoras são as únicas ondas longitudinais.
- e) Ondas de luz são as únicas ondas que se propagam no vácuo com velocidade de 300000 km/s.

- 4) (ENEM 2010 suplementar) Um garoto que passeia de carro com seu pai pela cidade, ao ouvir o rádio, percebe que a sua estação de rádio preferida, a 94,9 FM, que opera na banda de frequência de megahertz, tem seu sinal de transmissão superposto pela transmissão de uma rádio pirata de mesma frequência que interfere no sinal da emissora do centro em algumas regiões da cidade. Considerando a situação apresentada, a rádio pirata interfere no sinal da rádio do centro devido à
- a) atenuação promovida pelo ar nas radiações emitidas.
  - b) maior amplitude da radiação emitida pela estação do centro.
  - c) diferença de intensidade entre as fontes emissoras de ondas.
  - d) menor potência de transmissão das ondas da emissora pirata.
  - e) semelhança dos comprimentos de onda das radiações emitidas.
- 5) (ENEM 2010) As ondas eletromagnéticas, como a luz visível e as ondas de rádio, viajam em linha reta em um meio homogêneo. Então, as ondas de rádio emitidas na região litorânea do Brasil não alcançariam a região amazônica do Brasil por causa da curvatura da Terra. Entretanto sabemos que é possível transmitir ondas de rádio entre essas localidades devido à ionosfera. Com ajuda da ionosfera, a transmissão de ondas planas entre o litoral do Brasil e a região amazônica é possível por meio da
- a) reflexão.
  - b) refração.
  - c) difração.
  - d) polarização.
  - e) interferência.
- 6) (ITA) A faixa de emissão de rádio em frequência modulada, no Brasil, vai de, aproximadamente, 88 MHz a 108 MHz. A razão entre o maior e o menor comprimento de onda desta faixa é:
- a) 1,2
  - b) 15
  - c) 0,63
  - d) 0,81
  - e) Impossível calcular não sendo dada a velocidade de propagação da onda

- 7) (Ifsul) Uma recomendação importante, nos dias de hoje, é o uso de protetor solar, como forma de proteção dos raios ultravioleta (UV) oriundos do Sol, que podem causar, dentre outros problemas, envelhecimento precoce e câncer de pele. Esses raios UV são:
- a) uma forma de radioatividade gerada pelas reações nucleares do sol.
  - b) ondas eletromagnéticas de frequência maior do que a da luz visível.
  - c) ondas eletromagnéticas de comprimento de onda maior do que o da luz visível.
  - d) uma radiação eletromagnética de frequência semelhante à dos raios infravermelhos.
- 8) Frank D. Drake, um investigador do programa **SETI** (Search for Extra-Terrestrial Intelligence, ou seja, Busca de Inteligência Extraterrestre), disse uma vez que o grande radiotelescópio de Arecibo, Porto Rico, “é capaz de detectar um sinal que deposita em toda a superfície da Terra uma potência de apenas um picowatt”.
- (a) Qual a potência que a antena do radiotelescópio de Arecibo receberia de um sinal como este? O diâmetro da antena é 300m.
  - (b) Qual teria que ser a potência de uma fonte no centro de nossa galáxia para que um sinal com esta potência chegasse a Terra? O centro da galáxia fica a  $2,2 \times 10^{14}$  anos-luz de distância. Suponha que a fonte irradie uniformemente em todas as direções. (Halliday 34.18P)
- 9) (ENEM 2010) As ondas eletromagnéticas, como a luz visível e as ondas de rádio, viajam em linha reta em um meio homogêneo. Então, as ondas de rádio emitidas na região litorânea do Brasil não alcançariam a região amazônica do Brasil por causa da curvatura da Terra. Entretanto sabemos que é possível transmitir ondas de rádio entre essas localidades devido à ionosfera. Com ajuda da ionosfera, a transmissão de ondas planas entre o litoral do Brasil e a região amazônica é possível por meio da
- a) reflexão.
  - b) refração.
  - c) difração.
  - d) polarização.
  - e) interferência.

10) (ENEM 2011) O processo de interpretação de imagens capturadas por sensores instaladas a bordo de satélites que imageiam determinadas faixas ou bandas do espectro de radiação eletromagnética (REM) baseia-se na interação dessa radiação com os objetos presentes sobre a superfície terrestre. Uma das formas de avaliar essa interação é por meio da quantidade de energia refletida pelos objetos. A relação entre a refletância de um dado objeto e o comprimento de onda da REM é conhecida como curva de comportamento espectral ou assinatura espectral do objeto, como mostrado na figura, para objetos comuns na superfície terrestre. De acordo com as curvas de assinatura espectral apresentadas na figura, para que se obtenha a melhor discriminação dos alvos mostrados, convém selecionar a banda correspondente a que comprimento de onda em micrometros ( $\mu\text{m}$ )?

- a) 0,4 a 0,5.
- b) 0,5 a 0,6.
- c) 0,6 a 0,7.
- d) 0,7 a 0,8.
- e) 0,8 a 0,9.



11) Uma forma alternativa de transmissão de energia elétrica a grandes distâncias (das unidades geradoras até os centros urbanos) consiste na utilização de linhas de transmissão de extensão aproximadamente igual a meio comprimento de onda da corrente alternada transmitida. Este comprimento de onda é muito próximo do comprimento de uma onda eletromagnética que viaja no ar com a mesma frequência da corrente alternada.

a) Qual é o comprimento de onda de uma onda eletromagnética que viaja no ar com uma frequência igual a 60 Hz ? A velocidade da luz no ar é  $c = 3 \times 10^8$  m/s .

b) Se a tensão na linha é de 500 kV e a potência transmitida é de 400 MW , qual é a corrente na linha?

12) (Enem 2013) Em viagens de avião, é solicitado aos passageiros o desligamento de todos os aparelhos cujo funcionamento envolva a emissão ou a recepção de ondas eletromagnéticas. O procedimento é utilizado para eliminar fontes de radiação que possam interferir nas comunicações via rádio dos pilotos com a torre de controle. A propriedade das ondas emitidas que justifica o procedimento adotado é o fato de:

- a) terem fases opostas.
- b) serem ambas audíveis.
- c) terem intensidades inversas.
- d) serem de mesma amplitude.
- e) terem frequências próximas.



13) (UNICAMP 2014 - adaptada) A tecnologia de telefonia celular 4G passou a ser utilizada no Brasil em 2013, como parte da iniciativa de melhoria geral dos serviços no Brasil, em preparação para a Copa do Mundo de 2014. Algumas operadoras inauguraram serviços com ondas eletromagnéticas na frequência de 40 MHz. Sendo a velocidade da luz no vácuo  $c = 3,0 \times 10^8$  m/s, qual é o comprimento de onda dessas ondas eletromagnéticas?

# Referências

[http://www2.inpe.br/climaespacial/pt/tec\\_supim](http://www2.inpe.br/climaespacial/pt/tec_supim)

<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap1/cap1-2.html>

<fisica.ufpr.br/edilson/cap34.ppt>

[https://www.comvest.unicamp.br/vest\\_anteriores/vest\\_ant.html](https://www.comvest.unicamp.br/vest_anteriores/vest_ant.html)

<http://www.thestargarden.co.uk/Speed-of-light.html> - determinação da velocidade da luz

<https://thegreatestsciencediscoveries.wordpress.com/2017/02/08/distance-to-the-sun/>