

# O CLIMA DA TERRA: Processos, Mudanças e Impactos

Prof. TÉRCIO AMBRIZZI

Professor Titular

[tercio.ambrizzi@iag.usp.br](mailto:tercio.ambrizzi@iag.usp.br)

E

Profa. Dra. MARCIA A. YAMASOE

Professora Associada

[marcia.yamasoe@iag.usp.br](mailto:marcia.yamasoe@iag.usp.br)

Departamento de Ciências Atmosféricas  
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas  
Universidade de São Paulo



❑ **INTRODUÇÃO**

❑ **PROCESSOS FÍSICOS**

- Processos climáticos
- Transferência de calor e massa na atmosfera

❑ **O PAPEL DOS OCEANOS**

## **PROCESSOS FÍSICOS**

### **Processos climáticos**

**Transferência de calor e massa na atmosfera**

**O papel dos oceanos**

## ❑ **PROCESSOS FÍSICOS**

### ▪ **Processos climáticos**

Elementos do Sol

A radiação solar interceptada pela Terra

Atributos do sistema Terra-Atmosfera

Efeitos da atmosfera e da superfície da Terra

Balanco global da radiação

Médias espaço-temporal do balanço de radiação

### ▪ **Transferência de calor e massa na atmosfera**

Transferências de energia

Força de Coriolis, vorticidade e ondas de Rossby

Um modelo de circulação geral da atmosfera

Padrões secundários da circulação atmosférica

Modelos numéricos de circulação atmosférica global

Padrões regionais de circulação atmosférica

Climas urbanos

Massas de ar, frentes e ciclones extratropicais

A previsão de tempo

Clima da Terra em geral

### ▪ **O papel dos oceanos**

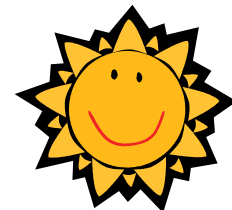
Processos climáticos do oceano

As oscilações El Niño – La Niña

# **LOCALIZAÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO UTILIZADO DURANTE AS AULAS**

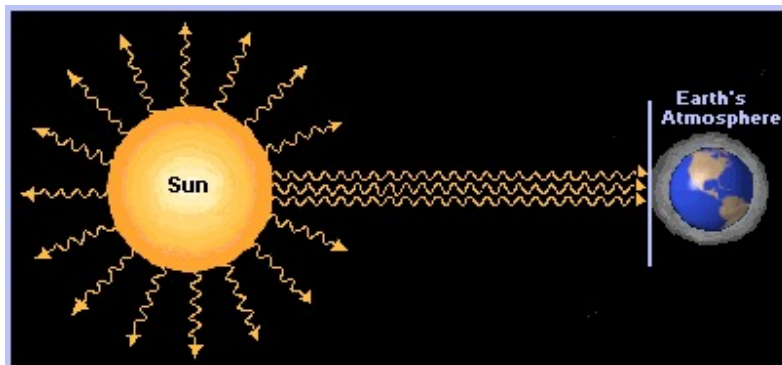
<http://www.dca.iag.usp.br/material/omassamb/clima/>

# Sol

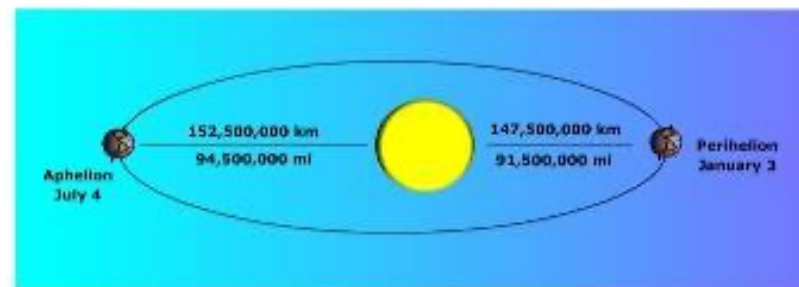
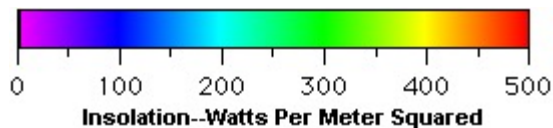
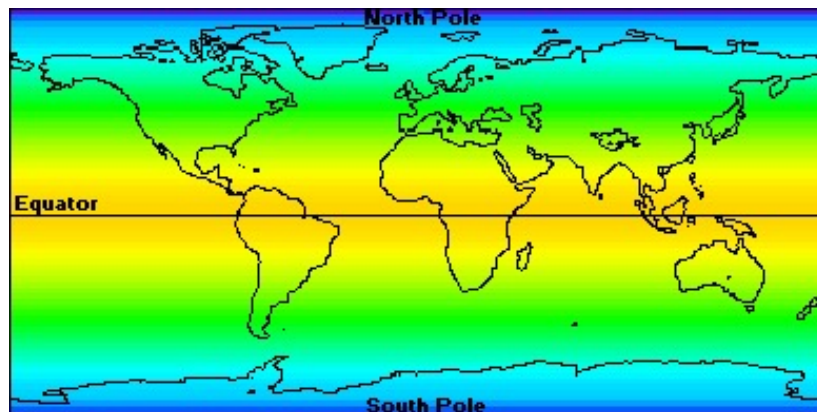


- radiação proveniente do sol é a principal fonte de energia da Terra
- temperatura da ordem de 6.000 K
- quantidade de radiação que chega na superfície depende dos constituintes da atmosfera
- ao atravessar a atmosfera os raios solares interagem com alguns de seus constituintes como gases, partículas de aerossol, nuvens
- pode ser absorvida, refletida e transmitida pela superfície

## Elementos do Sol

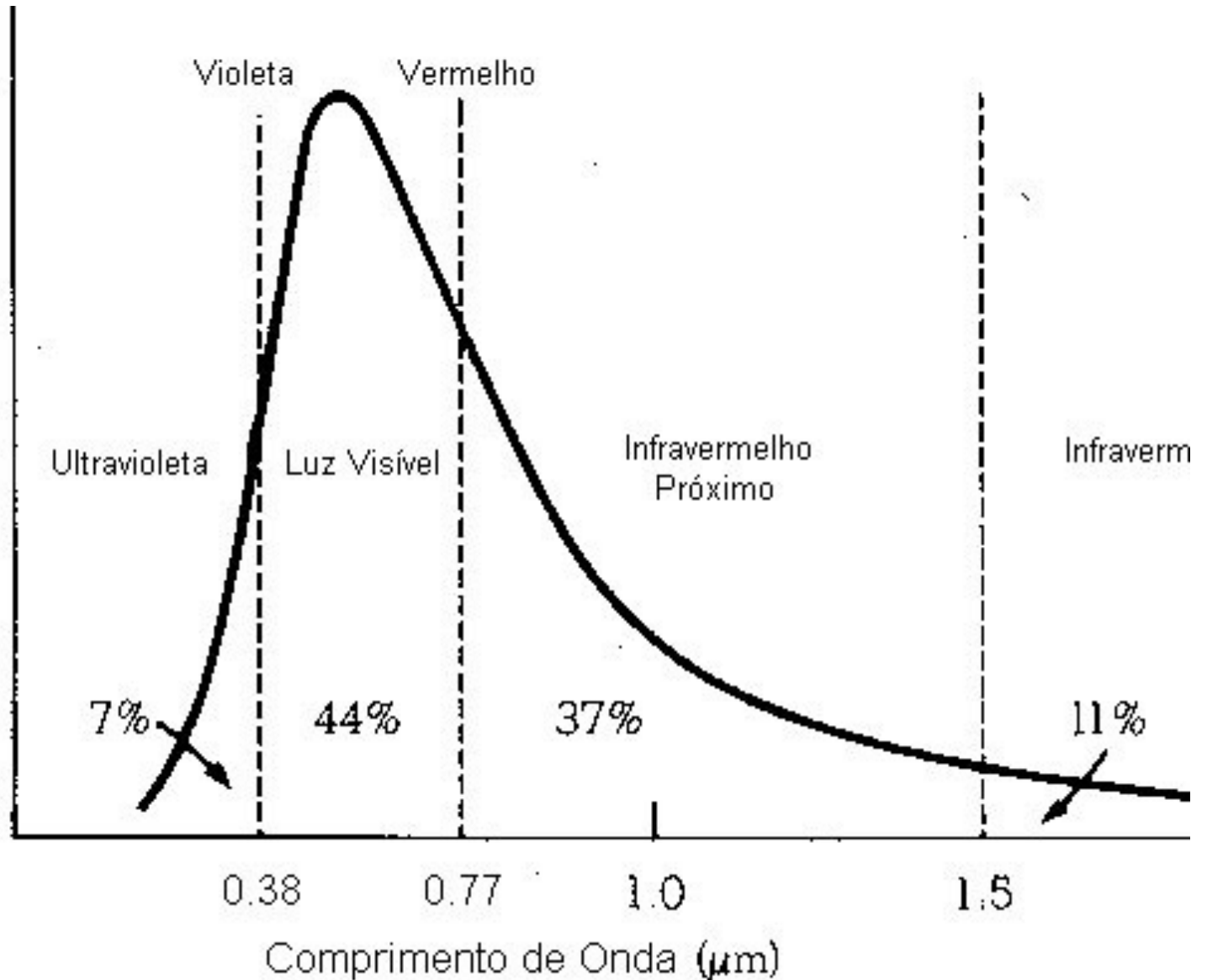


A quantidade de radiação solar recebida por uma superfície em ângulo reto em relação à iluminação do sol no topo da atmosfera da Terra tem um valor médio de 1400 watts/m<sup>2</sup> (suficiente para funcionar um pequeno secador de cabelos). Este valor é denominado de constante solar.



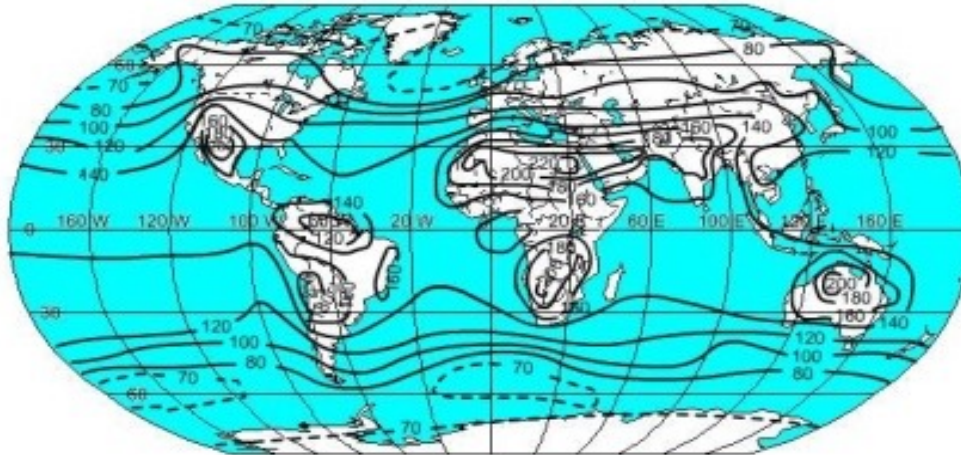
Este mapa mostra a insolação anual média medida no topo da atmosfera terrestre entre o equador e os polos.

## Espectro Solar e Terrestre

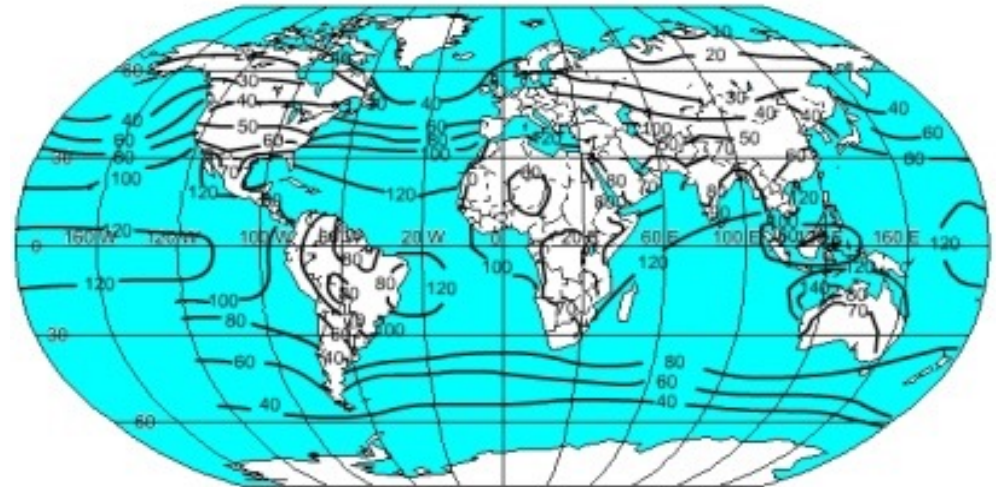




# Radiação solar na superfície

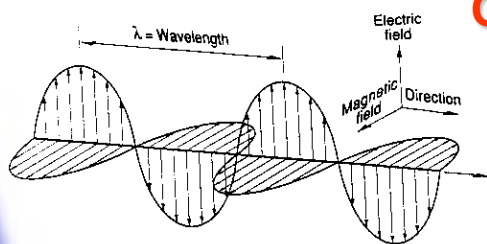


Distribuição global da radiação solar



Distribuição global da Net radiation

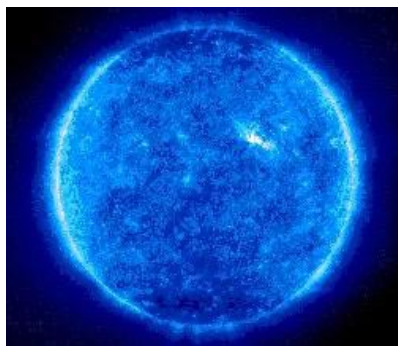
## O Espectro Eletromagnético solar



	Comprimento de onda = $\lambda$ (m)	Frequência (Hz)	Energia (J)
<b>Rádio</b>	$> 1 \times 10^{-1}$	$< 3 \times 10^9$	$< 2 \times 10^{-24}$
<b>Microonda</b>	$1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-1}$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{11}$	$2 \times 10^{-24} - 2 \times 10^{-22}$
<b>Infravermelho</b>	$7 \times 10^{-7} - 1 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{11} - 4 \times 10^{14}$	$2 \times 10^{-22} - 3 \times 10^{-19}$
<b>Visível</b>	$4 \times 10^{-7} - 7 \times 10^{-7}$	$4 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14}$	$3 \times 10^{-19} - 5 \times 10^{-19}$
<b>Ultravioleta</b>	$1 \times 10^{-8} - 4 \times 10^{-7}$	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{16}$	$5 \times 10^{-19} - 2 \times 10^{-17}$
<b>Raio-X</b>	$1 \times 10^{-11} - 1 \times 10^{-8}$	$3 \times 10^{16} - 3 \times 10^{19}$	$2 \times 10^{-17} - 2 \times 10^{-14}$
<b>Raio-Gama</b>	$< 1 \times 10^{-11}$	$> 3 \times 10^{19}$	$> 2 \times 10^{-14}$



O Sol em  $\lambda = \text{raio-X}$



O Sol em  $\lambda = \text{UV}$



Visível: de 3000 A a 10000 A - Infra-vermelho: de 10000 A to 54000 A



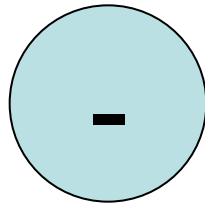
# **Radiação Eletromagnética**

# O que é?

Energia que se propaga na forma de **onda eletromagnética**, sem a necessidade de um meio de propagação.

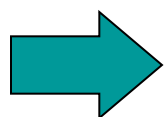
# Como se forma?

A partir da oscilação de cargas elétricas



# Características

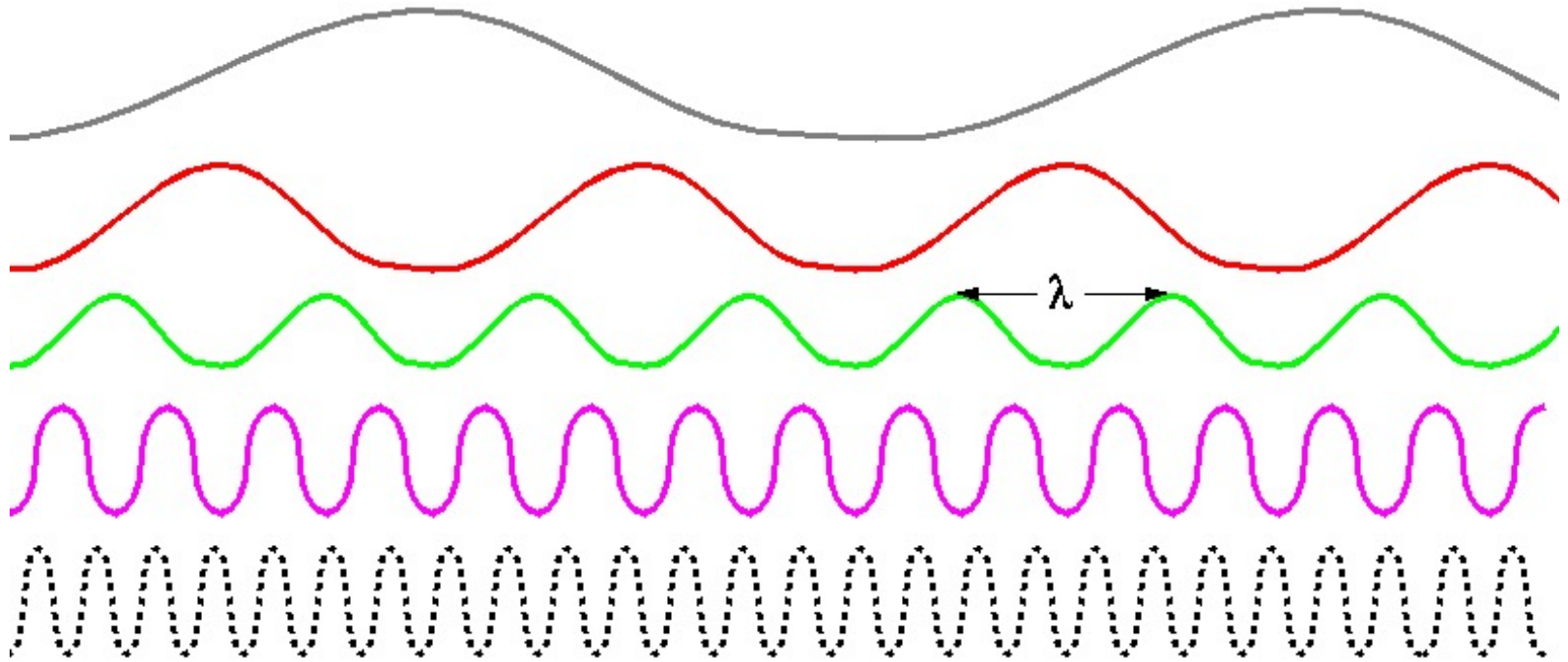
- Propagam-se com a velocidade da luz,  
 $c = 300.000 \text{ km/s}$  (no vácuo)
- Comprimento de onda  $\lambda$
- Frequência  $f = c/\lambda$
- Energia  $E = hf = hc/\lambda$



Quanto menor o comprimento de onda, maior a energia.



# Espectro Eletromagnético



$$c = \lambda f$$

$$\text{Energia} = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

onde  $h$  é a constante de Planck

# O Espectro Eletromagnético

rádio	microonda	infravermelho	visível	ultravioleta	Raio-X	Raio-gama
$10^4$ $10^2$	1	$10^{-2}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-8}$	$10^{-10}$ $10^{-12}$
Comprimento de onda em centímetros						





# Tipos

- Raios-gama
- Raios-X
- Radiação ultravioleta
- Visível
- Radiação infravermelha
- Microondas
- Rádio/TV

# Raios Gama

- são as mais energéticas formas de radiação eletromagnética
- comprimento de onda  $\sim 10^{-3}$  Angstrom  
( 1 Angstrom =  $10^{-10}$ m)
- quanto menor o comprimento de onda, maior a frequência, maior a energia



# Raios Gama

- produzidos em reações nucleares por fontes radioativas naturais ou, por exemplo, em usinas nucleares
- extremamente nocivos para os seres vivos, podem causar queimaduras, câncer
- utilizados na produção de energia elétrica



# Raios-X

- comprimento de onda  $\sim 10$  Angstrom
- úteis na medicina diagnóstica, e na odontologia

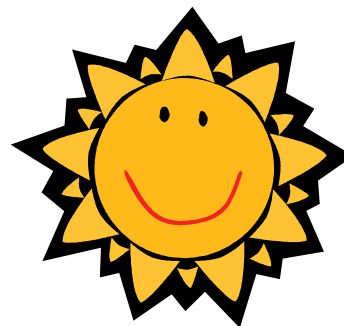


# Raio-X

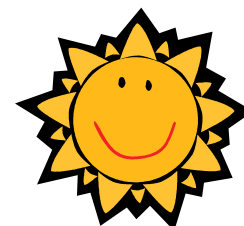
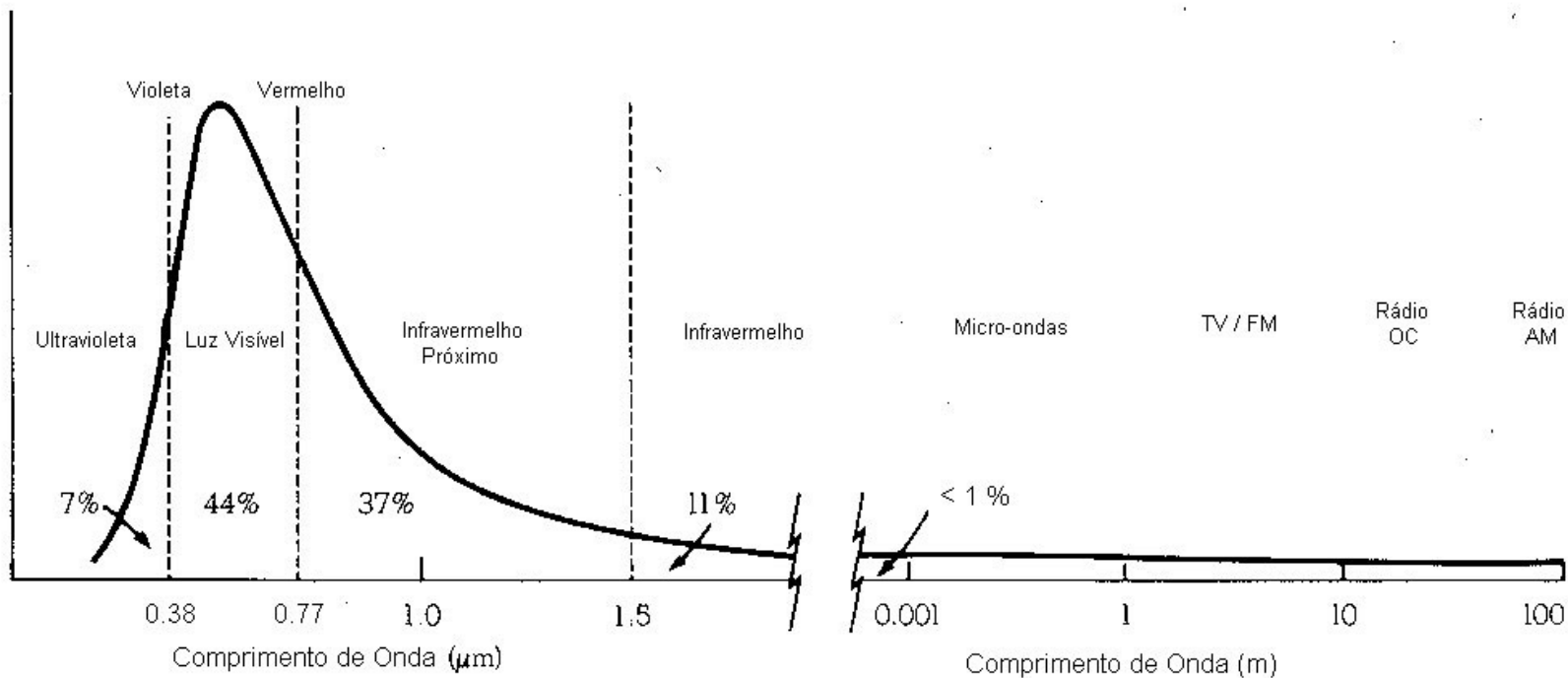
- espectroscopia: determinar a composição elementar de materiais (estudos de poluição do ar, da água)

# Ultravioleta

- comprimento de onda entre 100 a 400 nm (1 nanômetro =  $10^{-9}$ m)
- compreende menos de 7% do espectro solar
- pode ser subdividido em UV-C, UV-B e UV-A



# Espectro solar



## UV-C

- $100 \text{ nm} < \lambda < 280 \text{ nm}$
- completamente absorvido pelo  $\text{O}_2$  e  $\text{O}_3$  estratosférico e por isso não chega à superfície da Terra
- é utilizado na esterilização da água e material cirúrgico

(Fonte: <http://satelite.cptec.inpe.br/uv/R-UV.html#espectro>)



## UV-B

- $280 \text{ nm} < \lambda < 320 \text{ nm}$
- fortemente absorvido pelo ozônio estratosférico
- é prejudicial à saúde humana, podendo causar queimaduras e, a longo prazo, câncer de pele
- utilizado para medir a concentração de ozônio

# UV-A

- $320 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$
- sofre pouca absorção pelo  $\text{O}_3$  estratosférico
- é importante para sintetizar vitamina D
- excesso de exposição pode causar queimaduras e, a longo prazo, envelhecimento precoce



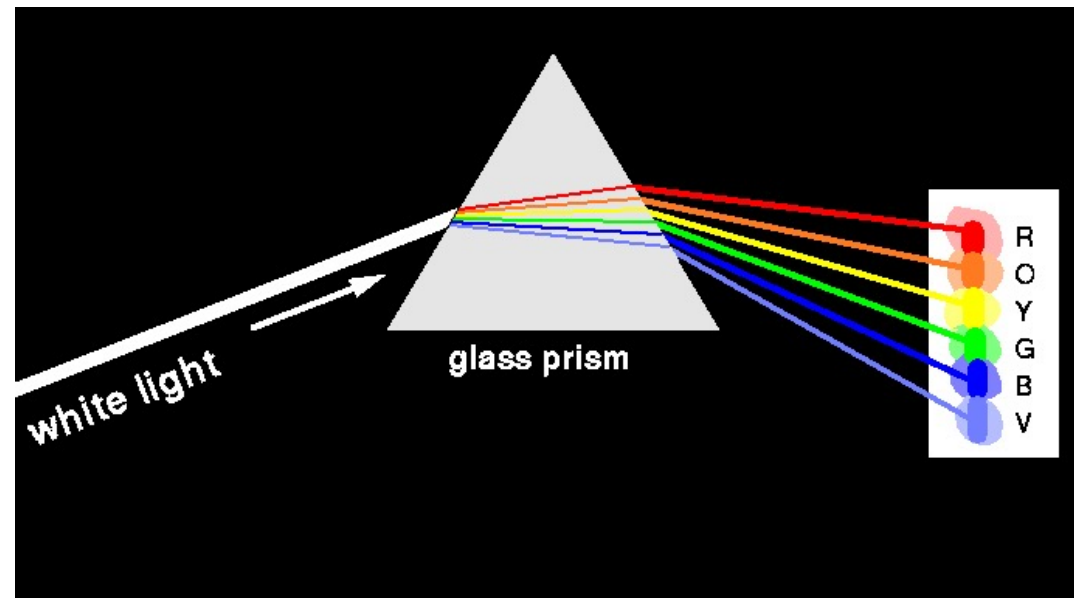
# Visível

- $400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$
- corresponde a 44% do espectro solar
- parte do espectro no qual nossos olhos são sensíveis



# Visível

- utilizado para detectar nuvens e aerossóis na atmosfera

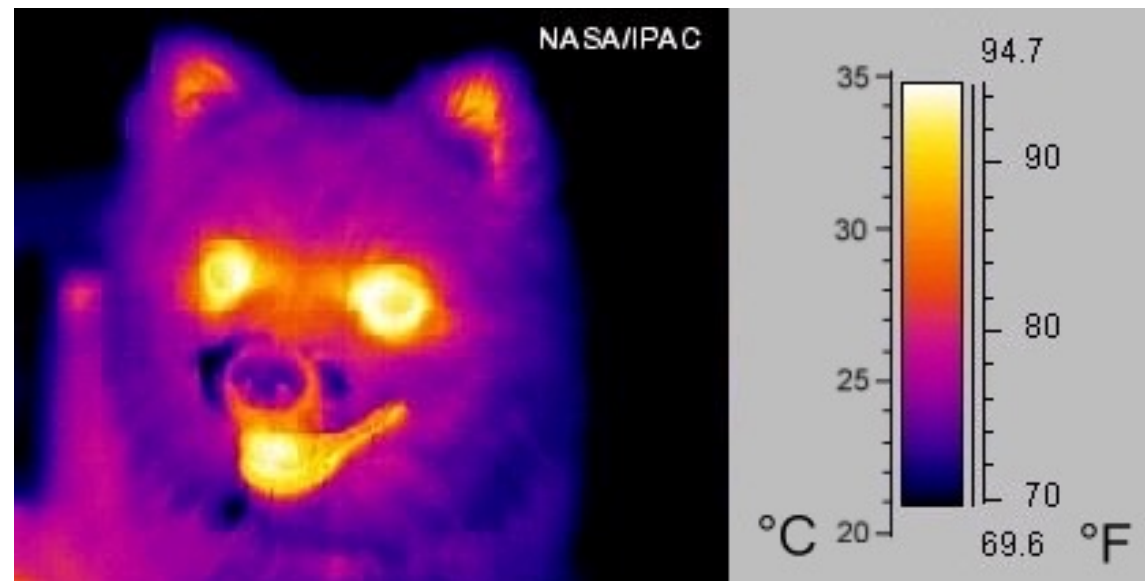


# Infravermelho

- comprimento de onda  $> 0,7 \mu\text{m}$   
(1 micrômetro =  $10^{-6} \text{ m}$ )
- subdivisão:
  - próximo (0,7 a  $1,4 \mu\text{m}$ )
  - curto (1,4 a  $3,0 \mu\text{m}$ )
  - médio (3 a  $8 \mu\text{m}$ )
  - longo (8 a  $15 \mu\text{m}$ )
  - longínquo (15 a  $1.000 \mu\text{m}$ )

# Infravermelho

- região espectral no qual os corpos aqui na Terra emitem a maior parte da radiação
- utilizado para detectar nuvens e temperatura da superfície



# Quem emite?

- todos os corpos com temperatura  $> 0$  K
- espectro de emissão depende da temperatura



# Corpos terrestres

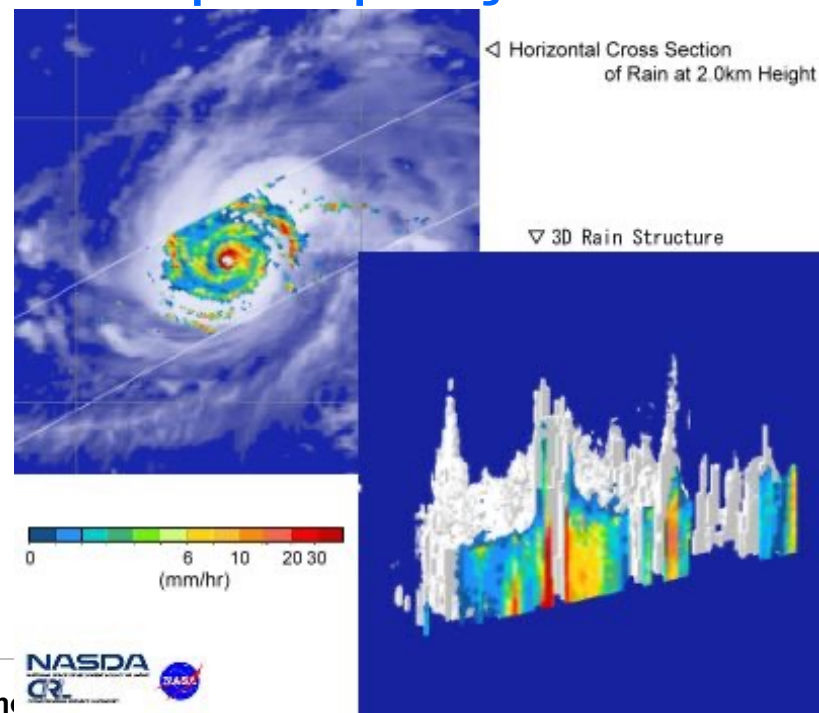


Atlanta, E.U.A. – imagem no infravermelho



# Microondas

- frequência entre 300 MHz e 300 GHz  
( $0.001 \text{ m} < \lambda < 1 \text{ m}$ )
- utilizado para estimativa de precipitação



# Ondas Eletromagnéticas Exploração espacial



# Ondas Eletromagnéticas

## Aplicações na Astrofísica

### A explosão de uma estrela

Sobreposição de várias imagens obtidas no rádio (vermelho), no óptico (verde) e em raios-x (azul) de uma remanescente de supernova na Pequena Nuvem de Magalhães.

Cortesia da NASA/CXC/SAO, NASA/HST e ATCA.

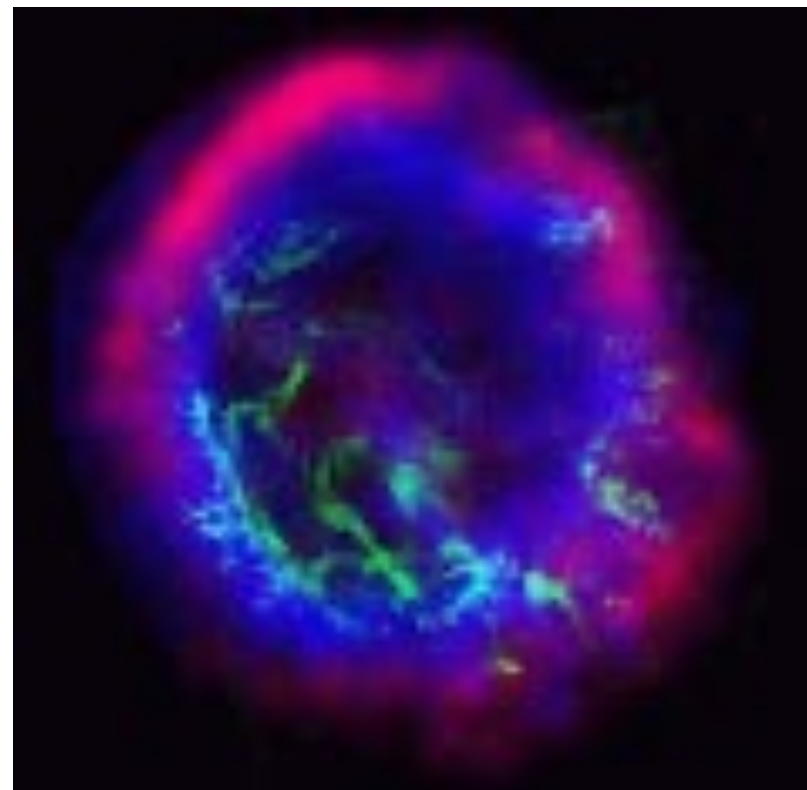


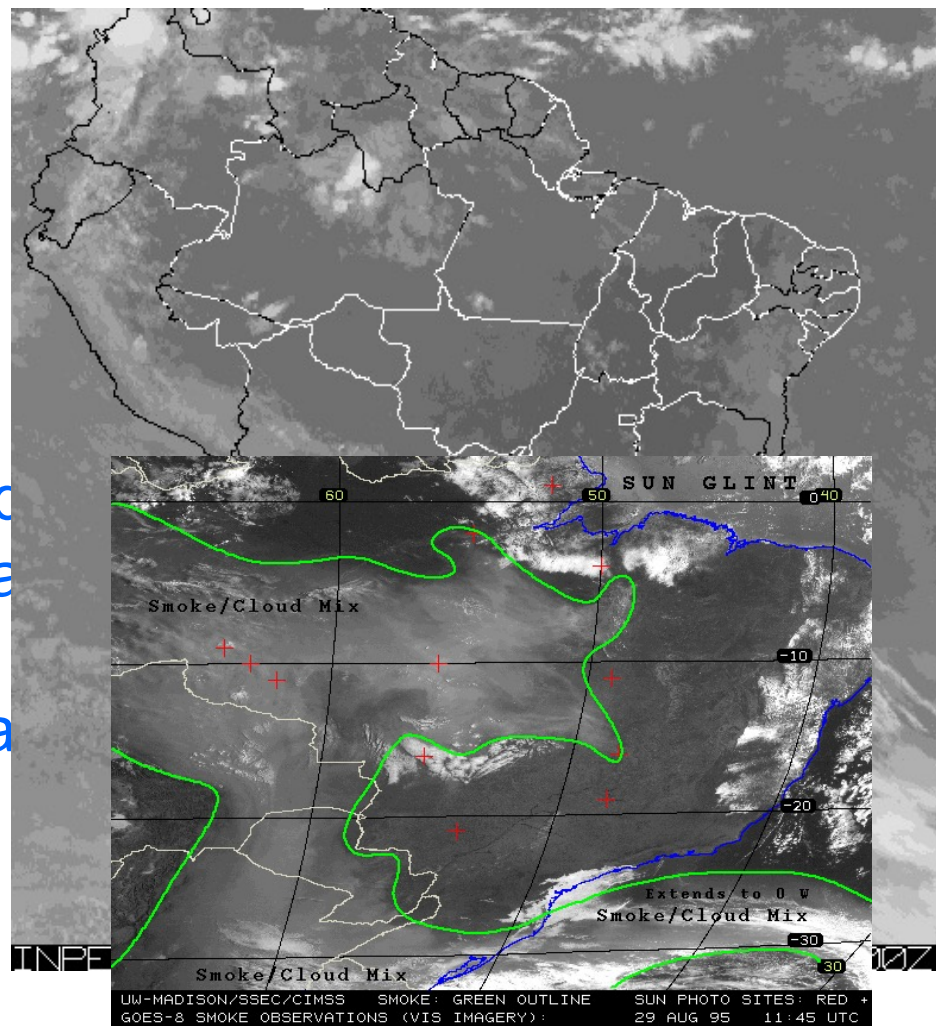
Imagem de Raios X obtido pelo satélite de raios-X Chandra




# Ondas Eletromagnéticas

## Sensoriamento remoto

- Meteorologia
- controle de poluentes atmosféricos
- controle militar
- oceanos
- superfícies – mudança de solo, focos de queimada, produtividade agrícola, áreas alagadas, reservas naturais





**ATÉ A PRÓXIMA AULA,  
OBRIGADO E  
BOA NOITE**