

Sensoriamento Remoto Aplicado à Geografia

Reinaldo Paul Pérez Machado

O que é Sensoriamento Remoto?

Arte e ciência da obtenção de informação sobre um objeto ***sem contato físico direto*** com ele. É a tecnologia científica que pode ser usada para medir e monitorar importantes características biofísicas e atividades humanas. (JENSEN, 2000).

O que é Sensoriamento Remoto?

Utilização conjunta de modernos equipamentos ***sensores***, equipamento para ***processamento*** dos dados, equipamento de ***transmissão***, aeronaves, espaçonaves etc, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e das ***interações entre as radiações eletromagnéticas*** e as substâncias componentes do planeta terra em suas mais diversas manifestações (NOVO, 1993).

Breve Histórico do Sensoriamento Remoto

- Desenvolvimento da Fotografia
- Pesquisa Espacial

Pigeons

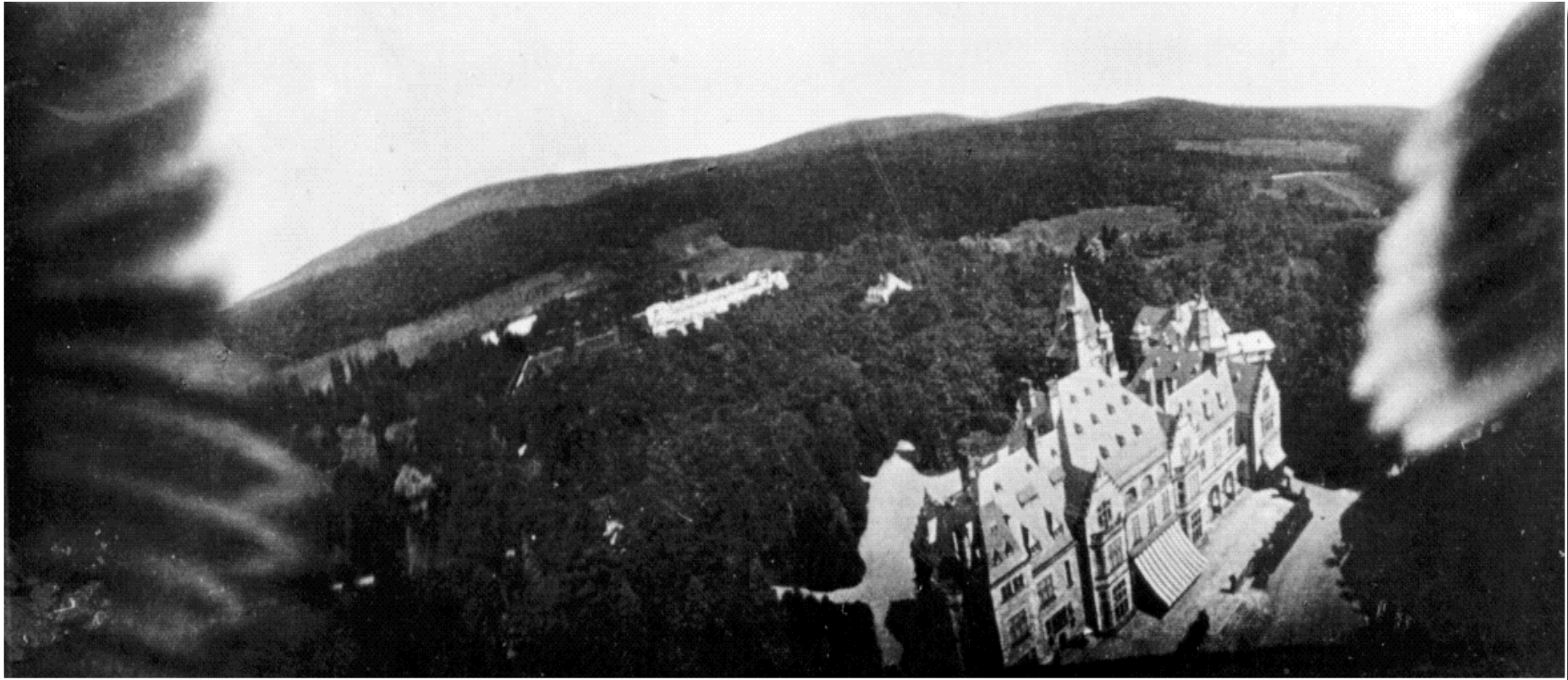


In 1903, Julius Neubronner patented a breast-mounted camera for carrier pigeons that weighed only 70 grams.

A squadron of pigeons is equipped with light-weight 70-mm aerial cameras.

Jensen, 2000

Pigeons



Oblique aerial photograph of a European castle obtained from a camera mounted on a carrier pigeon. The pigeon's wings are visible (copyright Deutsches Museum, Munich, Germany).

Jensen, 2000

Principais Divisões

Sensoriamento Remoto Orbital (Satélites)

Sensoriamento Remoto Aéreo (Aviões) e
Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT (Drones)

Levantamentos em campo

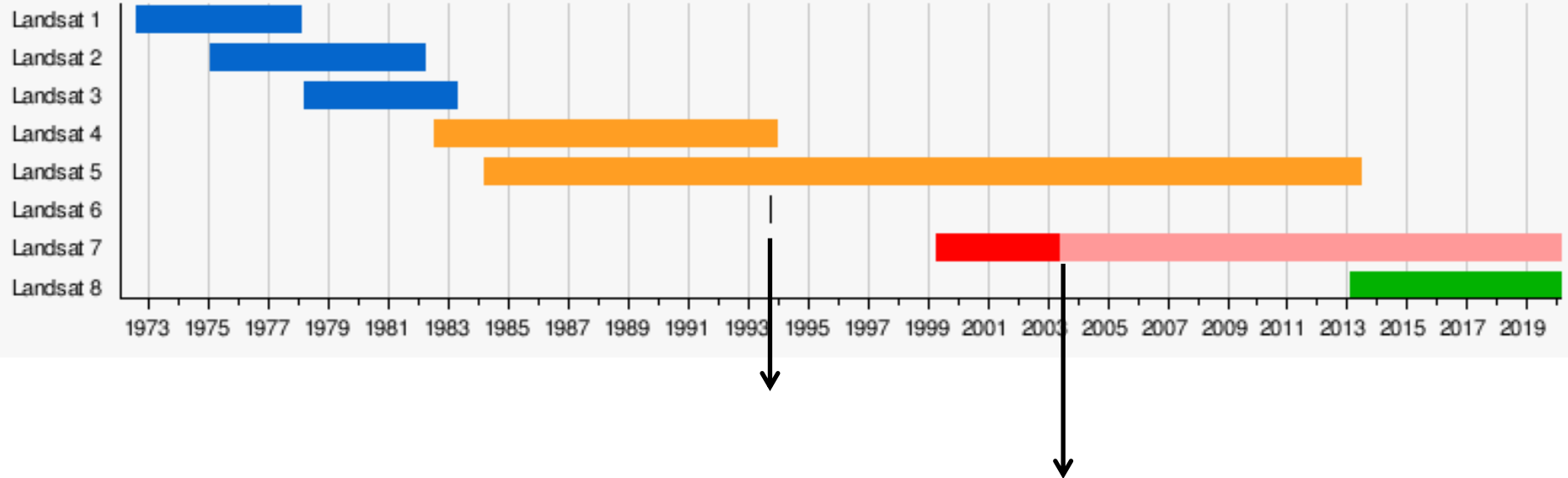
Primeiras Fotografias Orbitais

- Década de 1960: primeiras **fotografias** obtidas pelos programas espaciais ***Mercury, Gemini*** e ***Apollo***
- Missão Apollo 9: fotografias multiespectrais (filmes infravermelho pb e colorido)
- 1960: Primeiro satélite meteorológico da série ***TIROS*** (primeiro sistema não tripulado)

Programa Landsat

Instrument	Picture	Launched	Terminated	Duration	Notes
Landsat 1		July 23, 1972	January 6, 1978	2 years, 11 months and 15 days	Originally named Earth Resources Technology Satellite 1.
Landsat 2		January 22, 1975	February 25, 1982	2 years, 10 months and 17 days	Nearly identical copy of Landsat 1
Landsat 3		March 5, 1978	March 31, 1983	5 years and 26 days	Nearly identical copy of Landsat 1 and Landsat 2
Landsat 4		July 16, 1982	December 14, 1993	11 years, 4 months and 28 days	First of the TM sensors with 30 m spatial resolution.
Landsat 5		March 1, 1984	June 5, 2013 ^[7]	29 years, 3 months and 4 days	Nearly identical copy of Landsat 4. Longest Earth-observing satellite mission in history.
Landsat 6		October 5, 1993	October 5, 1993	0 days	Failed to reach orbit.
Landsat 7		April 15, 1999	Still active	16 years, 11 months and 27 days	Operating with scan line corrector disabled since May 2003. ^[8]
Landsat 8		February 11, 2013	Still active	3 years and 2 months	Originally named Landsat Data Continuity Mission from launch until May 30, 2013.
Landsat 9		April 8, 2021 (expected)		Landsat 9 will be a rebuild of its predecessor Landsat 8	

Programa Landsat



O que é Sensoriamento Remoto?

Utilização conjunta de modernos equipamentos ***sensores***, equipamento para ***processamento*** dos dados, equipamento de ***transmissão***, aeronaves, espaçonaves etc, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e das ***interações entre as radiações eletromagnéticas*** e as substâncias componentes do planeta terra em suas mais diversas manifestações (NOVO, 1993).

O que é a Radiação Eletromagnética?

- A Radiação eletromagnética (**RE**) é uma combinação de um campo elétrico e de um campo magnético que se propagam através do espaço transportando energia.

Radiação Eletromagnética

- O universo é composto por partículas e materiais com cargas elétricas e magnéticas
- Uma partícula carregada eletricamente ou magneticamente gera vibrações eletromagnéticas de certa intensidade energética de acordo com a estrutura atômica e molecular
- As vibrações dos corpos possuem capacidade de emitir ou refletir radiação
- A transferência de energia por meio da radiação não necessita de um meio para a propagação.
- A velocidade é de 300 000 km/s.

Interação da radiação eletromagnética (REM) com os objetos

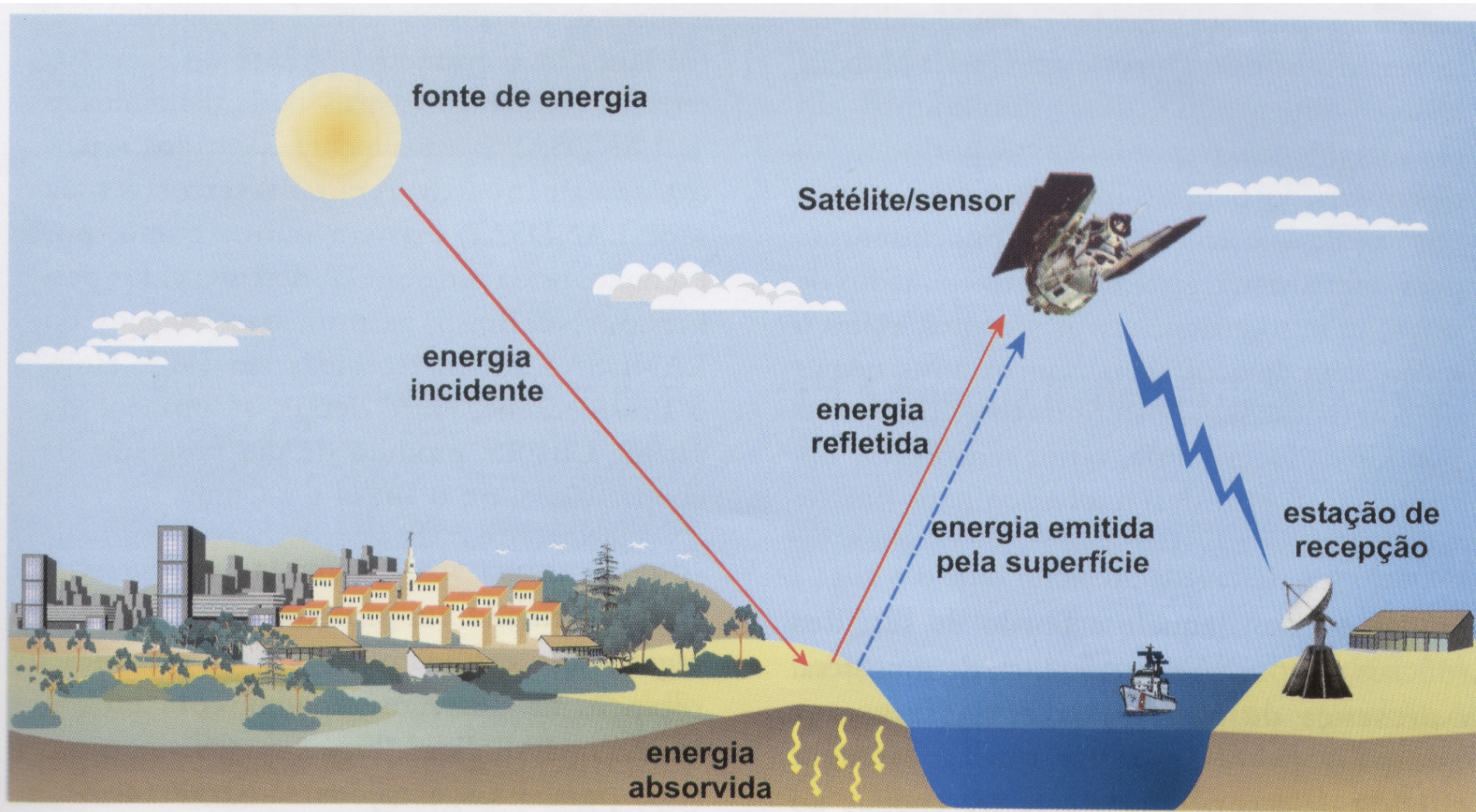
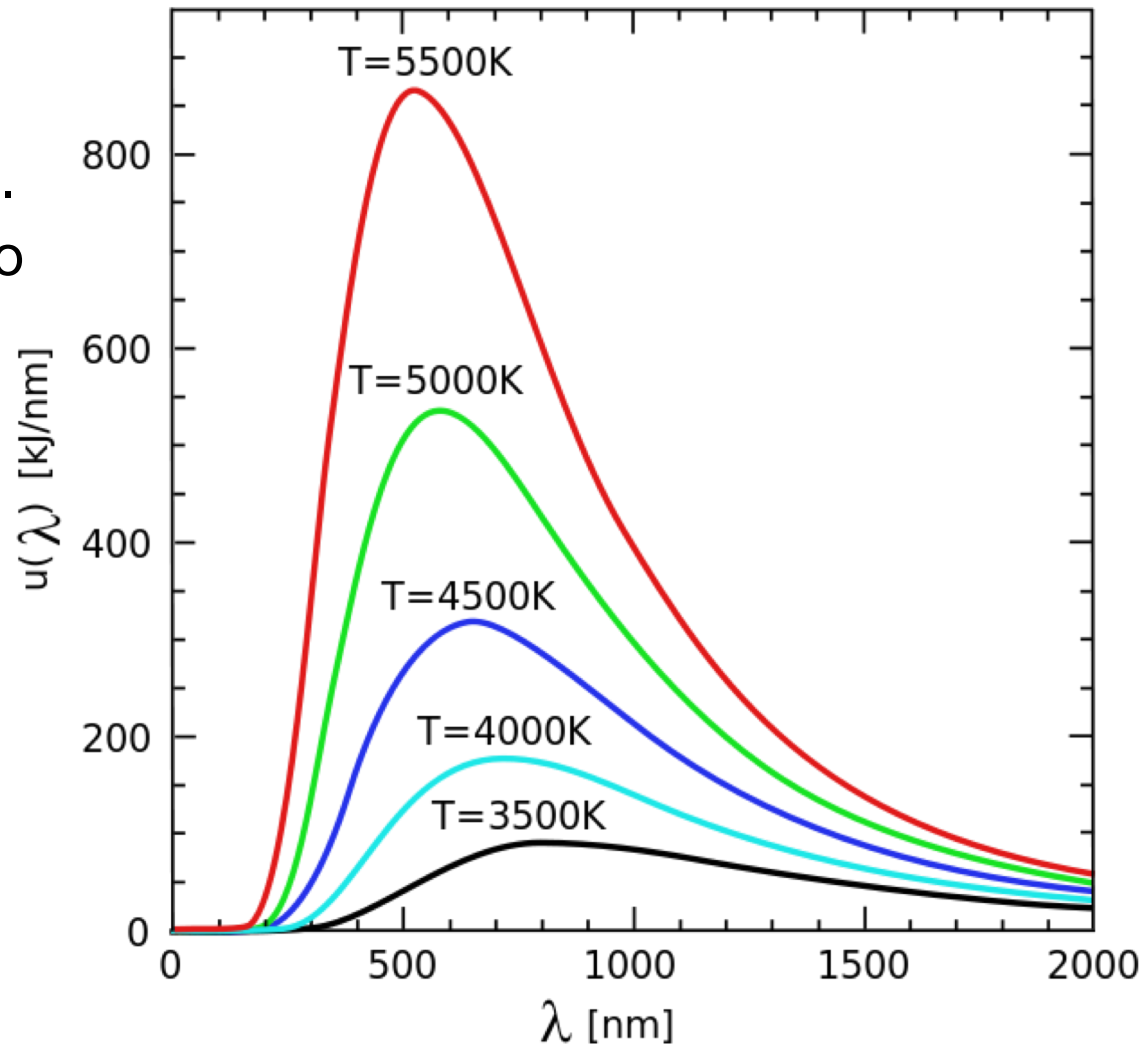


Fig. 1.1 Obtenção de imagens por sensoriamento remoto

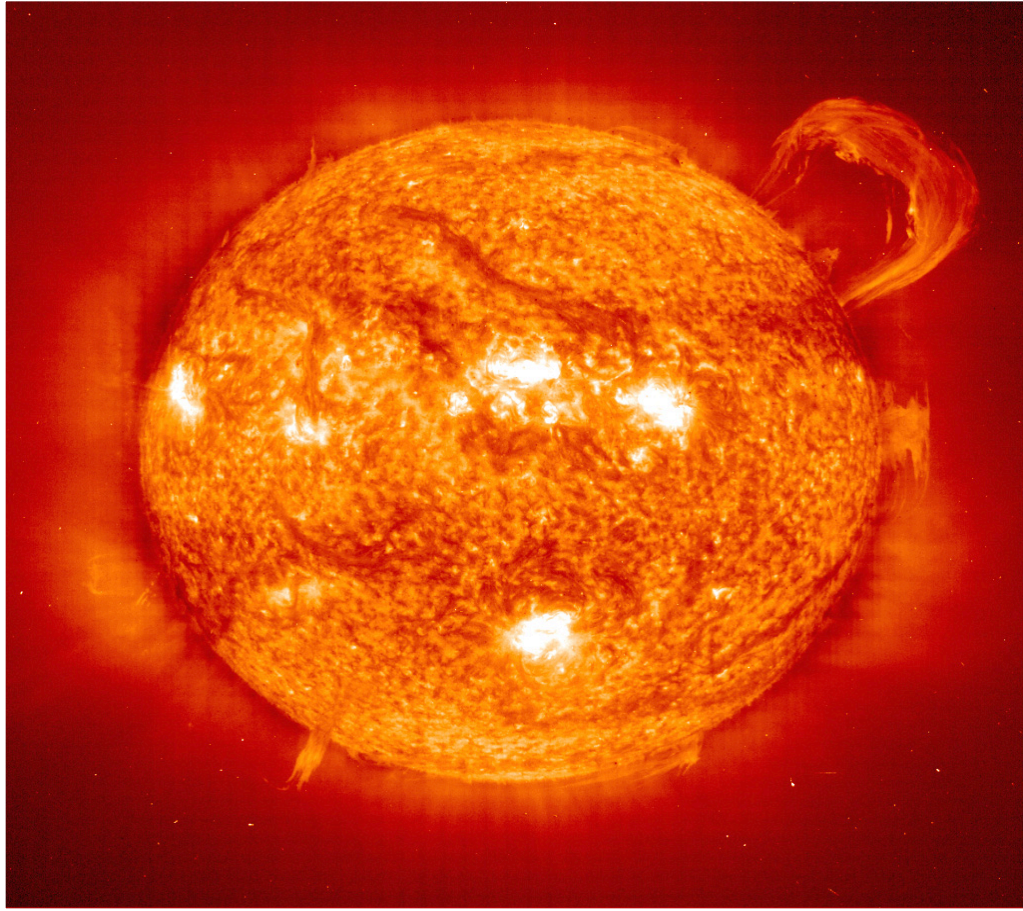
Princípios Físicos

Lei de Planck

Todo corpo emite radiação.
A intensidade e distribuição
da radiação depende da
temperatura do corpo.

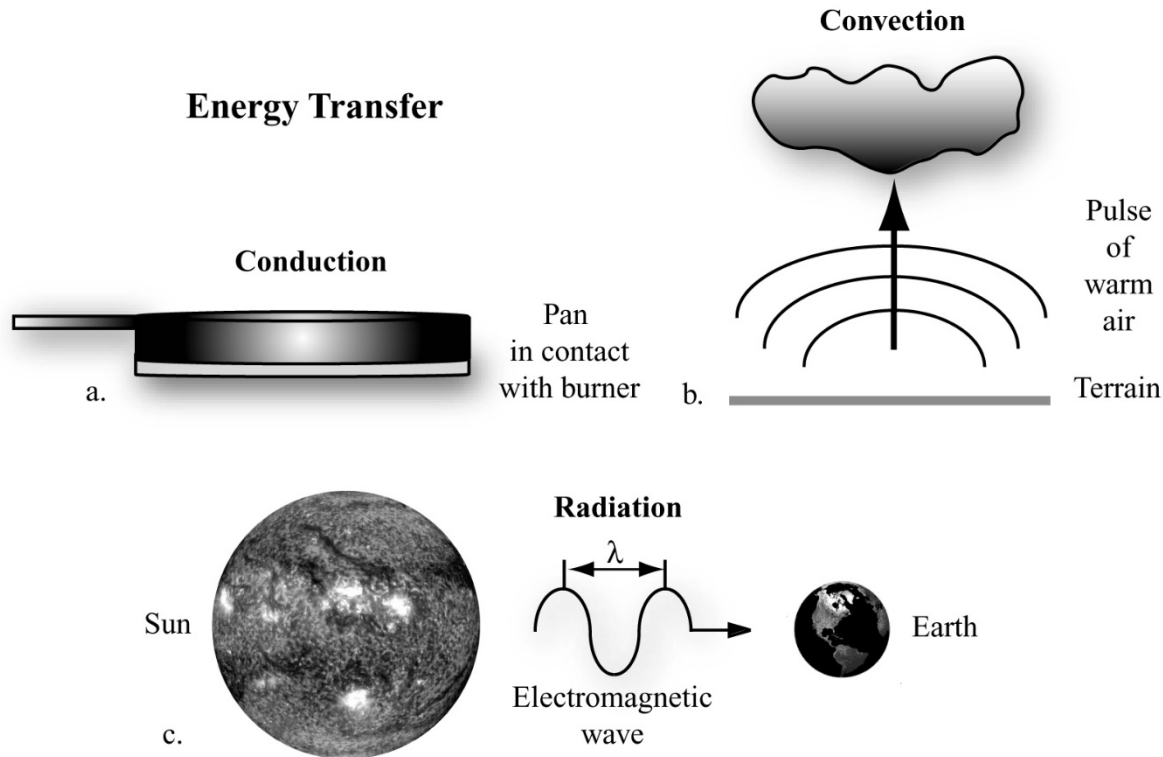


Qual é a nossa principal fonte de energia?



Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) Image of the Sun Obtained on September 14, 1999. (Jensen, 2006)

Como a energia é transferida?



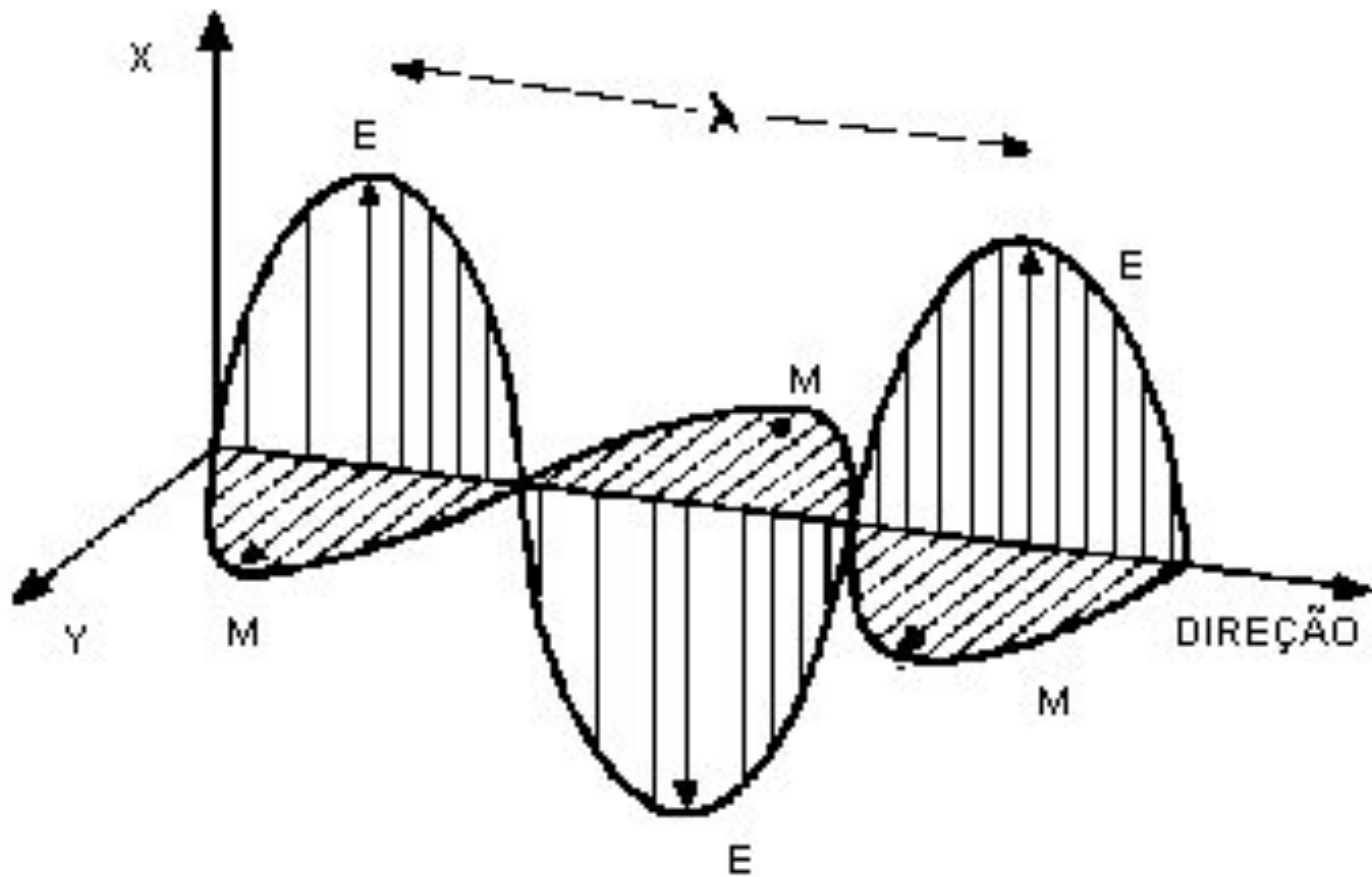
Condução

Convecção

Ondas
eletromagnéticas

Jensen (2000)

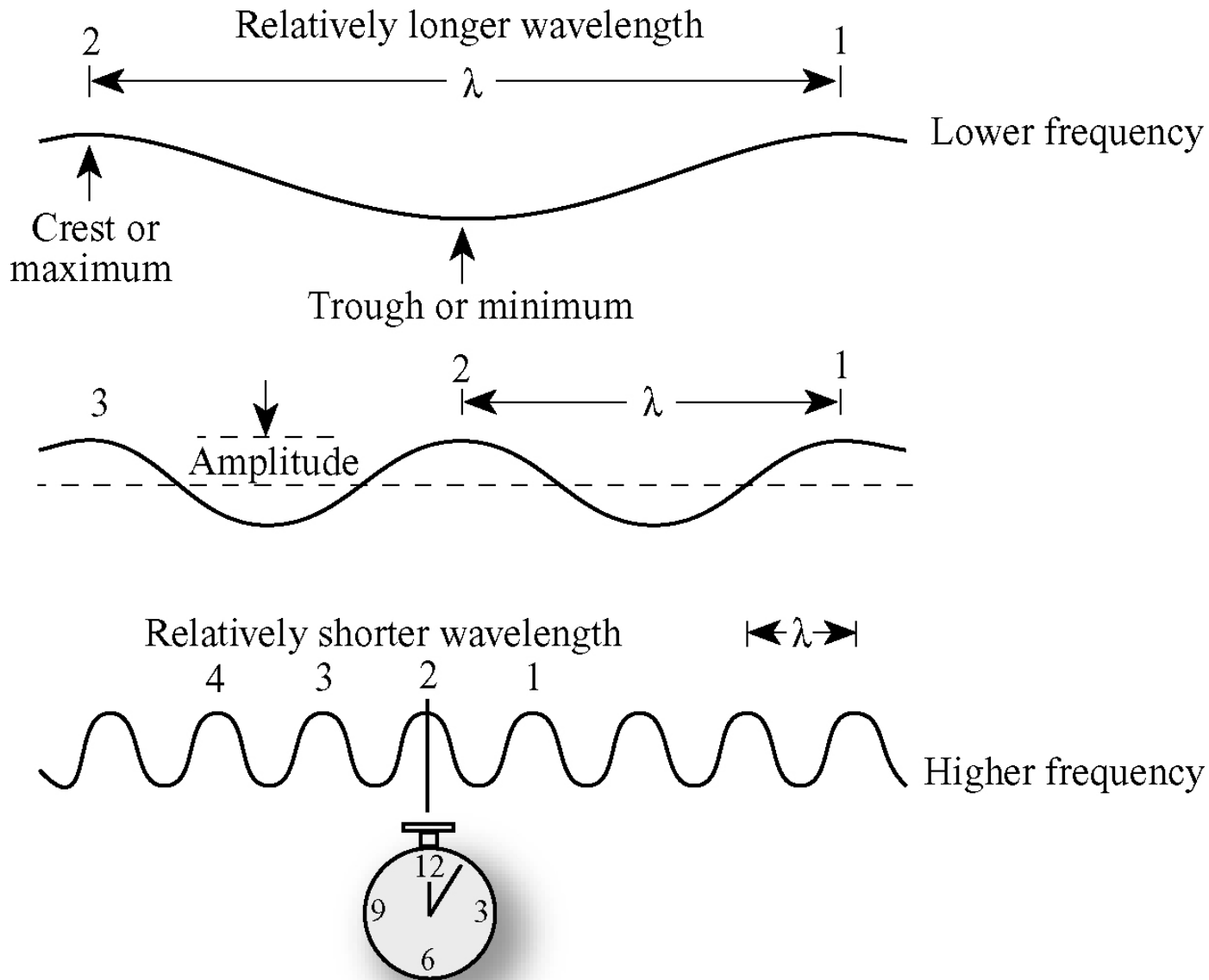
Onda eletromagnética



Velocidade da Luz

- $C = \lambda f$
 - C = velocidade da luz (em m/s)
 - λ = comprimento de onda (m, mm, μm)
 - f = frequência (em ciclos por segundo ou Hertz)
-
- **Comprimento da onda:** distância entre dois picos de ondas sucessivas
 - **Frequência da onda:** número de vezes que a onda se repete por unidade de tempo
 - **Velocidade da Luz:** 300.000 km/s

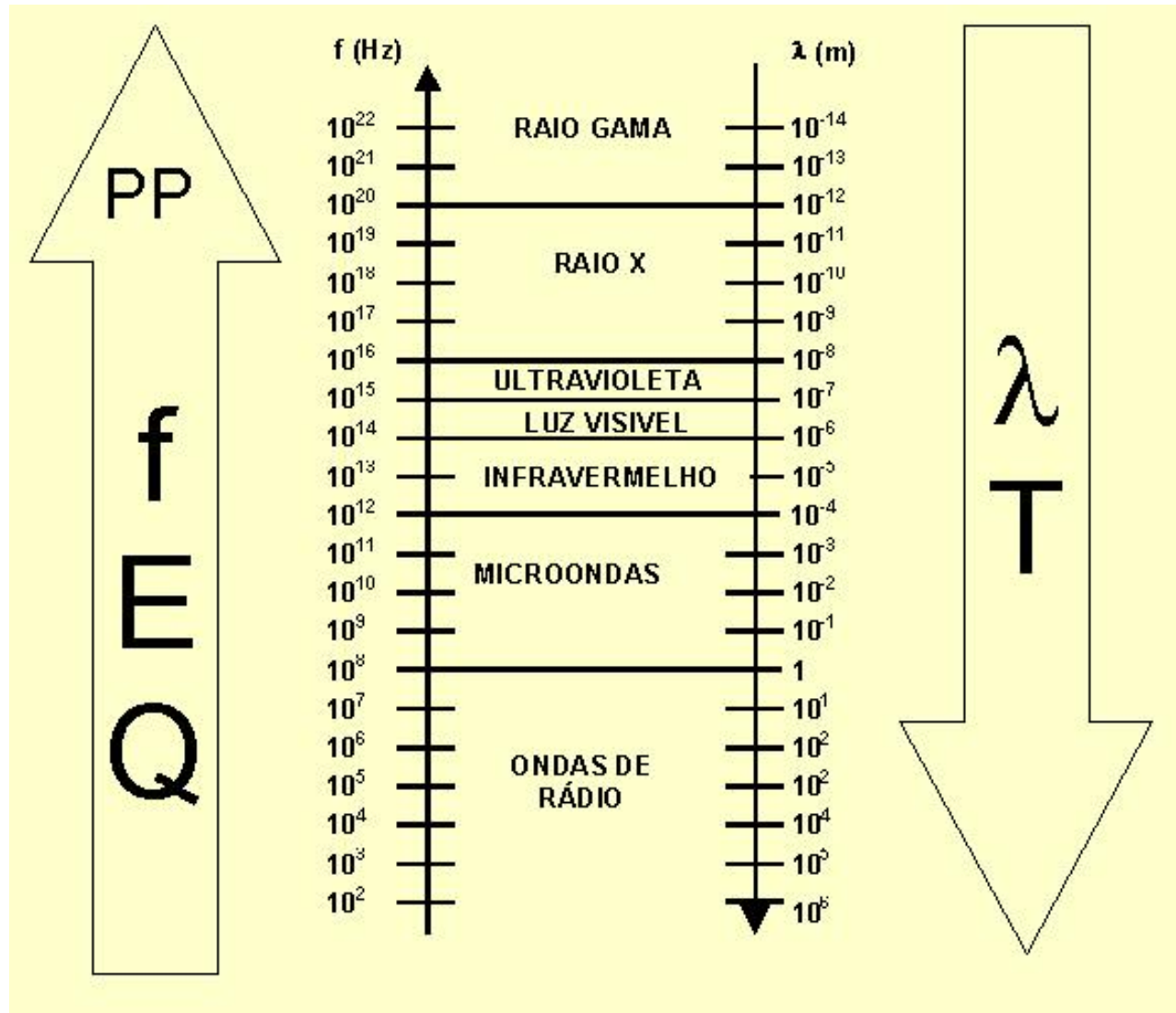
Inverse Relationship between Wavelength and Frequency



Relação entre o comprimento e a frequência das ondas eletromagnéticas

- **A velocidade (C) da luz é constante.**
- **O comprimento (λ) e a frequência (f) das ondas é inversamente proporcional**
- Quanto maior o comprimento menor a frequência
- Quanto maior a frequência, menor o comprimento

Relação entre o comprimento e a frequência das ondas no espectro eletromagnético



Spectrum

A palavra espectro (do latim "**spectrum**", que significa **fantasma** ou **aparição**) foi usada por **Isaac Newton**, no século XVII, para descrever a faixa de cores que apareceu quando numa experiência a luz do Sol atravessou um prisma de vidro colocado em sua trajetória.

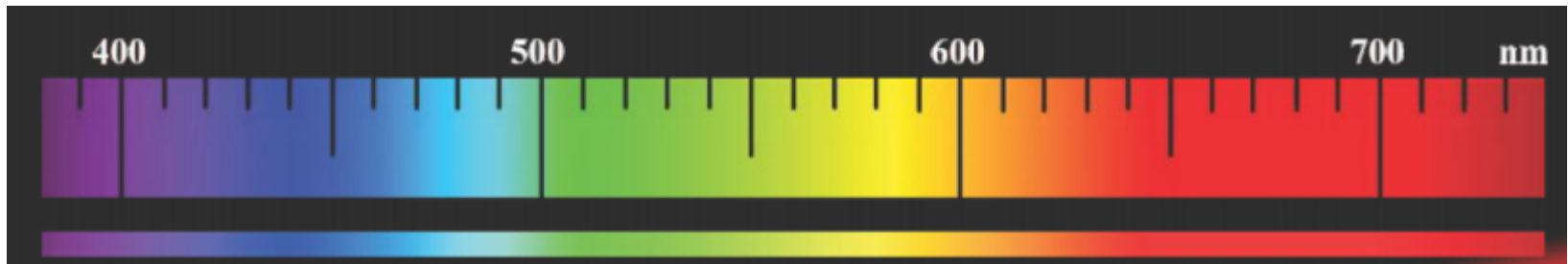
Atualmente chama-se espectro eletromagnético à faixa de frequências e respectivos comprimentos de ondas que caracterizam os diversos tipos de ondas eletromagnéticas.

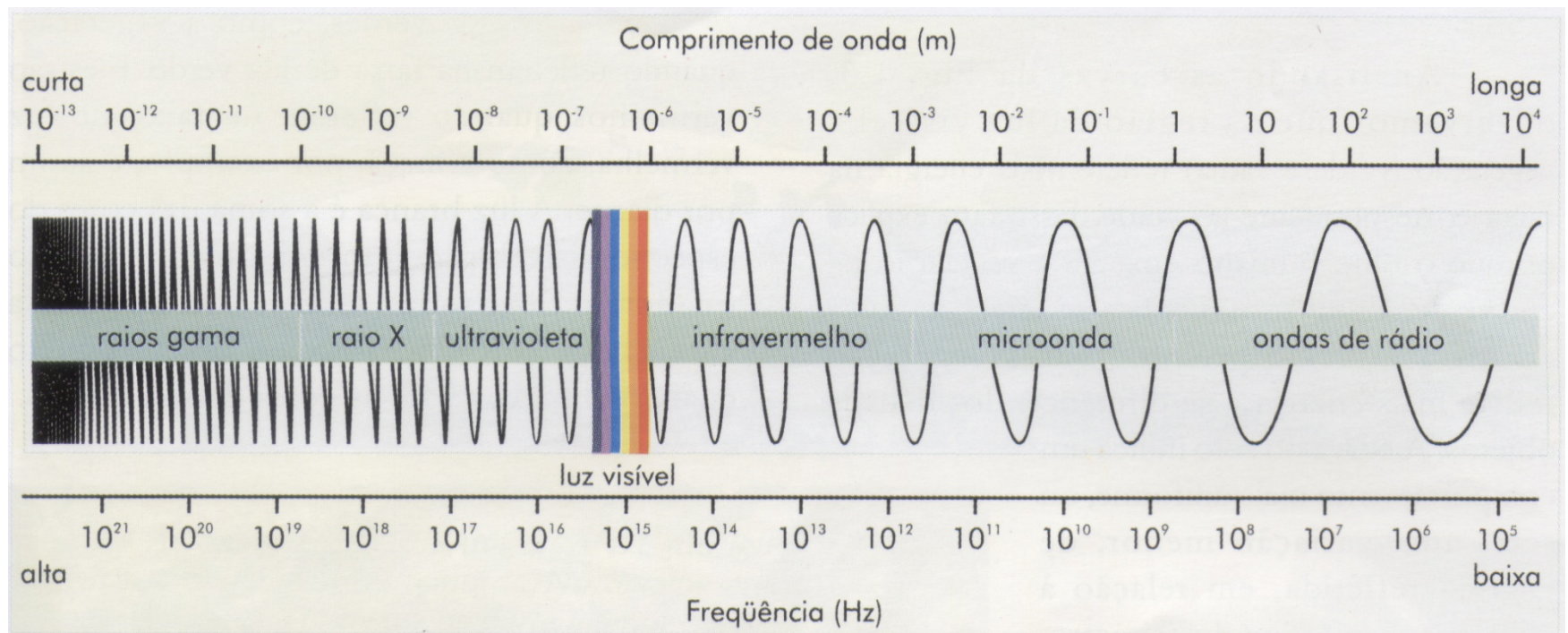
http://www.zaz.com.br/fisicanet/cursos/ondas_eletromagneticas/ondas_eletromagneticas.html

Prisma

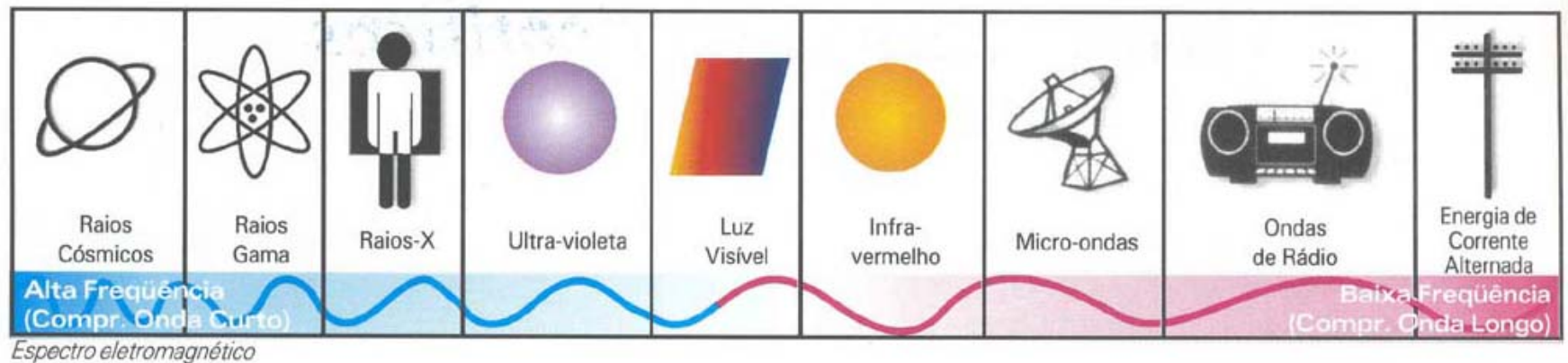


<http://lerweb.khlim.be/~infav/breking/4prisma.htm>



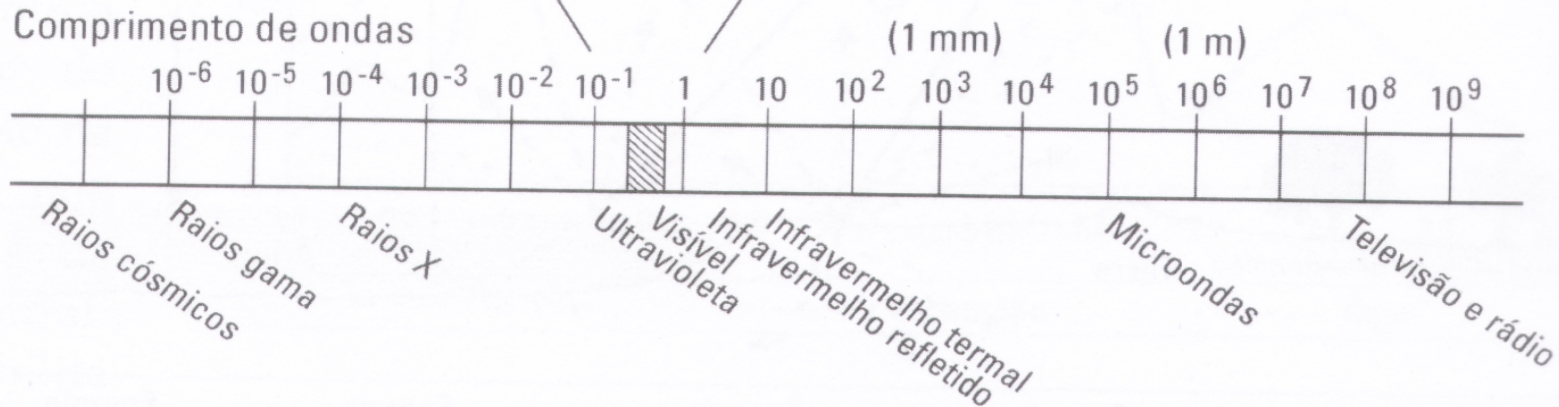
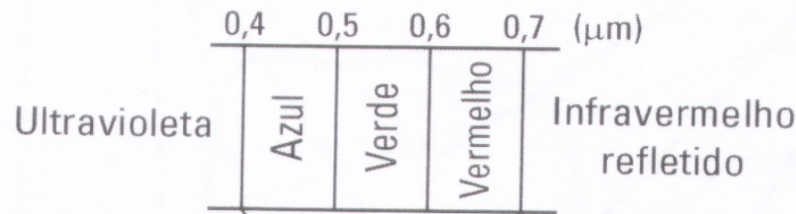
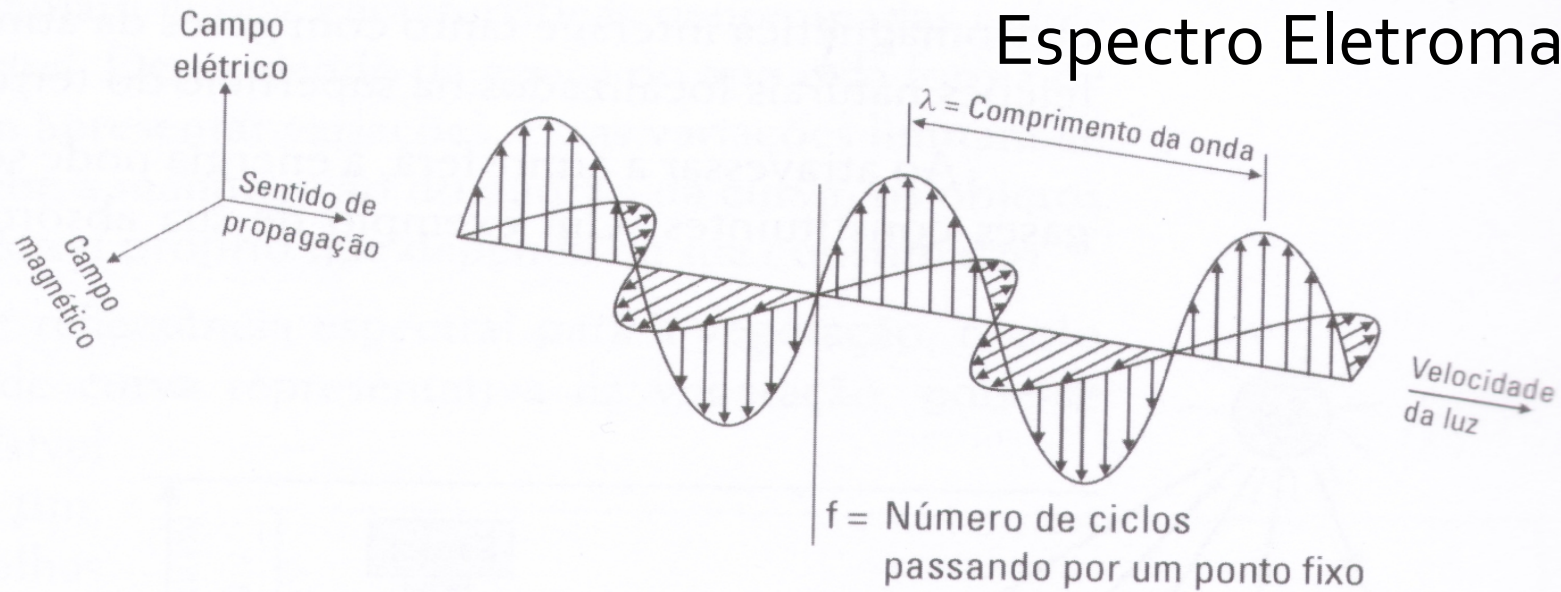


Florenzano (2002)

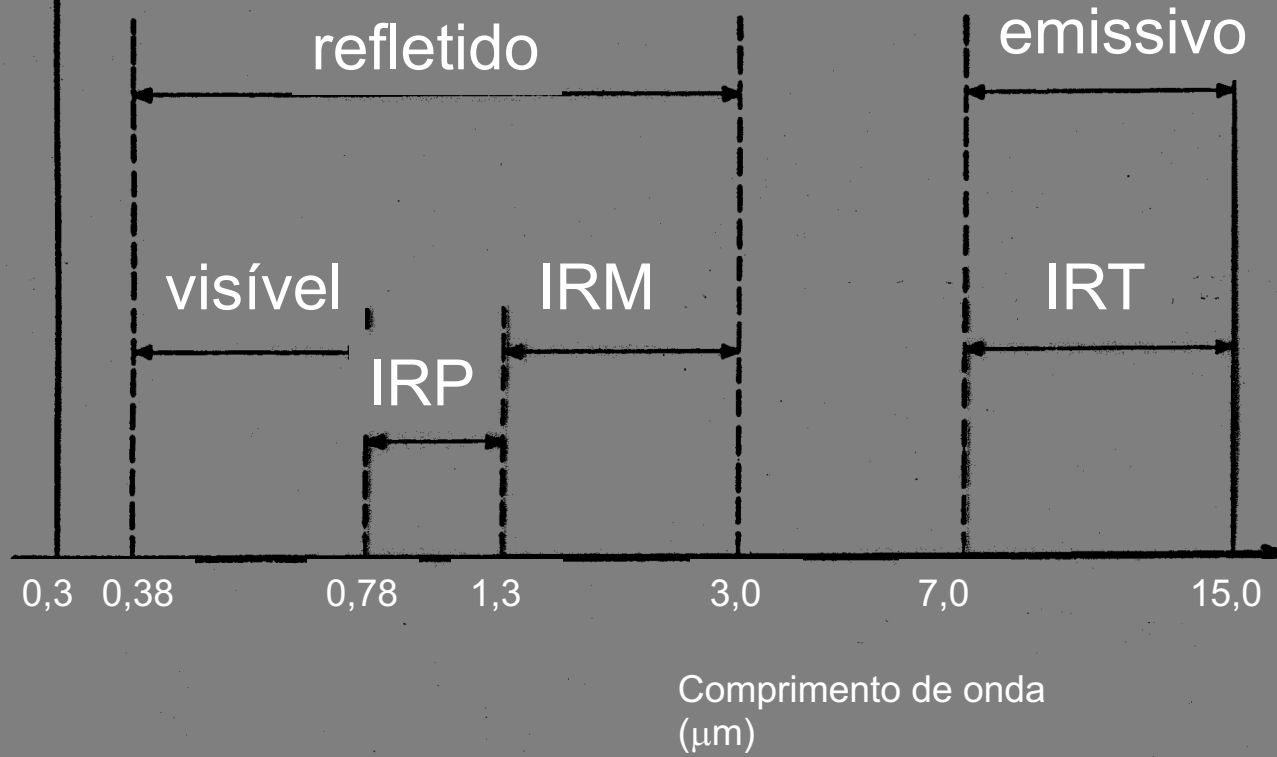


<http://www.cena.usp.br/irradiacao/espectrodeondas.jpg>

Espectro Eletromagnético

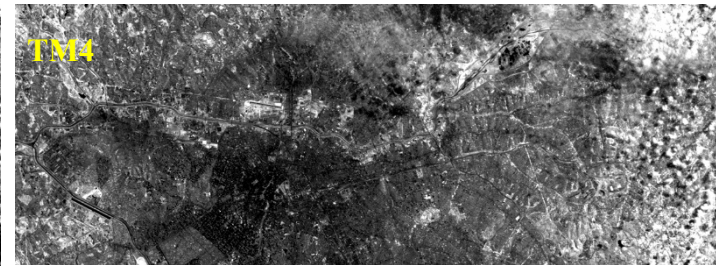
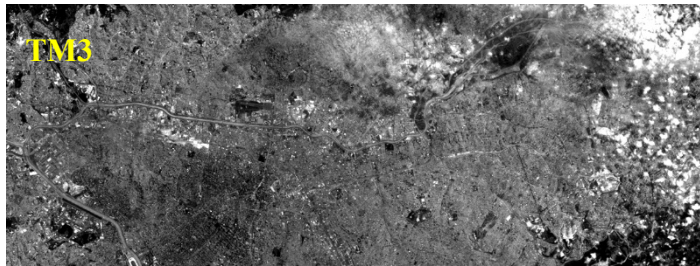
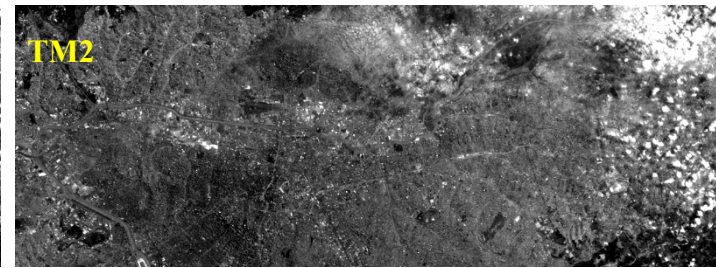
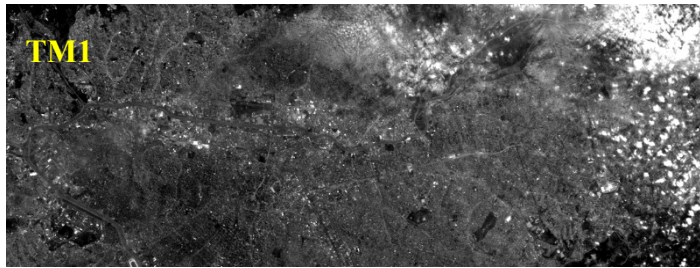


espectro óptico

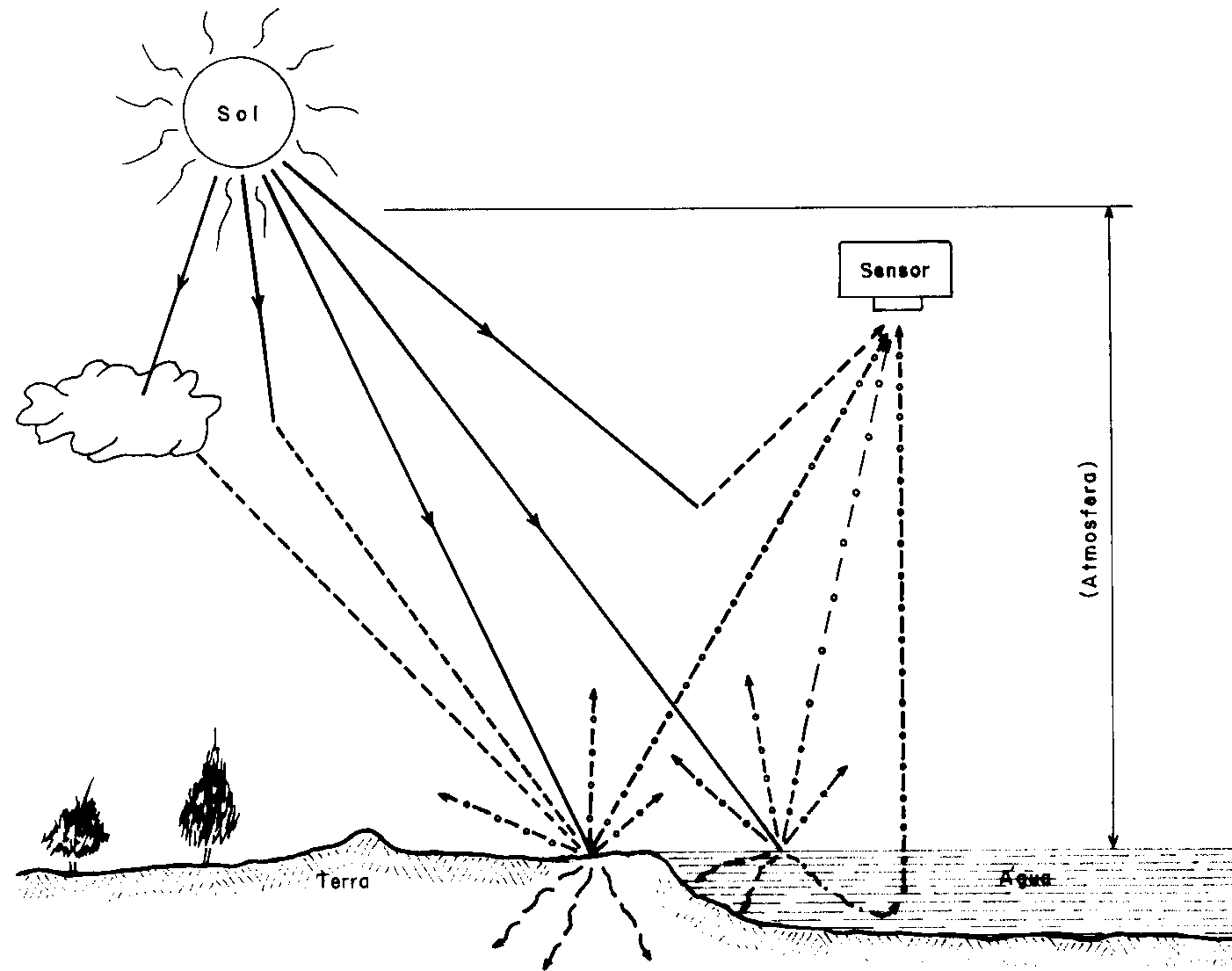


Interação da REM

Imagem Landsat-5 TM adquirida em 23/03/1989 (órbita/ponto 219/76)



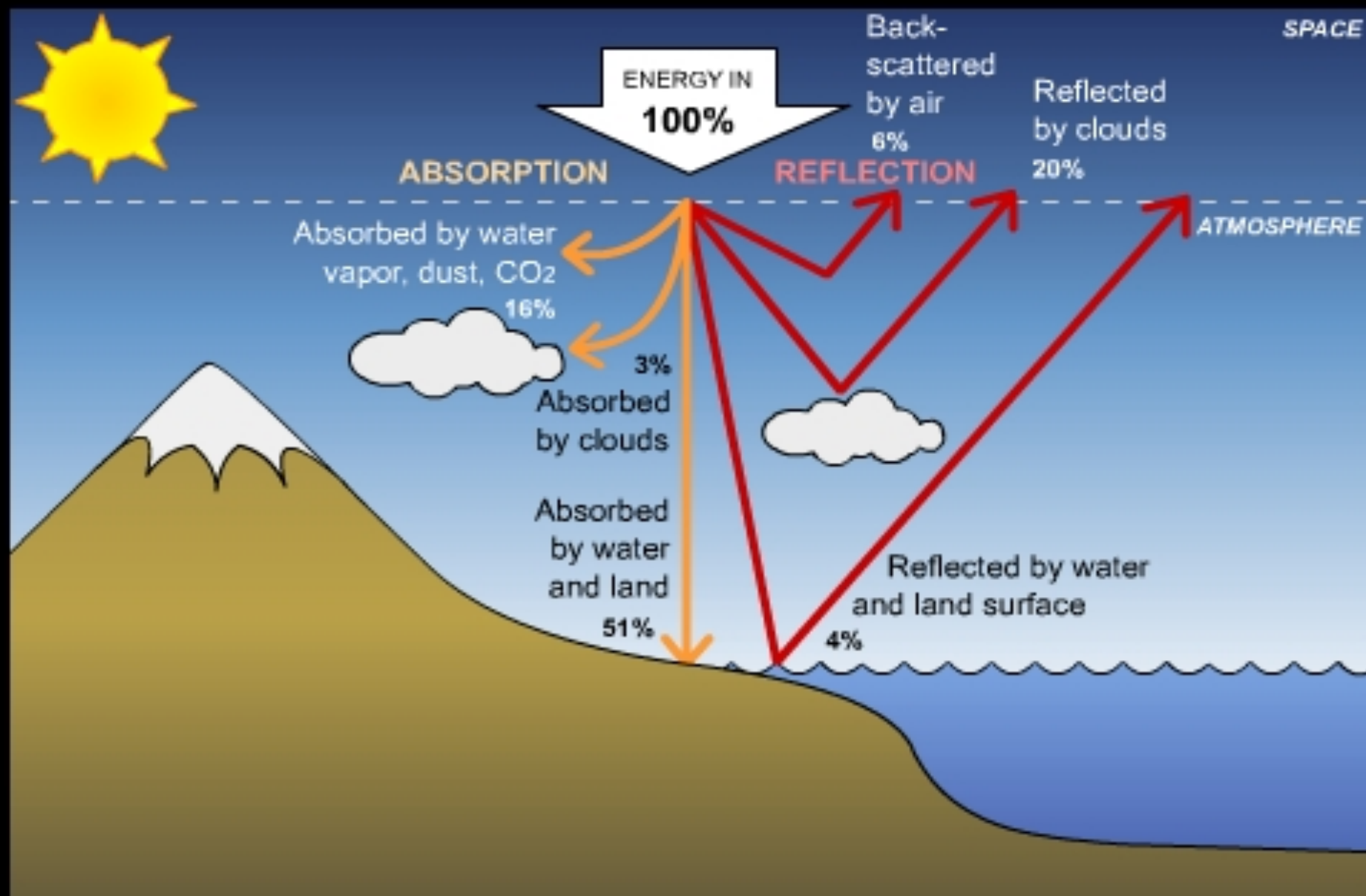
Interação da REM (Atmosfera e objeto)



- Energia incidente
- - - Energia absorvida
- ~ ~ ~ Energia transmitida
- . - . - Energia refletida
- - - - - Energia espalhada

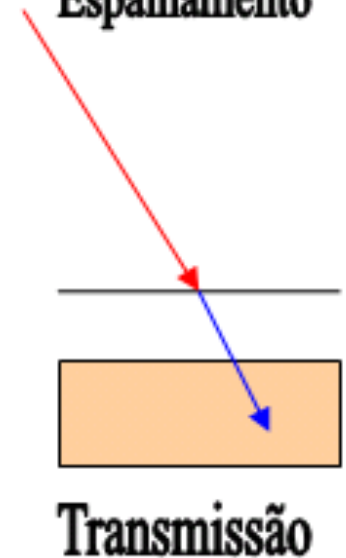
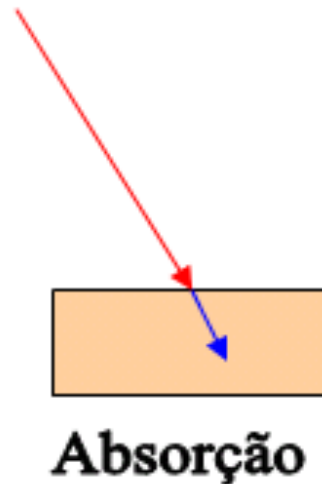
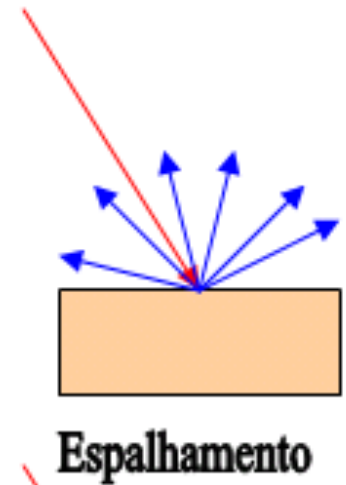
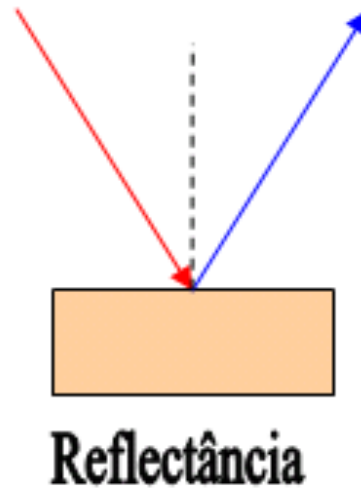
Luchiari, Kawakubo e Morato (2005)

Global Energy Balance



Interação da energia eletromagnética com a atmosfera e com a superfície terrestre

- Energia incidente
- Energia absorvida
- Energia transmitida
- Energia refletida



Reflectância

É a proporção entre o fluxo de radiação eletromagnética incidente numa superfície e o fluxo que é refletido. Formalmente é descrito como:

$$R = F_r / F_t$$

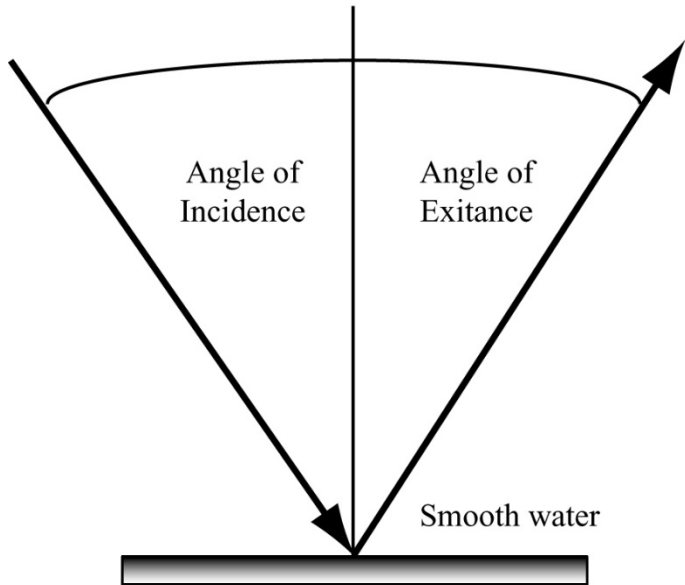
onde:

R: reflectância

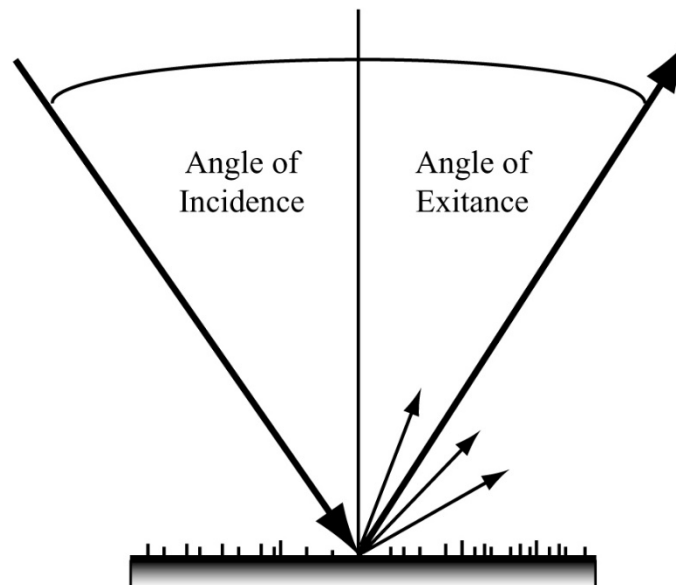
F_r: Fluxo de radiação eletromagnética refletido

F_t: Fluxo de radiação eletromagnética incidente.

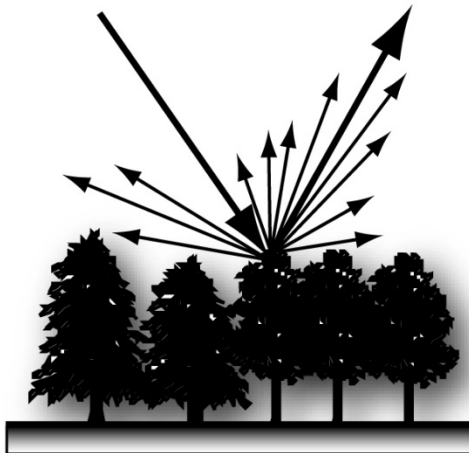
Specular versus Diffuse Reflectance



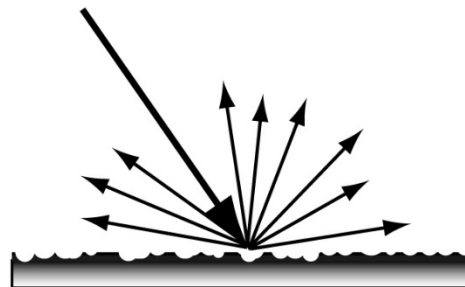
a. Perfect specular reflector.



b. Near-perfect specular reflector.



c. Near-perfect diffuse reflector.



d. Perfect diffuse reflector, or Lambertian surface.

Efeitos atmosféricos: espalhamento da radiação

- Espalhamento Rayleigh
- Espalhamento MIE
- Espalhamento Não-Seletivo

Espalhamento de Rayleigh ou Molecular

O **espalhamento Rayleigh** ocorre quando as partículas **presentes na atmosfera são muito menores que os comprimentos de onda da radiação**. Moléculas de nitrogênio e oxigênio são as causas do espalhamento de Rayleigh. Este tipo de espalhamento afeta principalmente os pequenos comprimentos de onda e ocorrem predominantemente no topo da atmosfera.

$$E = \frac{1}{\lambda^4}$$

Por que o céu é azul?

O fato do céu parecer “azul” durante o dia é devido a este fenômeno. Como a luz do sol passa pela atmosfera, os pequenos comprimentos de onda (isto é o azul) do espectro visível são espalhados mais que os comprimentos de onda maiores da porção visível do espectro eletromagnético.

Espalhamento MIE

O **espalhamento Mie** ocorre quando as partículas presentes na atmosfera **são da mesma ordem ou próximos do comprimento de onda da radiação**. Poeira, fumaça e vapor d'água são as causas comuns do espalhamento MIE que tende afetar os longos comprimentos de onda. O espalhamento MIE ocorre nas porções mais baixas da atmosfera onde as grandes partículas são abundantes.

$$E = \frac{1}{\lambda^2}$$

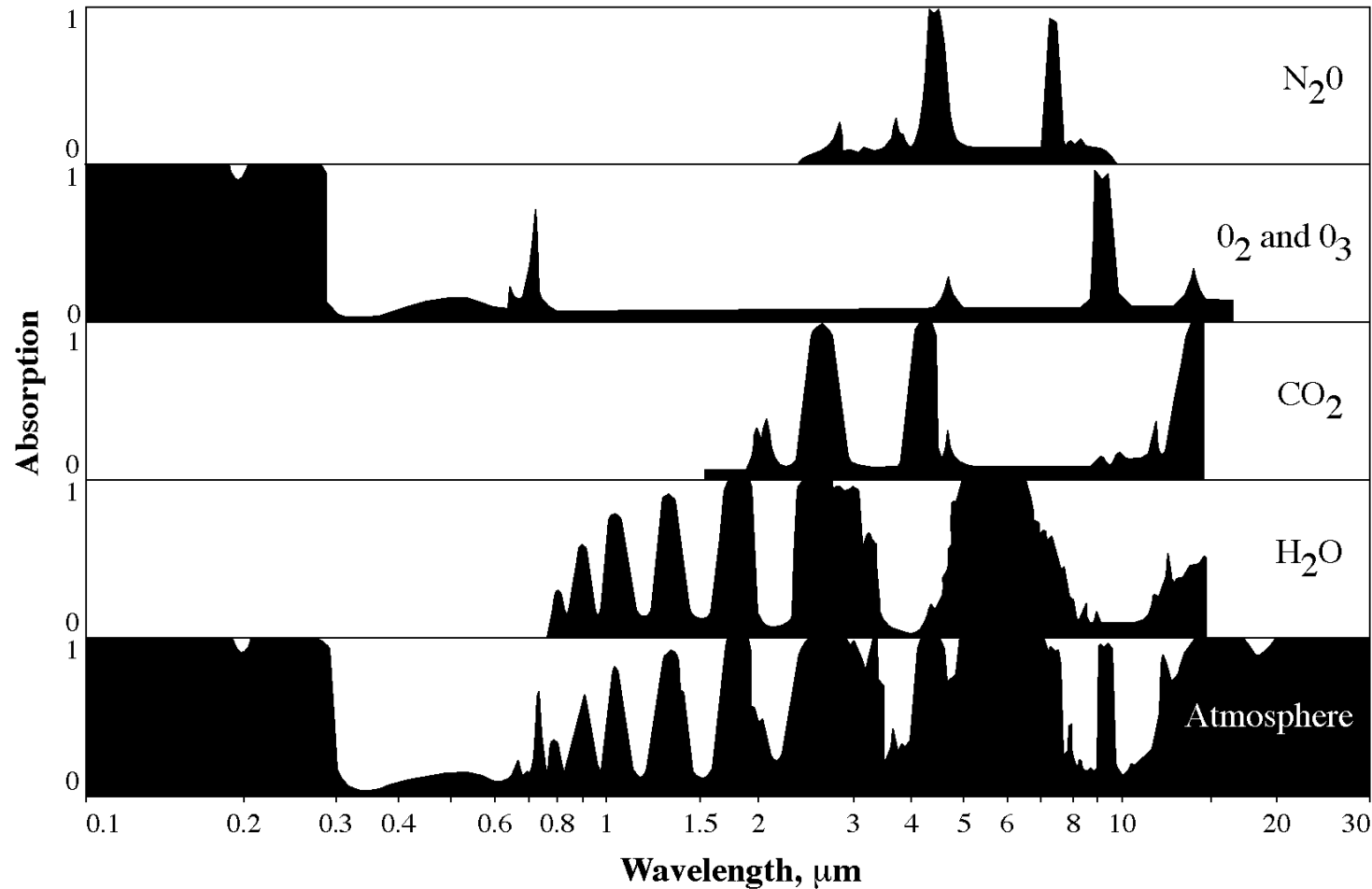
Espalhamento Não-Seletivo

O **espalhamento não-seletivo** ocorre quando as partículas presentes na atmosfera **são muito maiores que o comprimento de onda da radiação**. Gotas d'água e grandes partículas de poeira podem causar este tipo de espalhamento. O espalhamento não-seletivo possui este nome pelo fato de todos os comprimentos de ondas serem igualmente espalhados. Este tipo de espalhamento é causado por nevoeiro e nuvens, e causa o aparecimento da cor branca pois as luzes verde, vermelho e azul são espalhadas em quantidades aproximadamente iguais.

Absorção

O espalhamento e a reflexão simplesmente mudam a direção da radiação. Contudo, através da absorção, a radiação é convertida em calor. Quando uma molécula de gás absorve radiação esta energia é transformada em movimento molecular interno, detectável como aumento de temperatura.

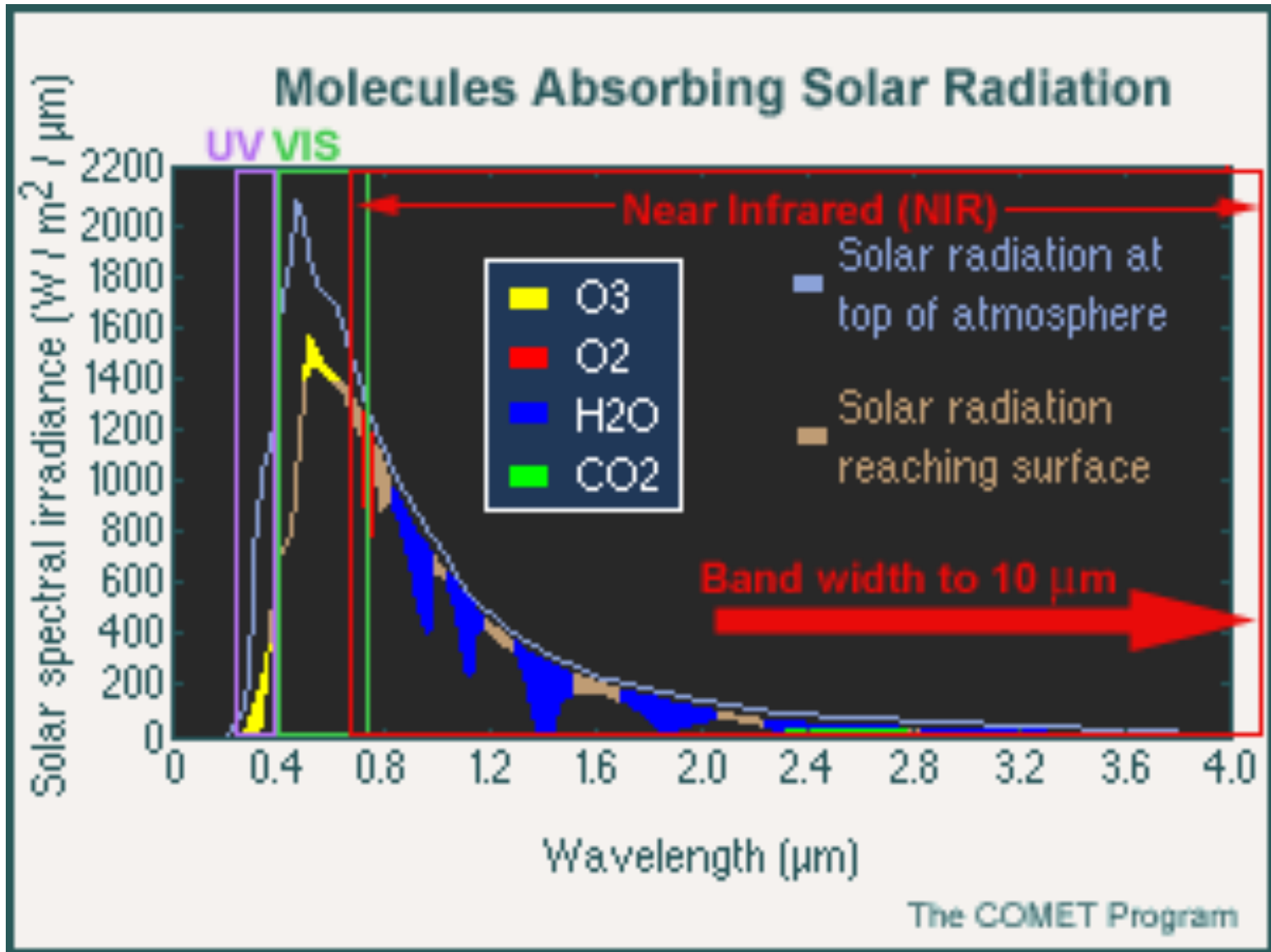
Absorção da energia eletromagnética incidente do Sol na região 0.1 a 30 μm por vários gases atmosféricos (Jensen, 2000)



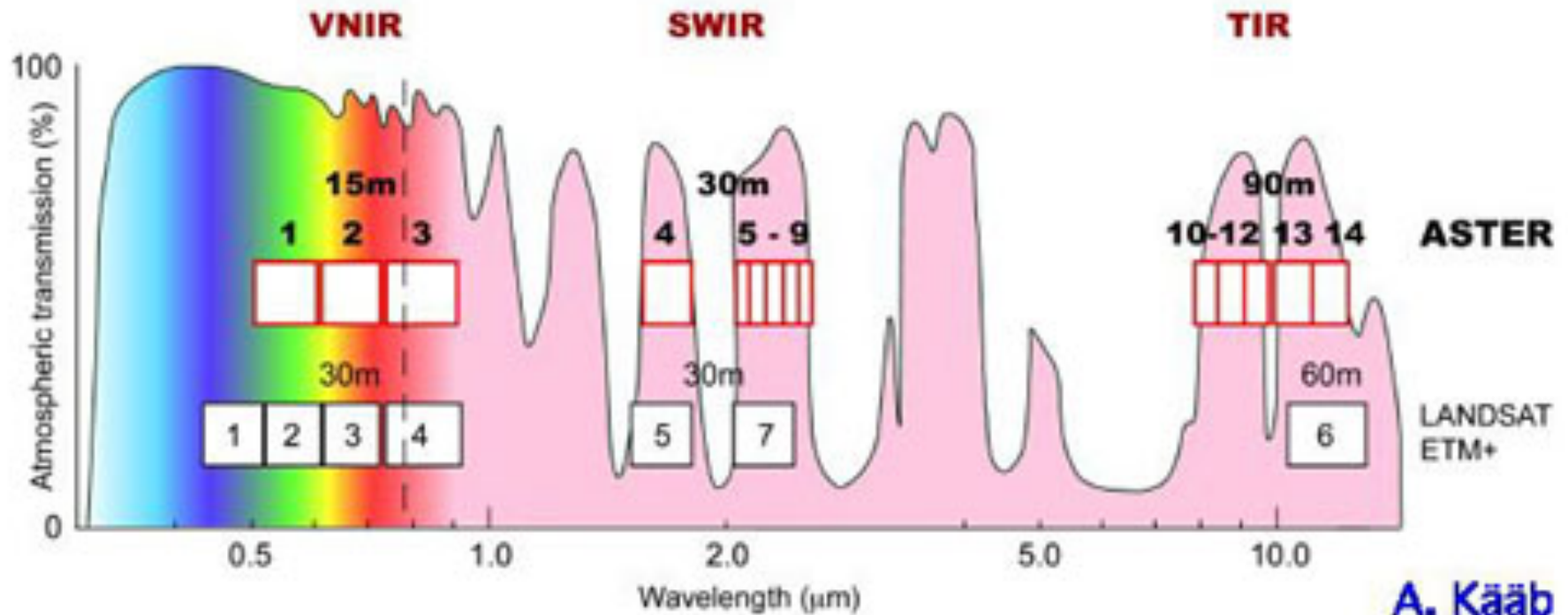
Transmissão

O grau de transmissão, ou transmissividade, representa a capacidade das ondas eletromagnéticas em penetrarem a atmosfera.

Transmitância Atmosférica



Bandas do Landsat-7 ETM+ e ASTER



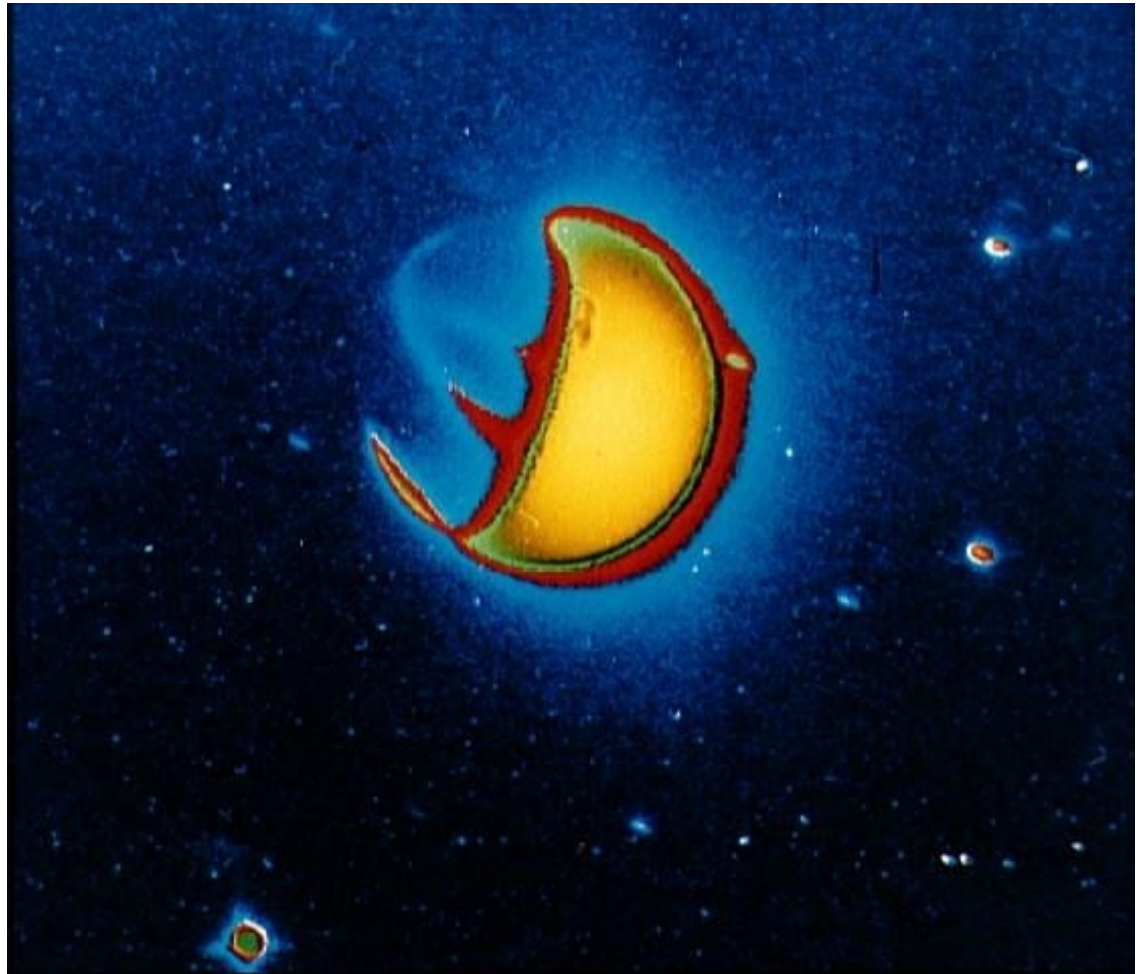
A. Kääb

***GLIMS: Global Land Ice Measurements from Space
Monitoring the World's Changing Glaciers***

<http://www.glims.org/>

Imagem adquirida no ultravioleta

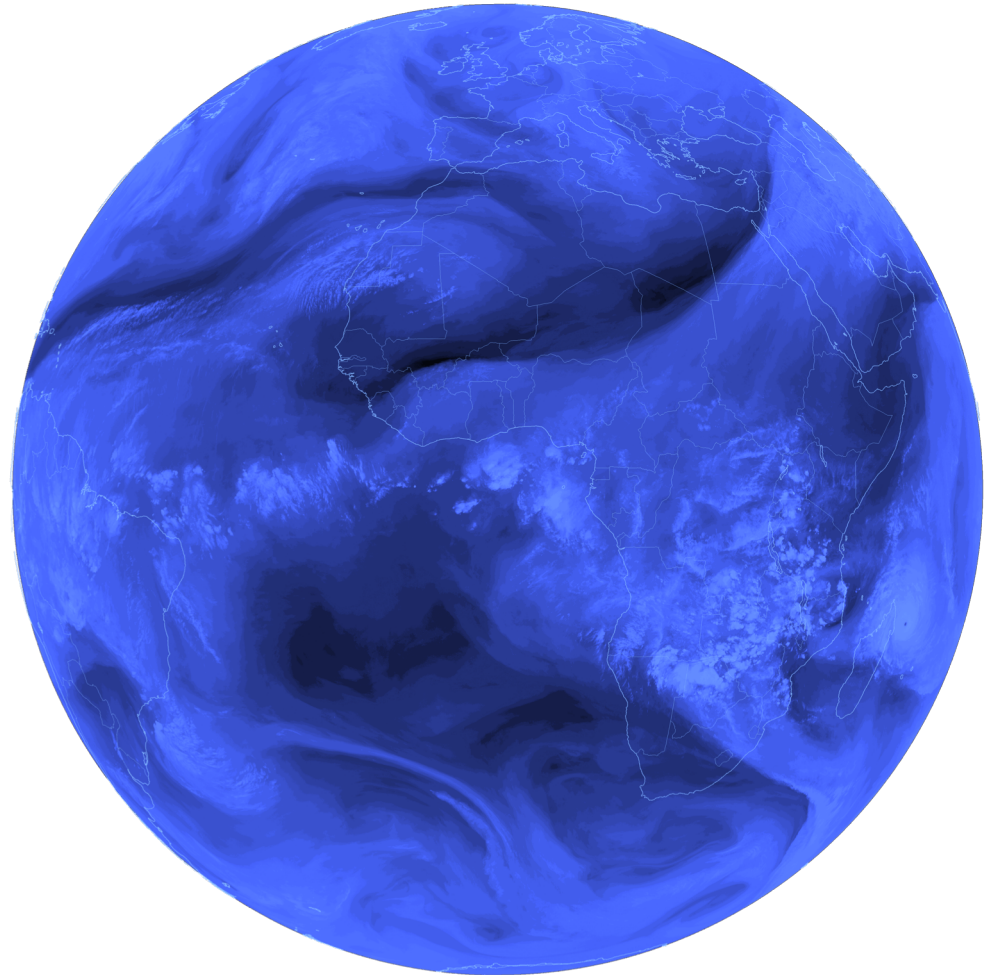
A parte direita da Terra está iluminada pelo Sol. Os continentes e oceanos não são visíveis devido a que a radiação ultravioleta (UV) não atinge o solo, porque é refletida no topo da atmosfera. No lado voltado para longe do sol, onde a radiação UV não deveria chegar, aparecem linhas como filamentos de intensidade UV aumentada; este fenômeno é produzido pela aurora de partículas carregadas emitidas pelo sol que acompanham as linhas do campo magnético que circunda a terra.



Ultraviolet image of the earth taken by the Apollo 16 astronauts in April 1972 with the Far UV Camera/Spectrograph deployed on the moon. Source: NASA.

Imagem adquirida em 6.2 μm (mostrando o vapor de água)

A faixa espectral em torno de 6,2 μm é particularmente sensível ao vapor de água na atmosfera. A luz solar é forte no visível, mas bastante baixa no infravermelho (IR). Esta baixa intensidade é fortemente absorvida pelo vapor de água, fazendo com que terra e oceanos fiquem virtualmente invisíveis. No mesmo tempo o vapor de água reemite radiação para o espaço. Outros gases atmosféricos não contribuem na mesma medida neste processo. Assim, a imagem representa a distribuição de vapor de água que aparentemente segue padrões de grande escala na atmosfera superior.

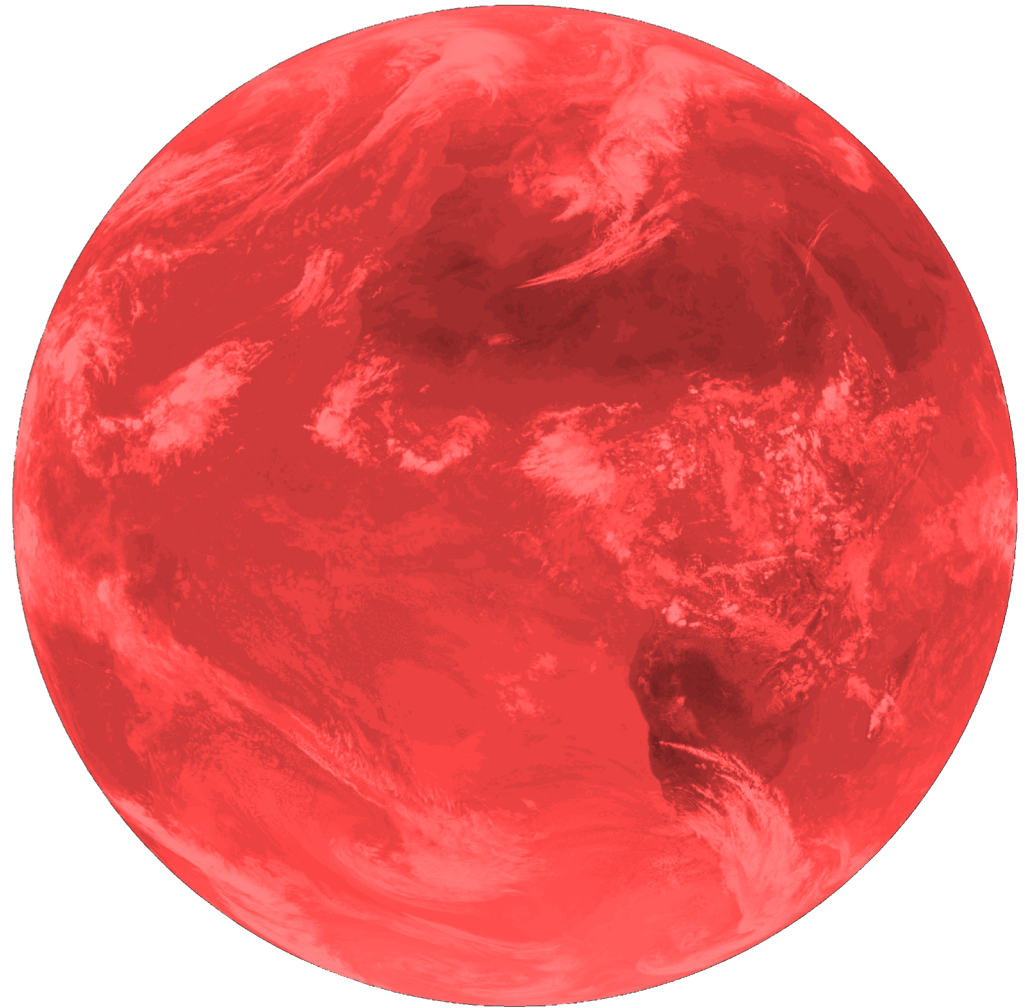


Meteosat-8 image of the earth at 6.2 μm wavelength, 6 March 2004. The earth is shown in blue colour, i.e., a false colour image. View this image also in black-and-white. Source: EUMETSAT.

http://lms.seos-project.eu/learning_modules/earthspectra/earthspectra-c01-p03.html

Imagem adquirida em 10.5-12.5 μm

Aparentemente, a absorção de radiação devido a vapor de água e outros gases é pequena neste comprimento de onda, levando a uma alta transmissão da atmosfera clara. Aerossóis, como poeira e nevoeiro, mas também finas nuvens estrato espalham radiação, o que explica a baixa visibilidade de algumas regiões na imagem. O aspecto importante é que o sinal visto em regiões atmosféricas claras não é da luz solar refletida. Em vez disso, é a superfície da Terra que emite a radiação IR medida pelo satélite. Sua intensidade depende da temperatura, tornando assim possível medir a temperatura de superfícies terrestres e oceânicas em escalas globais.



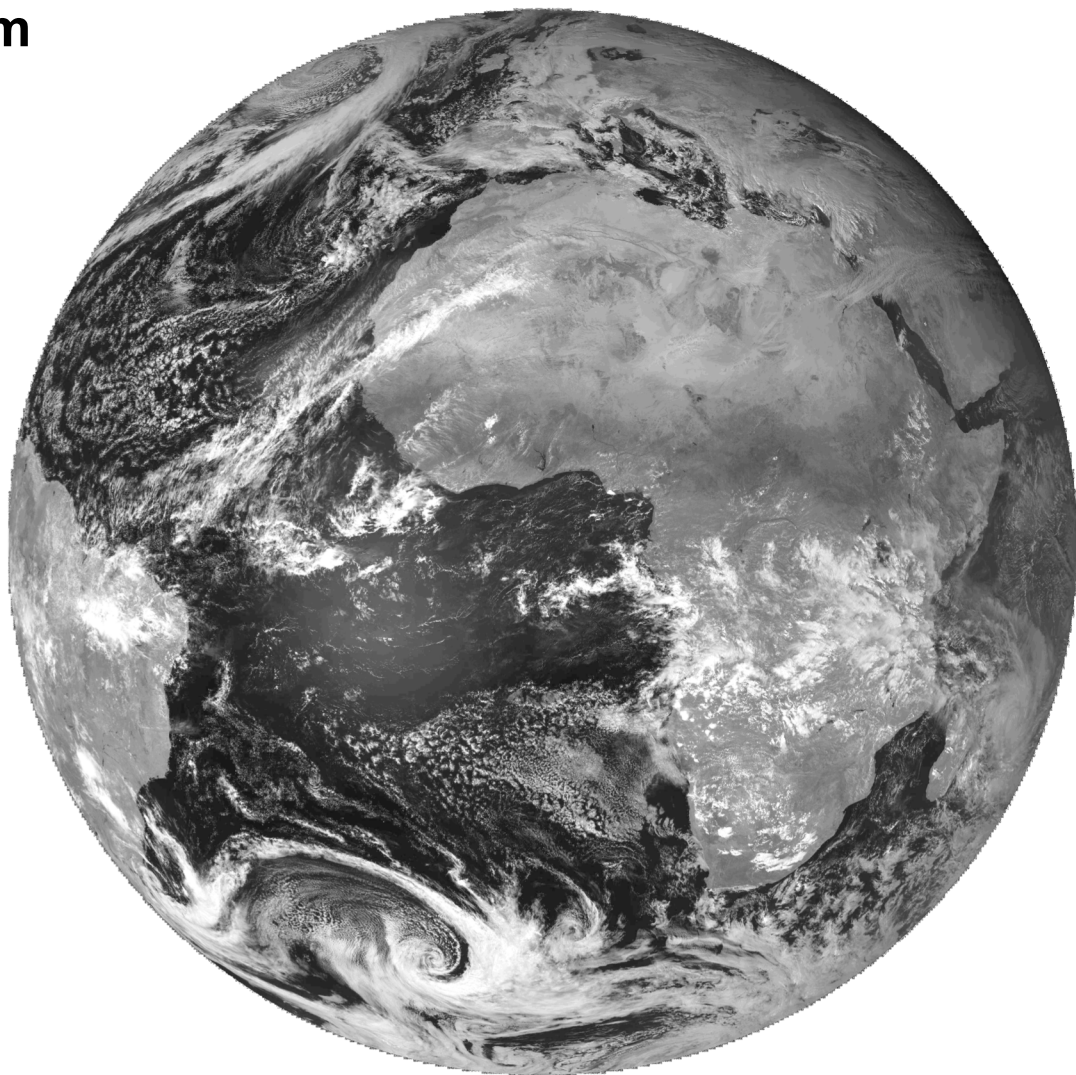
Meteosat-7 image of the earth at 10.5 - 12.5 μm wavelength, 20 October 1998.

View this image also in black-and-white. Source: EUMETSAT.

http://lms.seos-project.eu/learning_modules/earthspectra/earthspectra-co1-po4.html

Imagem adquirida em 0,8 μm (término do canal NIR).

Os oceanos parecem escuros porque a luz solar é mais absorvida na água em este comprimento de onda do que no visível. No entanto, o espalhamento na atmosfera é muito reduzido, e, portanto, as nuvens e as terras emergidas são reproduzidas em alto contraste.



Meteosat-8 image of the earth at 800 nm wavelength, 12 February 2003.
Source: EUMETSAT.

http://lms.seos-project.eu/learning_modules/earthspectra/earthspectra-c01-p03.html

Janelas Atmosféricas

São regiões do espectro eletromagnético onde a atmosfera é transmissiva a energia eletromagnética.

Os sensores a bordo dos satélites são planejados para operar nos comprimentos de onda com menor absorção atmosférica. Esses comprimentos de onda são denominados de *janelas atmosféricas*.

Leitura complementar:

Exemplos de Curvas de Reflectância de alguns alvos.

Arquivo:

Curvas_Comportamento_Expectral_2020.PDF

Leitura complementar adicional:

Capítulos 1 e 2 do Jensen.

Disponíveis na Aula 2 do Moodle.

Obrigado pela atenção!