Oceanografia por Satélites

Introdução ao uso de Satélites Oceanográficos

Paulo S. Polito, Ph.D. **polito@usp.br**

Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
http://los.io.usp.br
Laboratório de Oceanografia por Satélites

Roteiro

1. O que Chega no Sensor?
   - Sensores
   - Sinais e Ruídos
2. Interações Entre Energia e Matéria
   - Desenvolvendo a Intuição
   - Reflexão
   - Refração
   - Absorção
   - Janelas Atmosféricas
   - Espalhamento na Atmosfera

LOS Laboratório de Oceanografia por Satélites

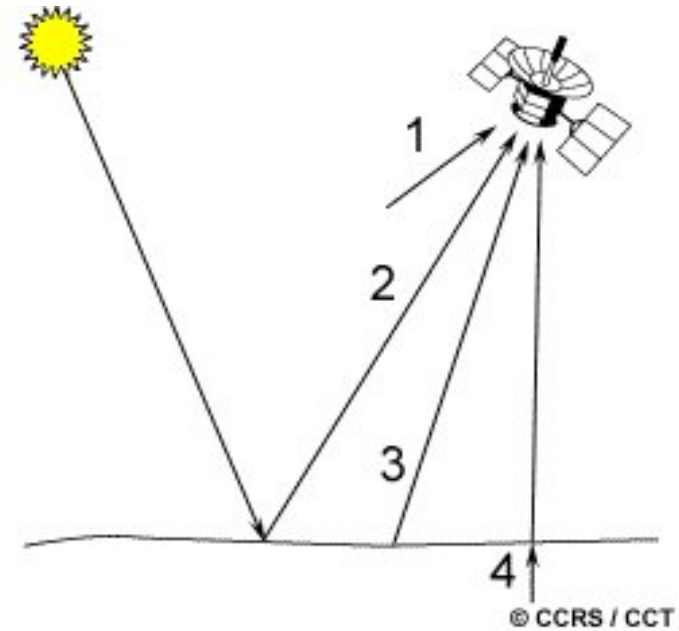
Roteiro

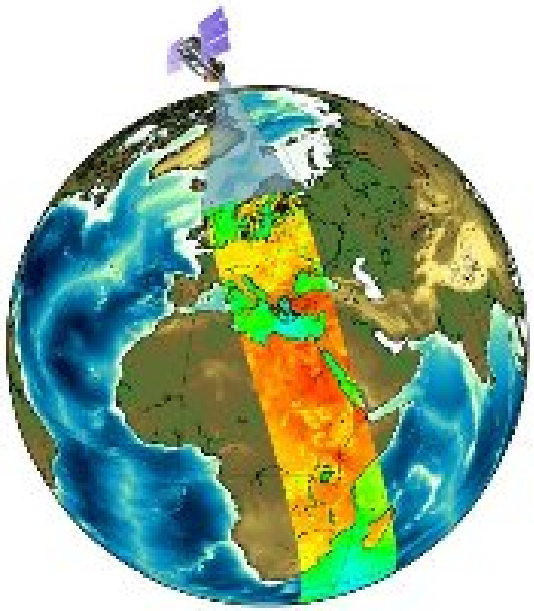
1. O que Chega no Sensor?
   - Sensores
   - Sinais e Ruídos
2. Interações Entre Energia e Matéria
   - Desenvolvendo a Intuição
   - Reflexão
   - Refração
   - Absorção
   - Janelas Atmosféricas
   - Espalhamento na Atmosfera

LOS Laboratório de Oceanografia por Satélites

Sensores Passivos

Sensores passivos não emitem radiação. A energia vem do Sol e é

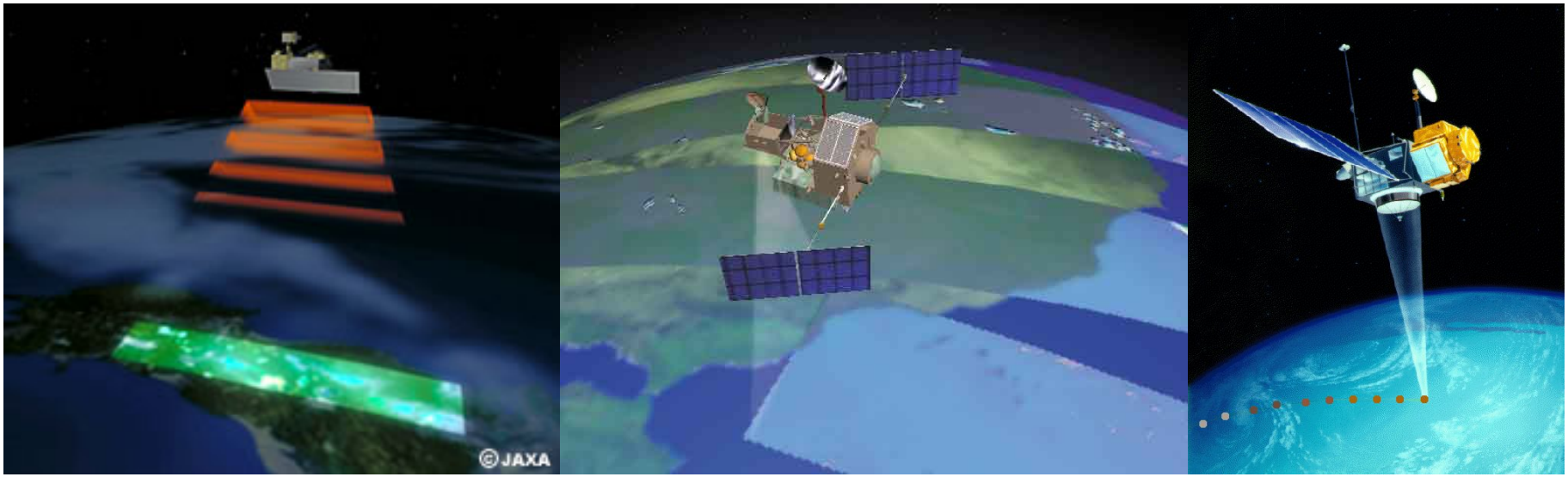




- absorvida (e reemitida),
- refletida ou
- espalhada
- pela atmosfera (2×),
- pelos continentes e
- pelos oceanos.

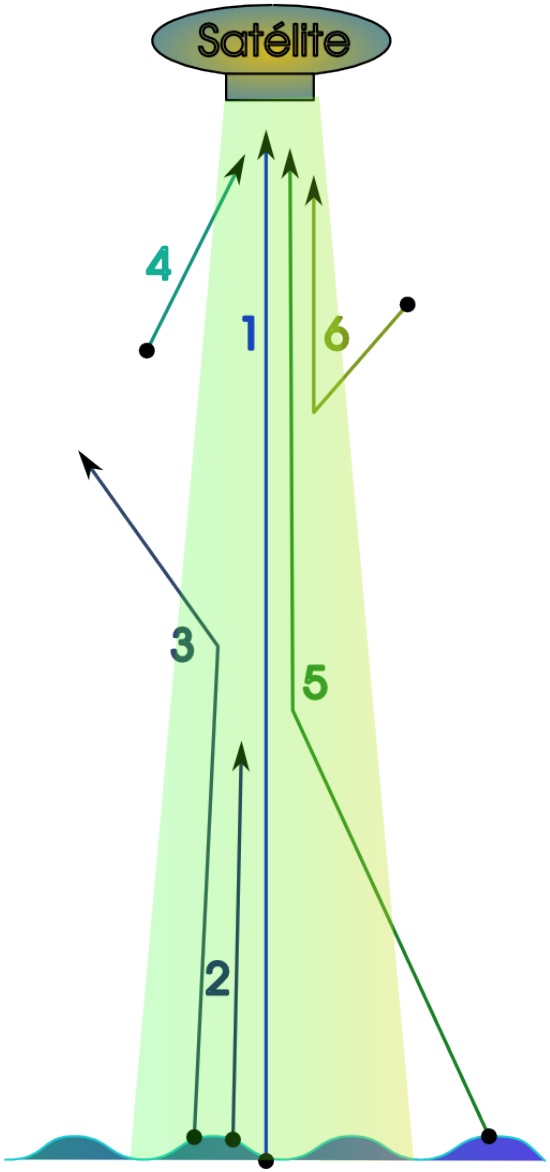
Sensores Ativos

Sensores ativos emitem radiação, que por sua vez é



- absorvida,
- refletida ou
- espalhada
- pela atmosfera (2×),
- pelos continentes e
- pelos oceanos.

De Onde Veio Este Fóton?



1. O sinal (radiação EM) sai do oceano e chega ao sensor trazendo informação sobre o oceano.
2. Sinal perdido, absorvido na atmosfera.
3. Sinal perdido, espalhado na atmosfera.
4. Ruído, pois a radiação foi emitida pela atmosfera e não pelo oceano.
5. Ruído, pois a embora a radiação tenha sido emitida pelo oceano, ela vem de fora do IFOV.
6. Ruído , pois a radiação foi emitida e espalhada pela atmosfera.

LOS Laboratório de Oceanografia por Satélites

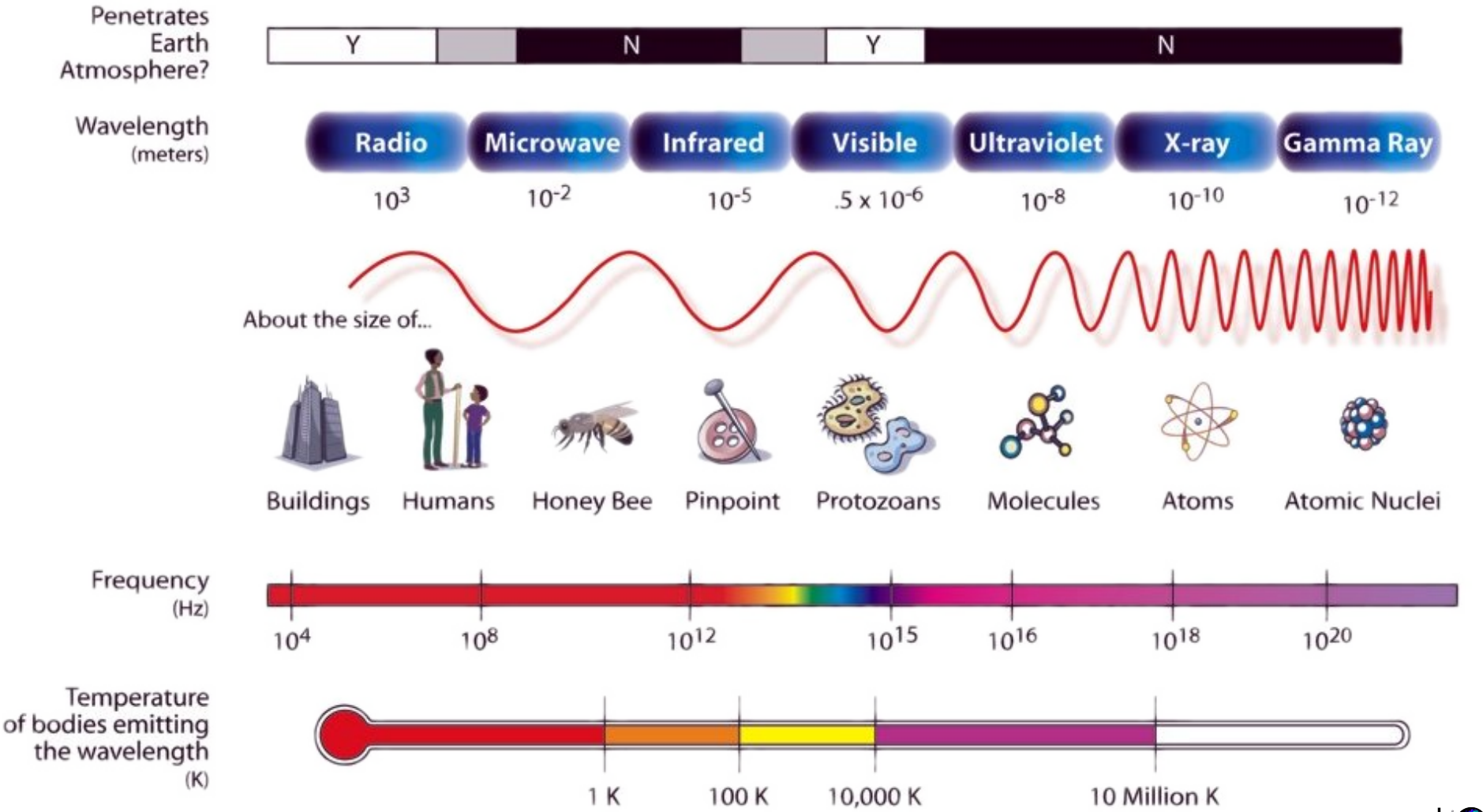
Roteiro

1 O que Chega no Sensor?
- Sensores
- Sinais e Ruídos

2 Interações Entre Energia e Matéria
- Desenvolvendo a Intuição
- Reflexão
- Refração
- Absorção
- Janelas Atmosféricas
- Espalhamento na Atmosfera

LOS Laboratório de Oceanografia por Satélites

Espectro Eletromagnético



Reflexão Especular, Difusa e Lambertiana

- Reflexão especular: ângulo de exitância é igual ao de incidência.

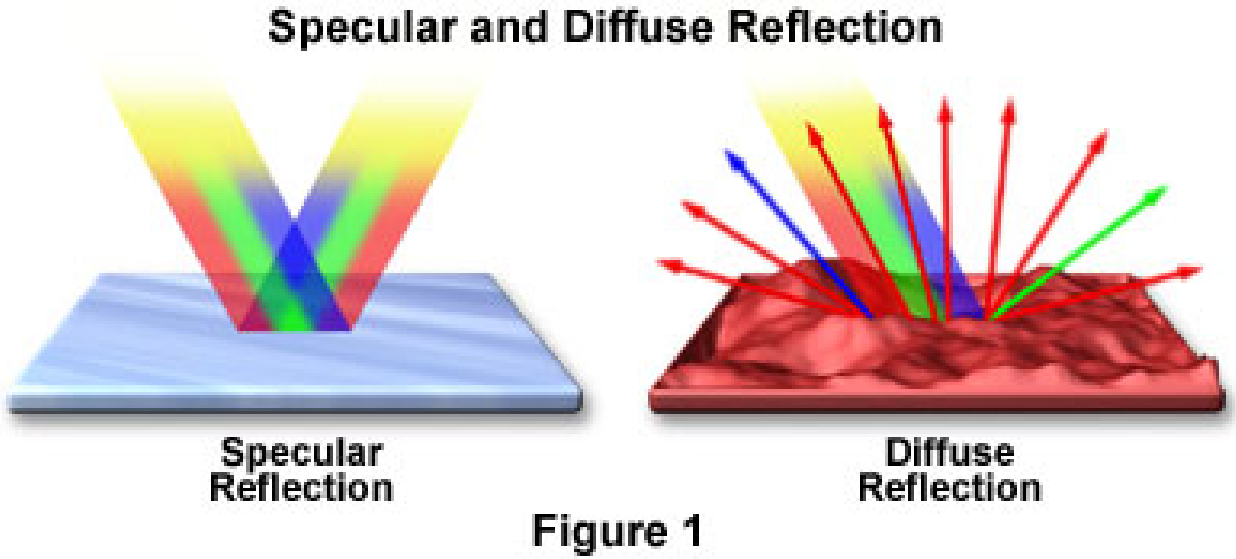


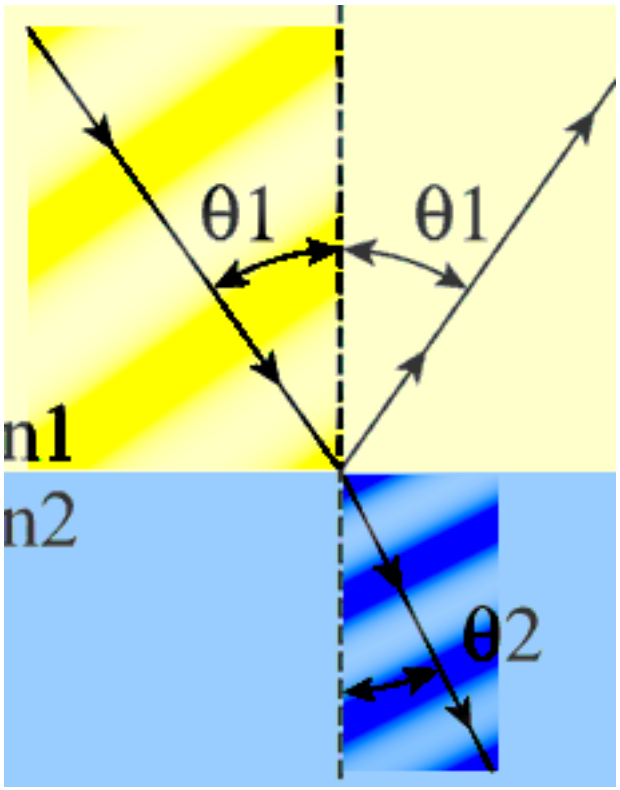
Figure 1

- Reflexão difusa: a radiação é refletida em várias direções.
- Reflexão Lambertiana: a radiação é refletida igualmente em todas as direções.
- A diferença fundamental entre radiação emitida e a refletida é que a refletida traz informação espectral sobre o emissor e não sobre o refletor.

Snell

- A lei da refração de Snell é dada por $\boxed{n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2}$
- Ela se aplica quando a radiação muda de meio, por exemplo, atmosfera→vácuo ou oceano→atmosfera.

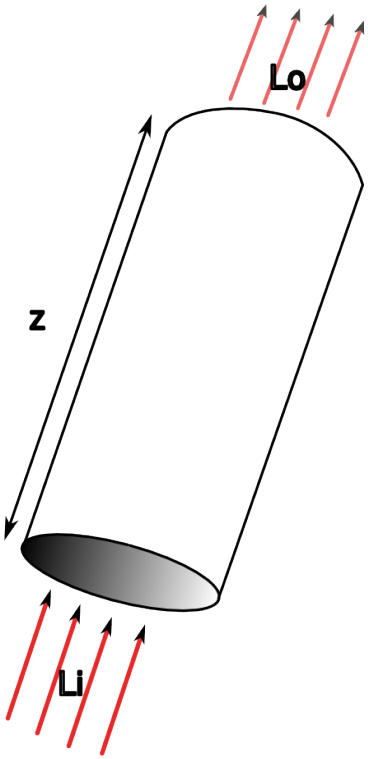
- A velocidade de um onda EM no vácuo (c) é diferente da velocidade em um meio (c_n).
- O índice de refração é dado por $n = \frac{c}{c_n}$, o n do ar é ∼1.0003 e o da água ∼1.33.
- Note que λ muda mas ν não.
- O efeito é pequeno, exceto para observações de cor do oceano.



O Coeficiente de Absorção

- O coeficiente de absorção κ em m^{-1}é dado por:

$$\kappa = \frac{1}{L_\lambda}\frac{dL_\lambda}{dz} \text{ onde } L_\lambda \text{ é a radiância } (Wm^{-2}Sr^{-1}m^{-1})$$



- Em um cilindro uniforme de comprimento z entra a radiância L_i e sai L_o.
- O coeficiente de absorção é, integrando no cilindro todo,

$$\kappa = \frac{\ln\left(\frac{L_o}{L_i}\right)}{z}$$

- Às vezes utilizamos também $k = \kappa/\rho$ como coeficiente de atenuação.

LOS Laboratório de Oceanografia por Satélites

Transferência Radiativa

- Considere um cilindro de gás em equilíbrio térmico.
- Em dz a radiância será atenuada de $dL = -\kappa(z)L(z)dz$.
- Neste mesmo dz o gás emite radiação pois não está a 0K.
- Pela lei de Kirchoff, a emissividade é igual a absorbância num corpo negro, portanto $dL = L_B(z)\kappa(z)dz$.
- Subtraindo a parte absorvida da emitida, temos $dL = L_B\kappa dz - L\kappa dz$.

LOS Laboratório de Oceanografia por Satélites

Transferência Radiativa II

- Considerando que κ independe de L Goody (1964) resolveu esta equação diferencial linear de 1^a ordem:

$$\frac{dL(z)}{dz} = L_B(z)\kappa(z) - L(z)\kappa(z), \text{ Cuja solução é:}$$

$$L = L(0)e^{-\tau_0} + \int_0^H L_B(z)\kappa(z)e^{-\tau_H}dz \text{ onde}$$

$$\tau_0 = \int_0^H \kappa dz \text{ e } \tau_H = \int_z^H \kappa dz$$

- τ define a profundidade óptica da camada:
  - $\tau_0 = 0 \quad \rightsquigarrow$ atmosfera transparente.
  - $\tau_0 \gg 1 \quad \rightsquigarrow$ atmosfera opaca.
  - $\tau_0 = 1 \quad \rightsquigarrow$ atmosfera translúcida.

LOS Laboratório de Oceanografia por Satélites

Simplificando

- Considere L_B constante para simplificar o problema. Neste caso:

$$L = L(0)e^{-\tau} + L_B(1 - e^{-\tau})$$

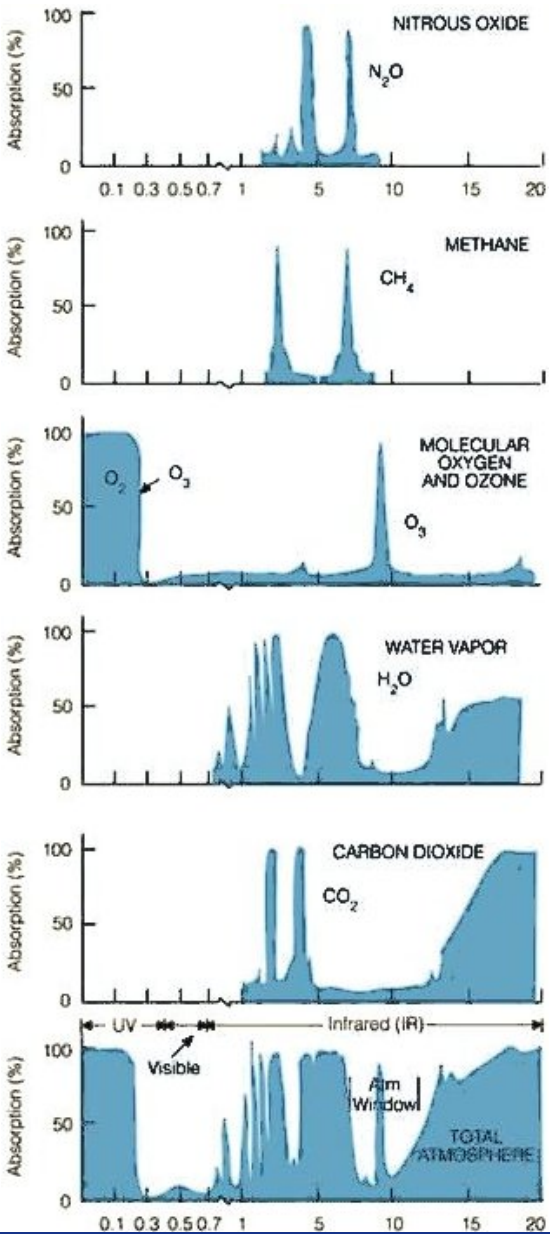
- Nas bandas acima de 1GHz vale a aproximação de Rayleigh–Jeans e a radiância é linearmente relacionada à temperatura, portanto:

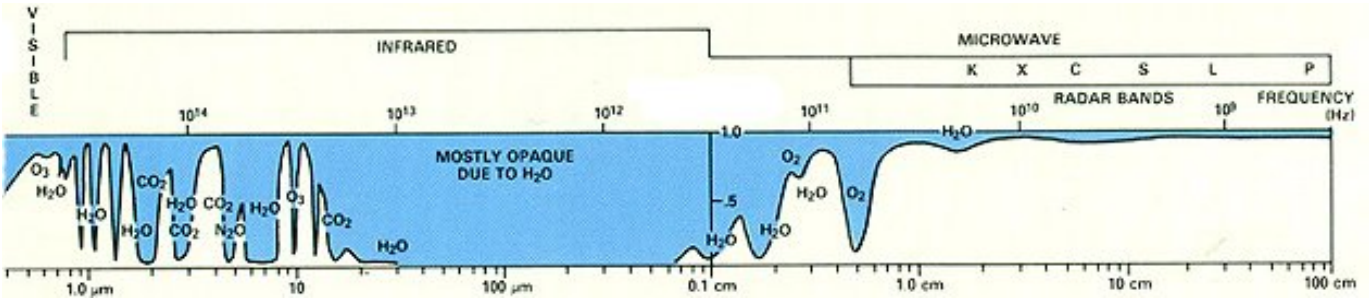
$$T = T(0)e^{-\tau} + T_B(1 - e^{-\tau})$$

- A temperatura medida T é chamada de temperatura de brilho e se aproxima da TSM á medida que τ tende à zero.
- Portanto a temperatura de brilho é aquela que inclui o efeito da radiação atmosférica.

LOS Laboratório de Oceanografia por Satélites

Espiando pela Janela





- A combinação dos espectros de absorção da atmosfera torna a atmosfera opaca a alguns comprimentos de onda e transparente a outros.
- Os principais componentes são N_2O, CH_4, O_2, O_3, CO_2 e H_2O.
- A diferença entre a absorção na banda do visível (do Sol) e do infra-vermelho (da Terra) cria o efeito estufa.

Seção Reta

- A teoria do espalhamento simples (Mie) pode ser aplicada se a profundidade óptica $\tau < 0,1$.
- A atenuação ou extinção pode ser quantificada através da seção reta de atenuação:

$$\sigma_E = \pi a^2 \frac{\Phi_E}{\Phi}$$

  - a é a escala espacial (raio) da partícula,
  - Φ é a radiância ($Wm^{-2}Sr^{-1}$) incidente e
  - Φ_E é a radiância extinta pela partícula.
- A atenuação da radiação EM pode separada em dois fenômenos distintos,
  - absorção e
  - espalhamento.

$$\sigma_E = \sigma_A + \sigma_S$$

LOS Laboratório de Oceanografia por Satélites

Do que Depende o Espalhamento

- O fator que determina qual tipo de espalhamento ocorre é a relação entre o tamanho (raio) da partícula a e o comprimento de onda λ.

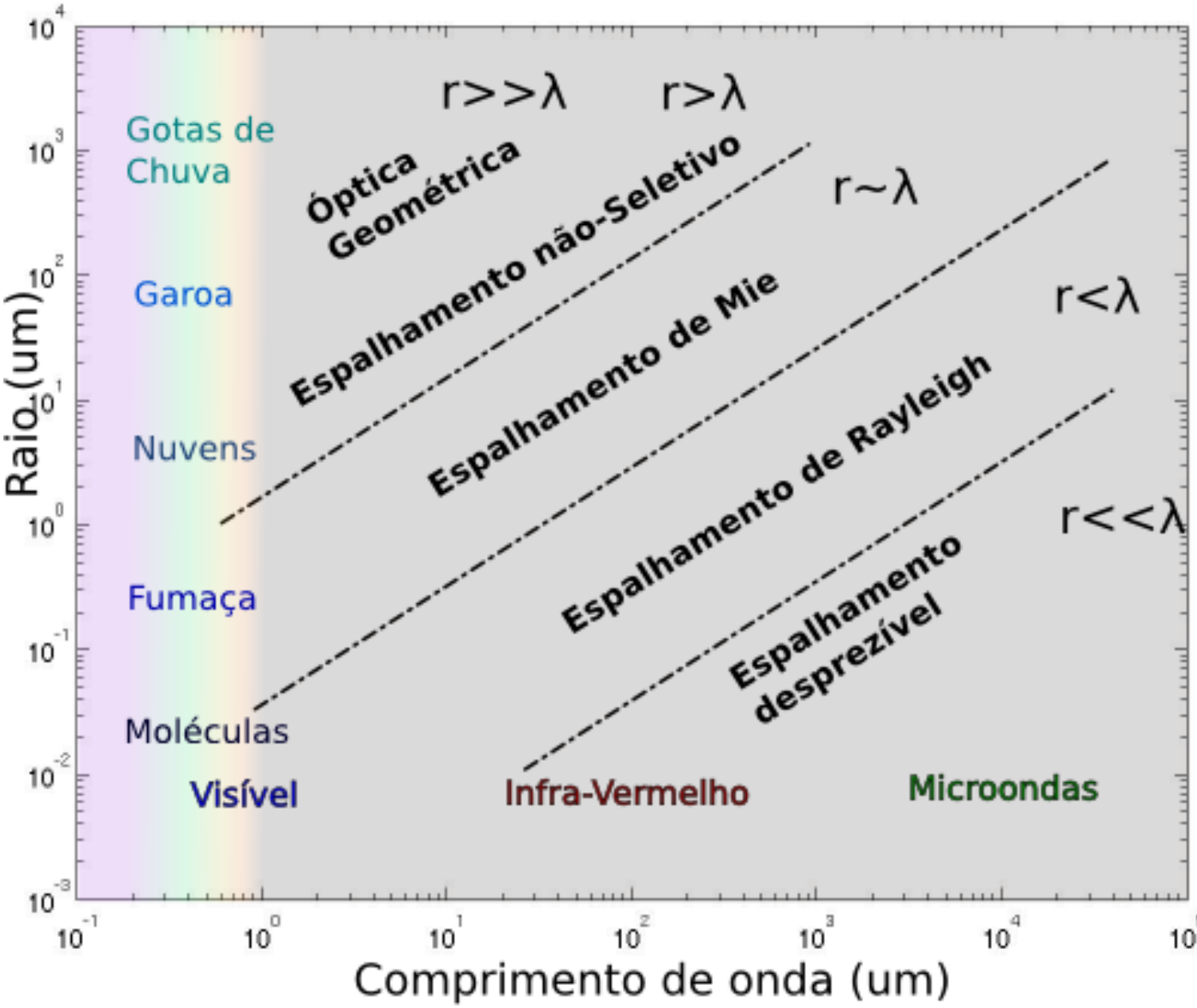
- $a < 0,1\lambda \quad \rightsquigarrow$ Espalhamento de Rayleigh, e.g.: moléculas na alta atmosfera e luz azul.

- $0,1\lambda < a < 10\lambda \quad \rightsquigarrow$ Espalhamento de Mie, e.g.: partículas de poluição na baixa atmosfera e luz vermelha.

- $a > 10\lambda \quad \rightsquigarrow$ Espalhamento não–seletivo, e.g.: neblina e luz branca.

LOS
Laboratório de Oceanografia por Satélites

Espalhamento



Espalhamento depende da relação entre raio médio *r* das partículas e λ.

Efeitos do espalhamento:

- Céu azul: Rayleigh.
- Pôr do Sol vermelho: Mie.
- Farol: não seletivo.

Muito Obrigado!