



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS

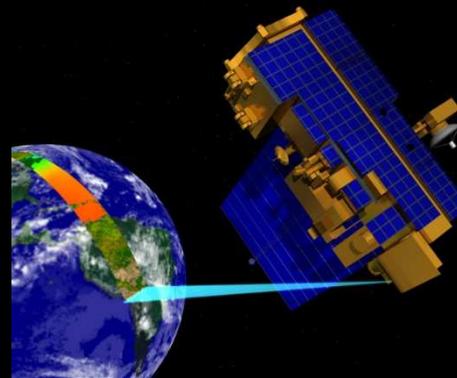


DISCIPLINA: LEB450 TOPOGRAFIA E GEOPROCESSAMENTO II
PROF. DR. CARLOS ALBERTO VETTORAZZI

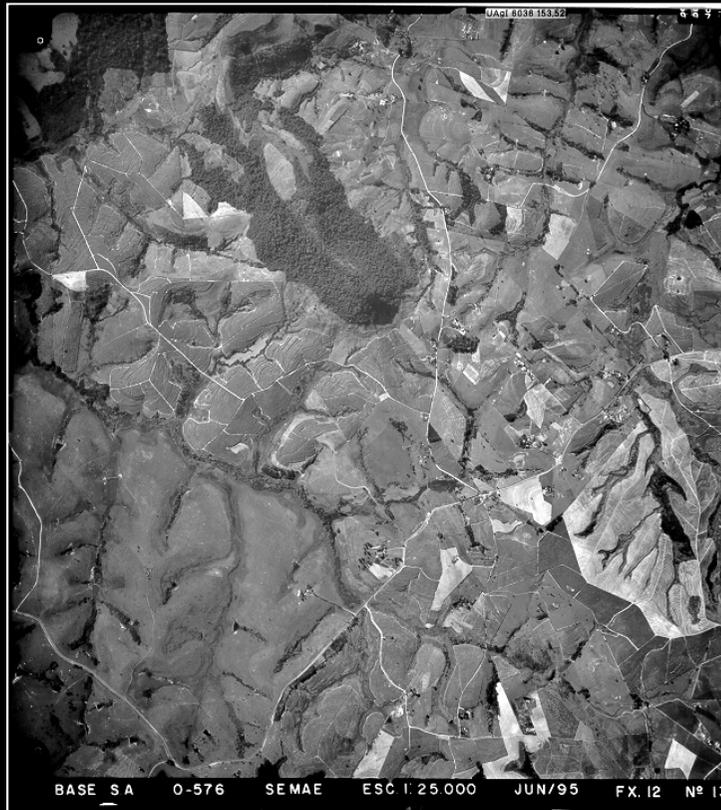
INTRODUÇÃO AO SENSORIAMENTO REMOTO

1 Introdução

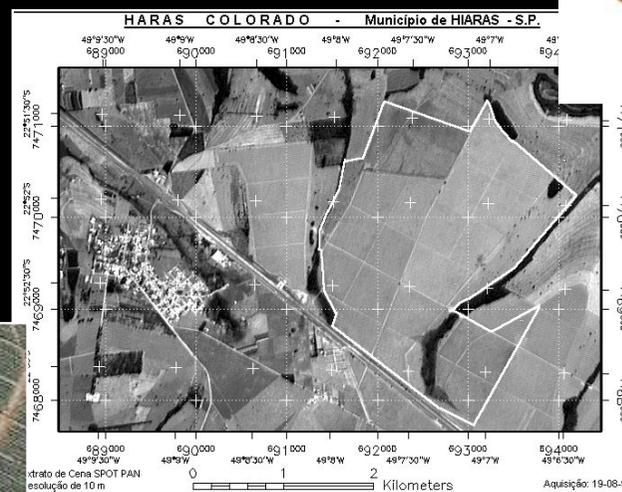
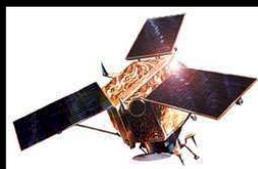
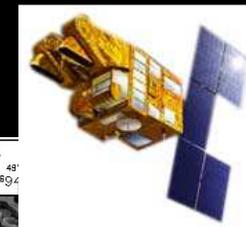
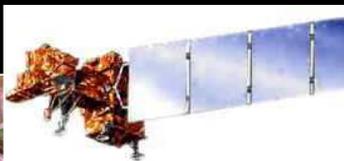
Sensoriamento Remoto é a ciência e a arte de se obterem informações sobre um objeto, área ou fenômeno, por meio da análise de dados coletados por aparelhos denominados sensores, que não entram em contato direto com os alvos em estudo (Crepani, 1983).



Imagens aéreas



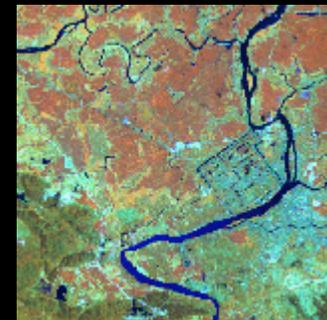
Imagens orbitais (de satélite)



Sensoriamento Remoto - Fases:

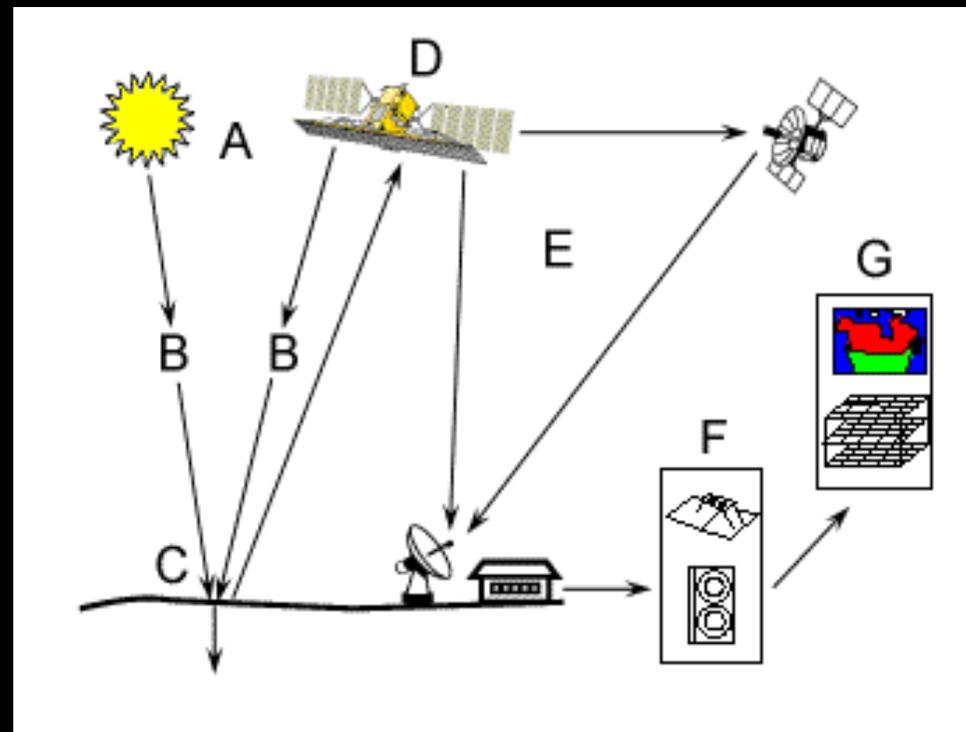
- **Aquisição** dos dados (detecção e registro)
- **Análise** dos dados (tratamento e interpretação)

Elementos da fase de aquisição: fonte de radiação; energia radiante; alvo; trajetória; e sensor.



Elementos do Sensoriamento Remoto

- A. Fonte de energia ou iluminação
- B. Interação entre a radiação e atmosfera terrestre
- C. Interação com o alvo
- D. Recepção de energia refletida pelo sensor
- E. Transmissão, recepção e processamento de imagem
- F. Interpretação e análise
- G. Aplicações



2 Energia Radiante

Parâmetros utilizados na **identificação e medição de características dos alvos** no Sensoriamento Remoto:

1. Variações nos campos de força da Terra, representados pelo magnetismo e pela gravidade (Magnetometria e Gravimetria);

2. Propagação de ondas acústicas (Sismologia);

 3. Variação na distribuição da energia eletromagnética.

2.1 Natureza da Radiação

ENERGIA é a capacidade de produzir trabalho.

Formas de energia: química; elétrica; mecânica etc.

No decurso da produção de trabalho a energia é transferida de um corpo a outro, ou de um local do espaço a outro.

A forma de energia especialmente importante para o SR é a **energia radiante** ou **energia eletromagnética** ou **radiação eletromagnética (REM)** (exemplo mais conhecido e importante para nós é a radiação solar).

Modelos que descrevem a REM:

a) Modelo Corpuscular

b) Modelo Ondulatório

a) **Modelo Corpuscular**

Costuma ser usado quando se tratam dos processos de absorção e emissão de REM.

Este modelo, proposto por Max Planck, em 1900, afirma que a energia é emitida, absorvida e propagada, não de forma contínua, mas sim em pequenas parcelas discretas de energia chamadas **quanta** ou **fótons**.

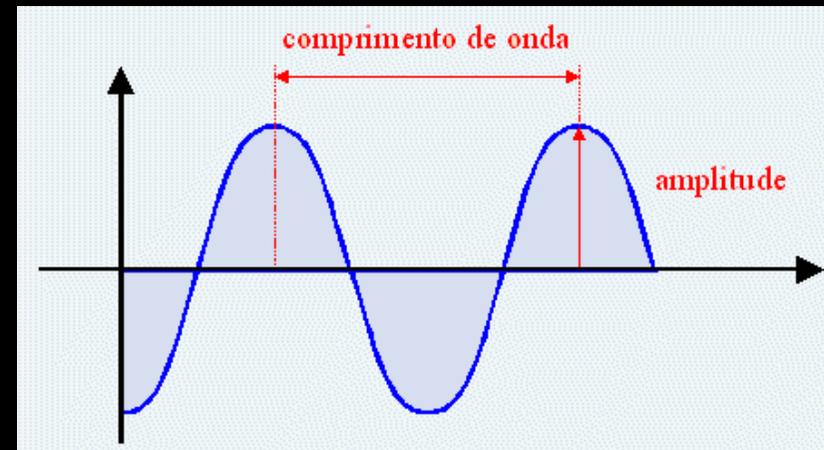
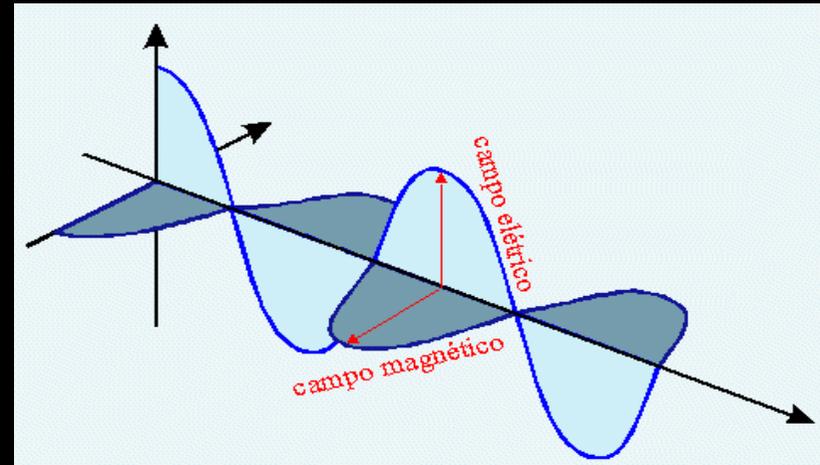
b) Modelo Ondulatório

Conveniente quando se tratar da propagação da REM de um ponto a outro do espaço.

Propagação da energia por meio de ondas, compostas por dois campos: um elétrico e outro magnético, perpendiculares entre si, deslocando-se à velocidade da luz.

Composição da radiação eletromagnética:

- campo elétrico
- campo magnético



À REM pode-se atribuir um **comprimento de onda** e uma **frequência**, que estão relacionados entre si e com a **velocidade de propagação** pela equação:

$$c = \lambda \cdot f$$

Sendo:

c = velocidade de propagação, em unidades de velocidade, p.ex. m/s

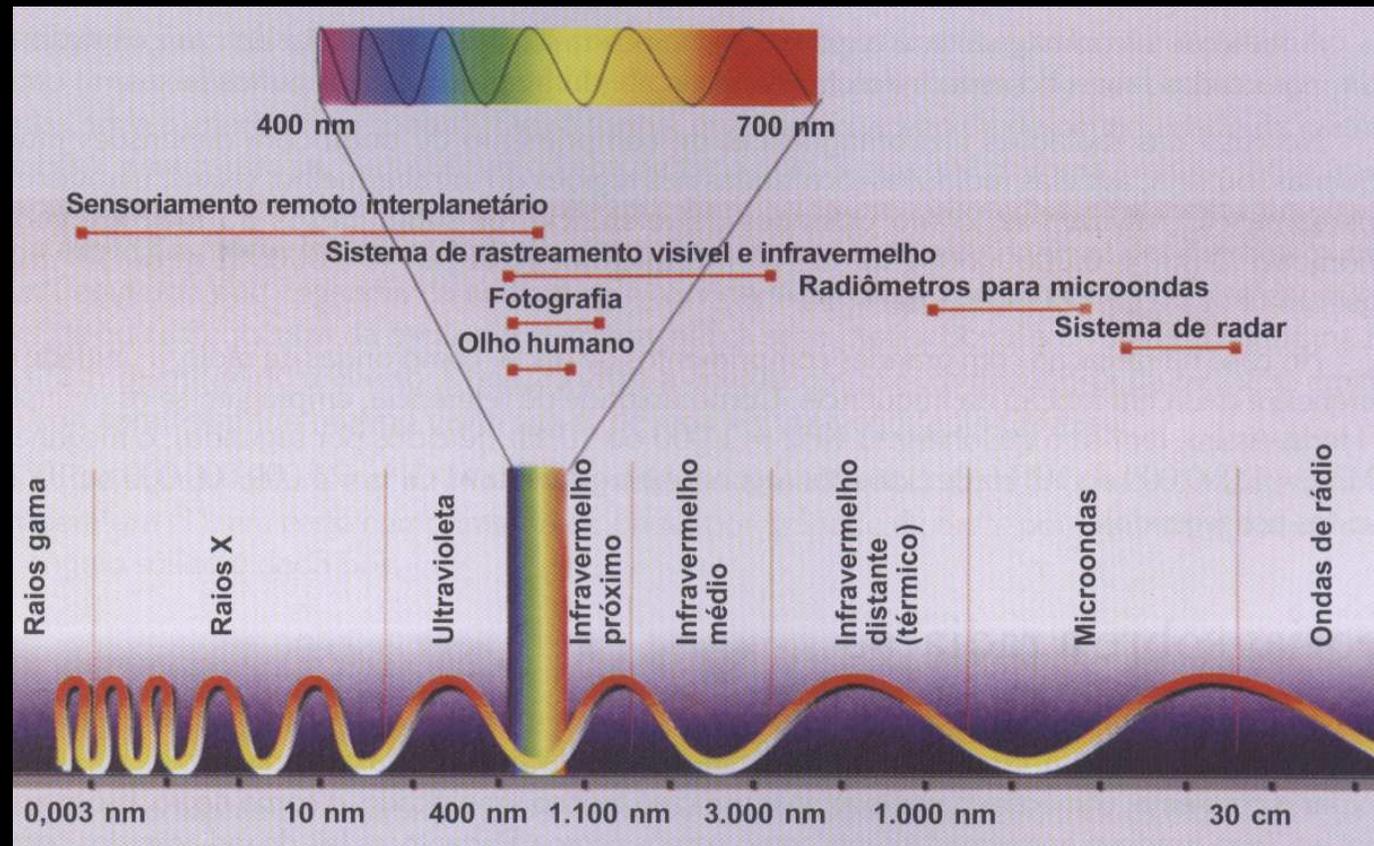
$$c \sim 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

λ = comprimento de onda (em unidades de comprimento, p.ex. m)

f = frequência (ciclos/s ou hz)

2.2 Espectro Eletromagnético de Energia

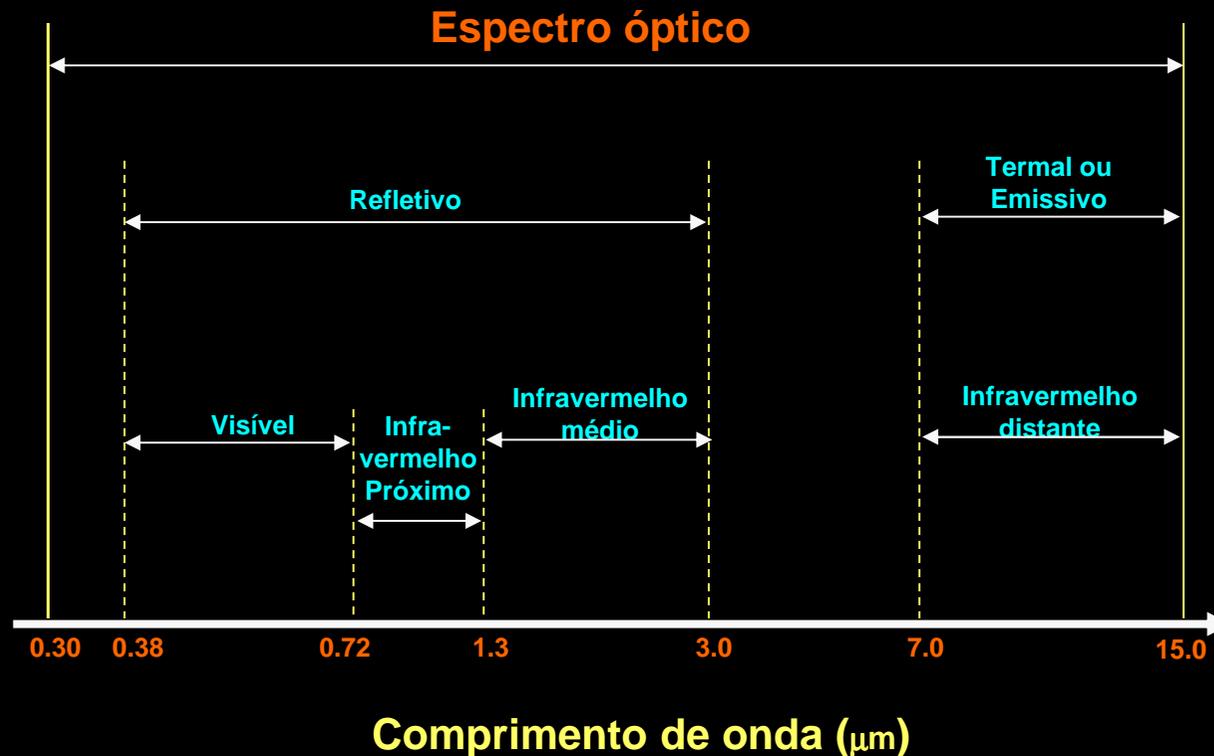
É a **representação gráfica da distribuição da REM** segundo seu comprimento de onda ou frequência (embora não existam limites rígidos entre as diversas formas de REM).



Regiões do espectro a serem destacadas:

- **Ultravioleta** (forte atenuação atmosférica dificulta sua utilização em SR – $0,01\mu\text{m}$ a $0,38\mu\text{m}$)
- **Visível** ($0,38\mu\text{m}$ a $0,72\mu\text{m}$)
- **Infravermelho** ($0,72\mu\text{m}$ a 1mm)
- **Microondas** (1mm a 30cm)
- **Ondas de rádio** (de alguns centímetros a centenas de metros)

A faixa espectral que se estende de $0,3\mu\text{m}$ a $15\mu\text{m}$ é a mais usada em SR. Esta faixa é conhecida como **espectro óptico**, pois nela os componentes ópticos de reflexão e refração, tais como lentes, espelhos, prismas etc., podem ser usados para coletar e reorientar a REM.



2.3 Grandezas Radiométricas

Energia Radiante (Q): medida em Joules.

Fluxo Radiante (Φ): quantidade de energia radiante, por unidade de tempo, que flui por uma posição no espaço.

$$\Phi = \Delta Q / \Delta t \text{ (J/s ou W)}$$

Irradiância (E): densidade superficial do fluxo que irradia uma superfície.

$$E = \Delta \Phi / \Delta A \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Excitância (M): densidade superficial do fluxo refletido ou emitido por uma superfície.

$$M = \Delta \Phi / \Delta A \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Reflectância (ρ), absorptância(α) e transmitância(τ)

Quando a REM incidente interage com os alvos, três fenômenos podem ocorrer: reflexão, absorção e transmissão.

$$\phi_i = \phi_r + \phi_a + \phi_t$$

Normalizando-se a equação em relação ao fluxo incidente (ϕ_i), tem-se:

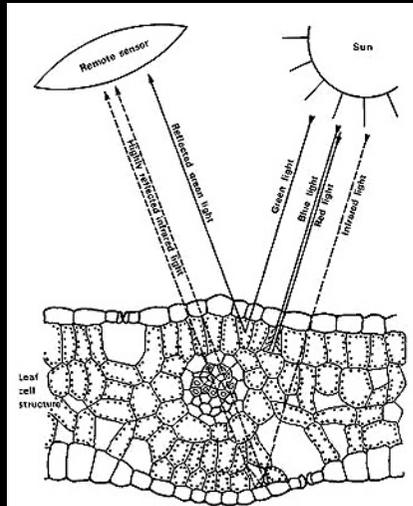
$$1 = \rho + \alpha + \tau$$

2.4 Grandezas Espectrais

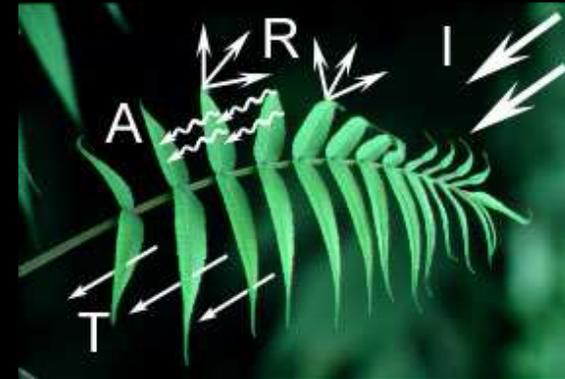
Todas as grandezas radiométricas definidas anteriormente podem ser avaliadas para pequenos intervalos sucessivos de comprimentos de onda, caracterizando espectralmente o fluxo considerado (p.ex.: radiância espectral, reflectância espectral etc.).

Usualmente as grandezas espectrais são representadas através de gráficos, onde aparecem registradas em função dos comprimentos de onda (p.ex.: gráficos de reflectância espectral).

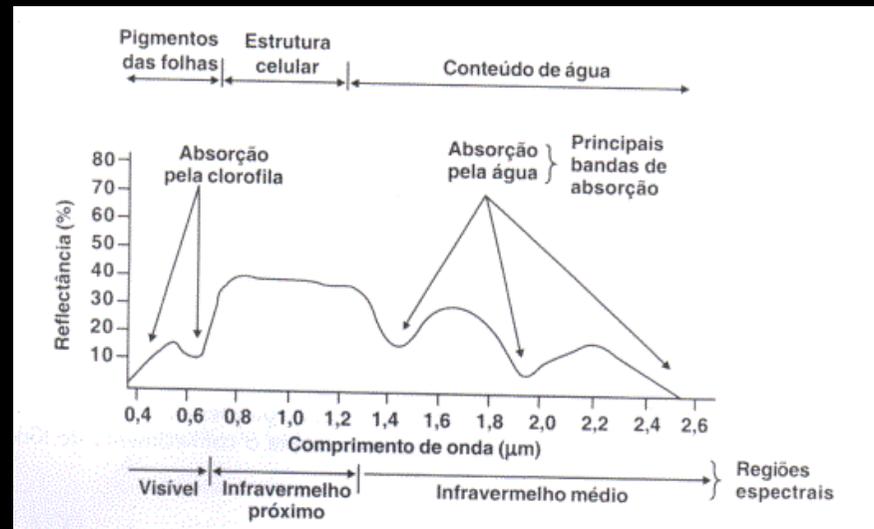
Interação REM x folha



Jensen (2000)

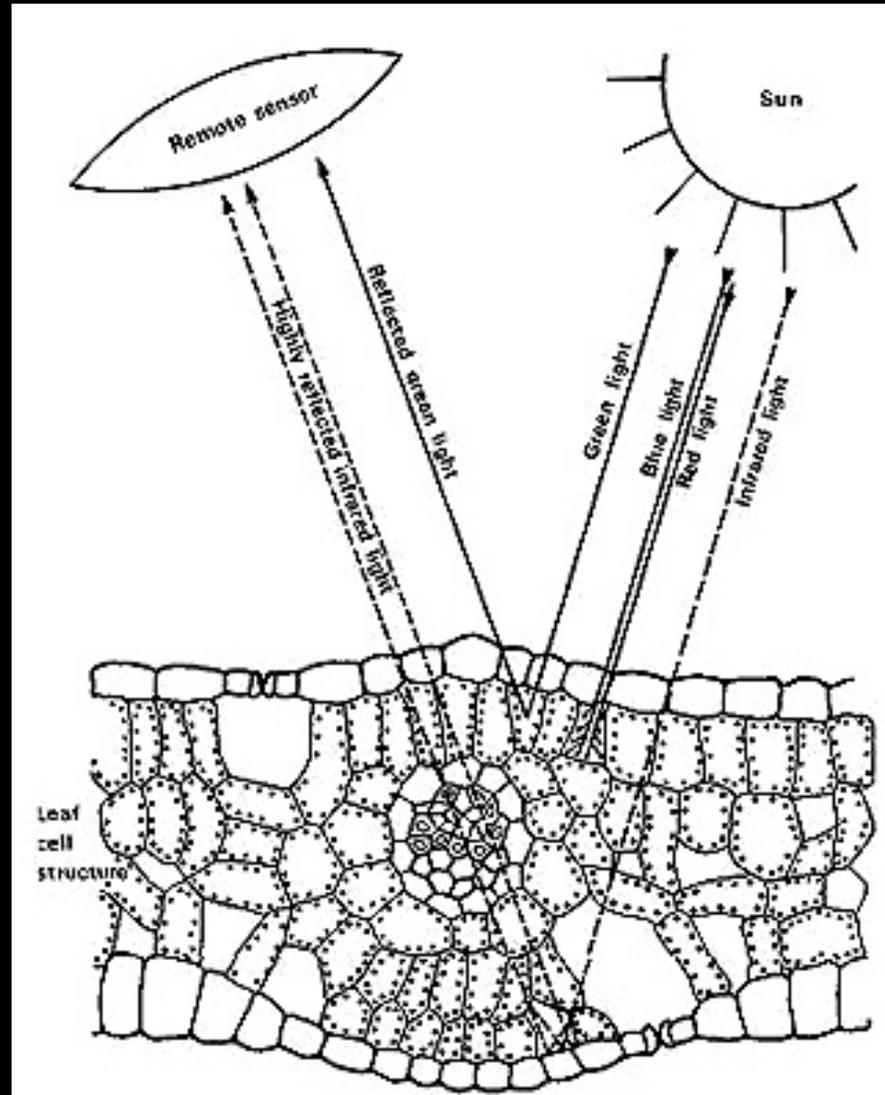


- ◆ I = Incidência
- ◆ R = Reflexão
- ◆ A = Absorção
- ◆ T = Transmissão

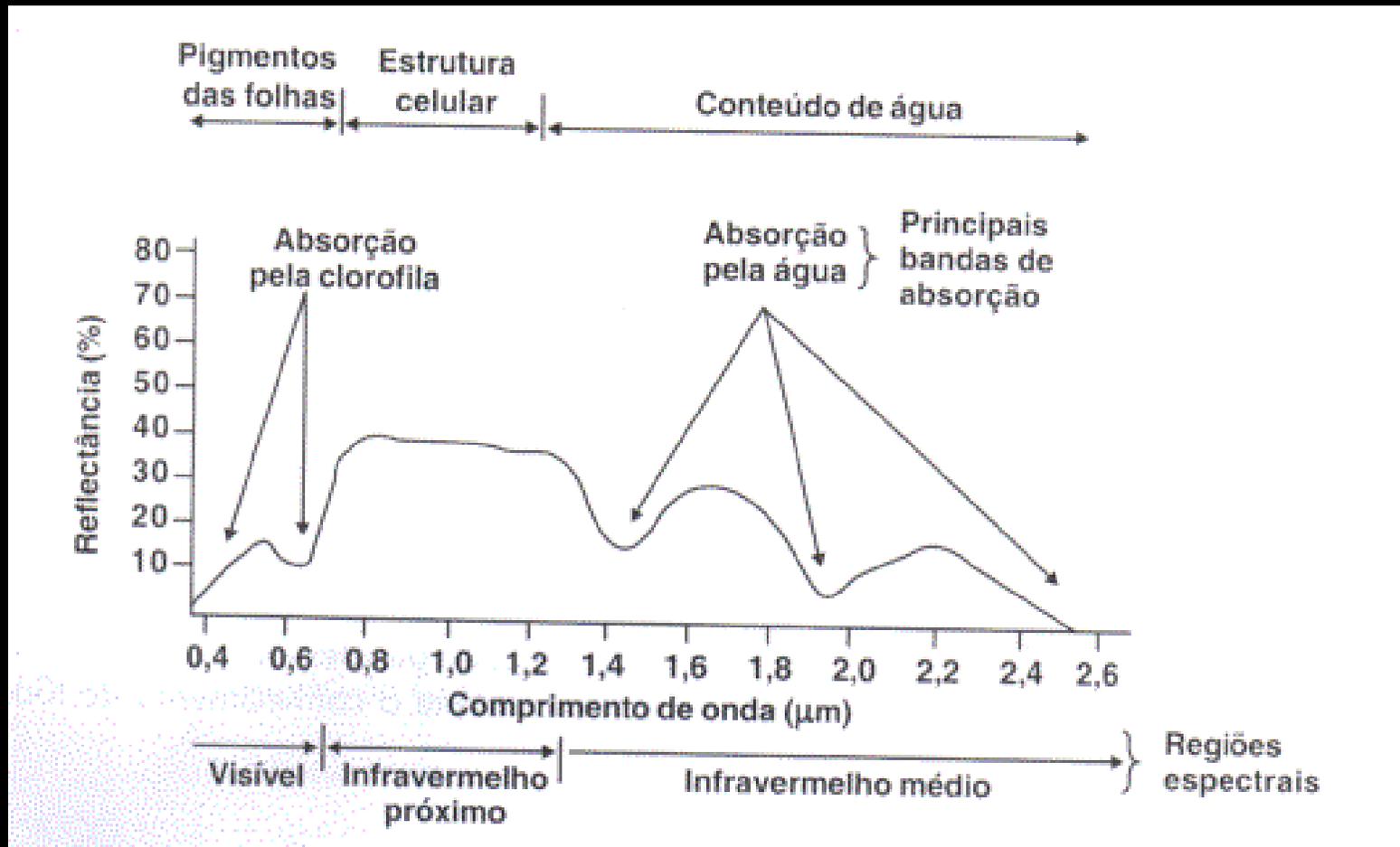


Moreira (2005)

Interação REM x folha



Interação REM x folha



3 Fontes de Radiação Eletromagnética

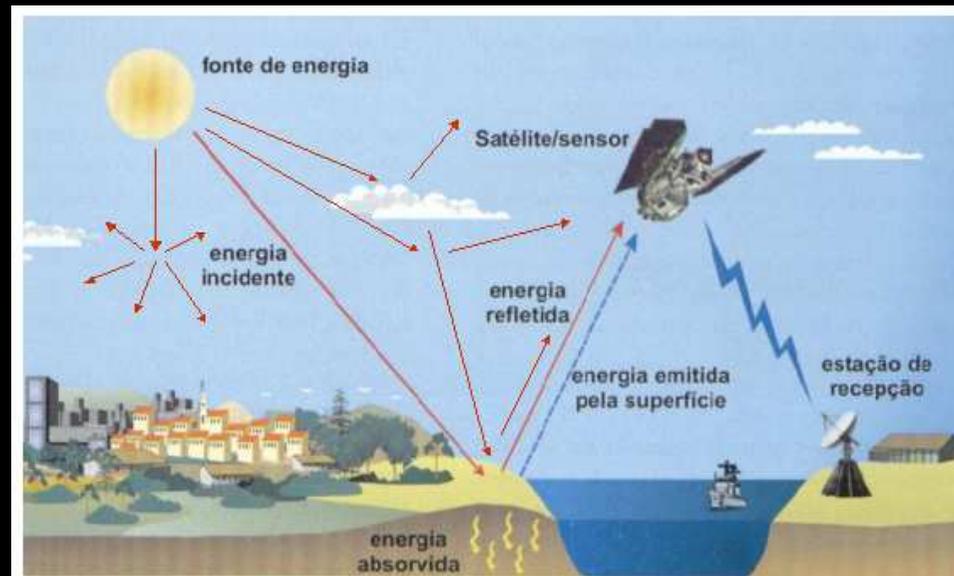
Fontes naturais: exemplo sol, solo etc.

Fontes artificiais: exemplo radar

4 Efeitos Atmosféricos na Propagação da REM

Sensoriamento Remoto:

Sol – atmosfera – alvo - atmosfera – sensor



Interação radiação solar/atmosfera/alvo/sensor.
Fonte: Adaptado de Florenzano (2002)

Os processos de atenuação mais importantes que afetam a propagação da REM pela atmosfera são a **absorção** e o **espalhamento**.

4.1 Absorção

A REM, ao se propagar pela atmosfera, é absorvida seletivamente pelos seus vários constituintes, tais como vapor d'água, ozônio, monóxido de carbono etc.

Dentro do espectro da faixa do visível, o ozônio é o principal atenuador por absorção, embora em muitos casos práticos essa absorção possa ser desprezada, por ser muito pequena.

4.2 Espalhamento

A REM ao interagir com a atmosfera, pelo processo de espalhamento, gerará um campo de luz difusa, que se propagará em todas as direções.

Há três tipos de espalhamento em função do tamanho dos elementos espalhadores e do comprimento de onda da radiação:

a) Espalhamento molecular ou Rayleigh ($\lambda > \phi$)

É produzido essencialmente pelas moléculas dos gases constituintes da atmosfera. Caracteriza-se pelo fato de sua intensidade ser inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda da radiação. Assim, a luz azul ($\lambda \cong 440\text{nm}$) será espalhada bem mais que a luz vermelha ($\lambda \cong 700\text{nm}$), explicando a coloração azulada do céu.



b) Espalhamento Mie ($\lambda \cong \phi$)

Ocorre quando o comprimento de onda das radiações é aproximadamente igual ao diâmetro das partículas em suspensão no meio. Pode-se observar este fato quando existem no ar partículas sólidas opacas ou líquidas transparentes como o pó e a névoa que, conforme sua concentração, provocam efeitos de espalhamento seletivo, resultando em zonas de cores diferentes, perceptíveis durante o nascer e o por-do-sol, junto ao horizonte.



c) Espalhamento não-seletivo ($\lambda < \phi$)

Pode ser verificado em condições de céu nublado, quando as partículas atingem diâmetros superiores ao comprimento de onda de qualquer componente da luz solar visível. Neste caso, a radiação de diferentes comprimentos de onda será espalhada com igual intensidade, conferindo a aparência esbranquiçada ao céu e às nuvens.



5 Superfícies

Um dos processos de maior relevância na interação da REM com a superfície dos alvos é a reflexão. Embora geralmente se considere a reflexão como um fenômeno essencialmente de superfície, deve-se ressaltar que, dependendo do comprimento de onda da radiação e das propriedades físicas do material, ela é resultante da interação da radiação com camadas de subsuperfície.

Com relação à distribuição espacial da energia refletida por uma superfície, podem-se considerar dois casos: **reflexão especular**, causada por superfícies lisas, e a **reflexão difusa**, causadas por superfícies rugosas.

Critério de Rayleigh :

Considera-se uma superfície como lisa, para determinado comprimento de onda λ da radiação incidente no ângulo θ , quando suas irregularidades médias são de magnitude h, dada por:

$$h \geq \lambda / 8 \cdot \cos \theta$$

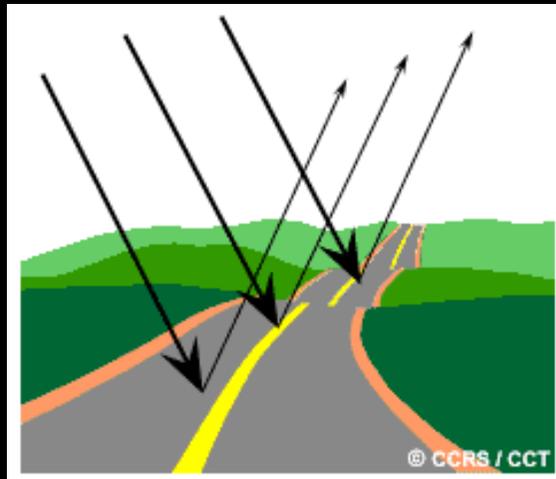
Superfície arenosa:

rugosa na faixa do visível

lisa na faixa das microondas

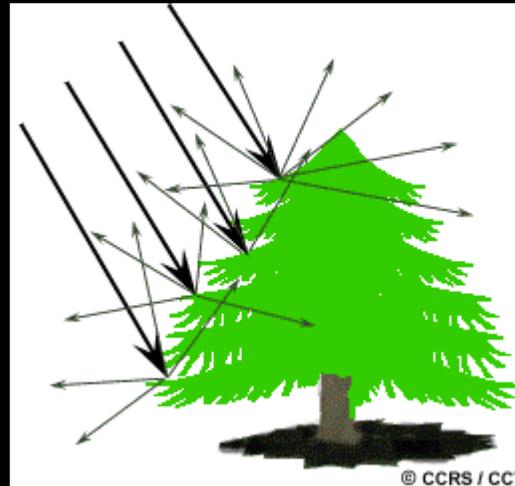
5.1 Reflexão especular

Quando a superfície de um alvo for considerada lisa, segundo o critério de Rayleigh, ocorre a reflexão especular. Neste caso, as radiações incidente e refletida, e a normal à superfície, no ponto de incidência, estão todas no mesmo plano e, além disso, a radiação é refletida segundo o mesmo ângulo de incidência.



5.2 Reflexão difusa

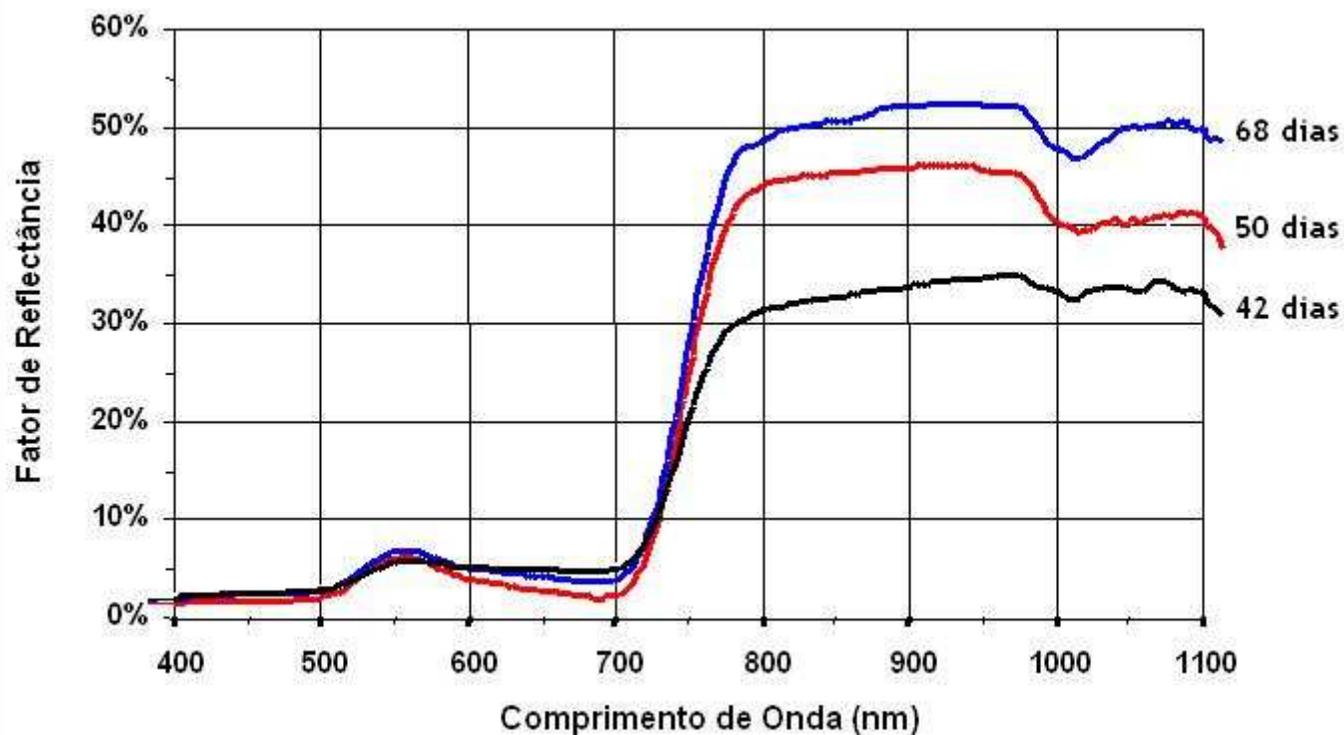
Ocorre quando a superfície é rugosa, segundo o critério de Rayleigh. Ao contrário da reflexão especular, a superfície pode refletir radiação para todas as direções, gerando um campo de luz difusa. Pode-se ter, inclusive, radiação sendo refletida na mesma direção de incidência (**retroespalhamento**), fenômeno de grande importância em aplicações de radar.



5.3 Reflectância

Medição simplificada: fator de reflectância bidirecional (FRB), que é a relação entre a radiância espectral a um determinado ângulo em relação ao objeto de interesse e um refletor difuso a um ângulo, dentro da cena.





Fator de reflectância na região do visível e infravermelho próximo, obtido sobre o dossel de feijão irrigado. Fonte: Cunha & Angulo Filho (2000)

