



PRINCÍPIOS FÍSICOS DO SENSORIAMENTO REMOTO

Peterson Ricardo Fiorio

Definição:

Sensoriamento Remoto

“ É a ciência ou a arte de se **obterem informações** sobre um objeto, área ou fenômeno, através de dados coletados por aparelhos denominados **sensores**, que não entram em contato direto com os alvos em estudo (Crepani, 1983)”



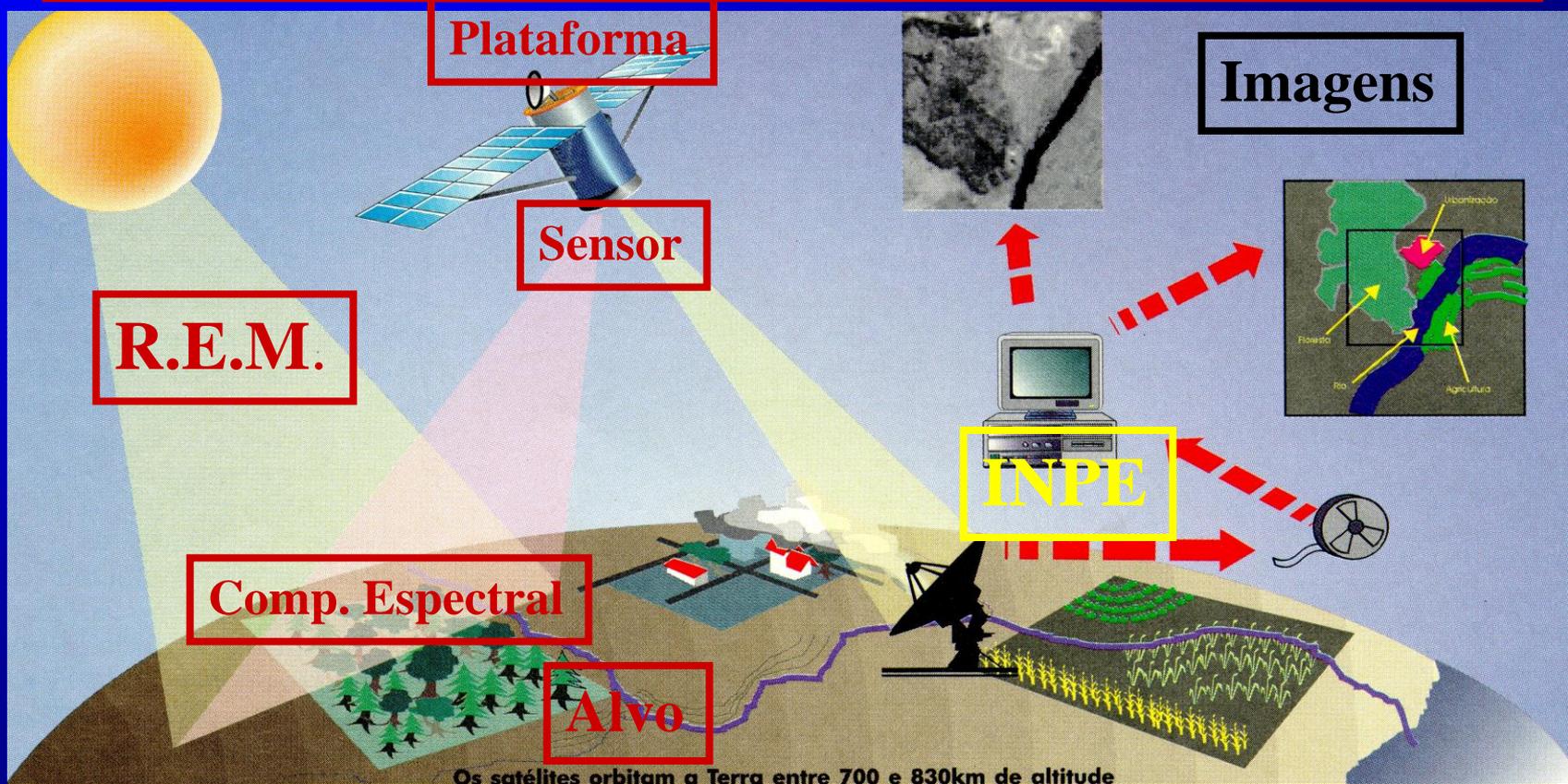
Histórico

- ⇒ **Origem vinculada a fotografia aérea**
- ⇒ **Podemos dividir em dois períodos:**
 - 1860 - 1960 (fotografias aéreas)**
 - 1960 - hoje (fotografias e imagens)**
- ⇒ **Desenvolvimento do Sensoriamento Remoto:**
 - Matemática; Física; Química**
 - Biologia; Ciências da Terra e**
 - Computação.**



Princípios Físicos do SR

Aquisição/Armazenamento/Processamento



Princípios Físicos do SR

Natureza da Radiação Eletromagnética (REM)

Transferencia de Energia:

⇒ Condução

transferencia de energia cinética de átomos ou moléculas
pelo contato entre elas

⇒ Convecção

é o processo de **deslocamento físico** da matéria em gases ou líquidos

⇒ Radiação

é a energia transferida através do espaço **sem necessitar**
de um meio físico

SR - radiação - emitida por qualquer corpo (0 graus absoluto)



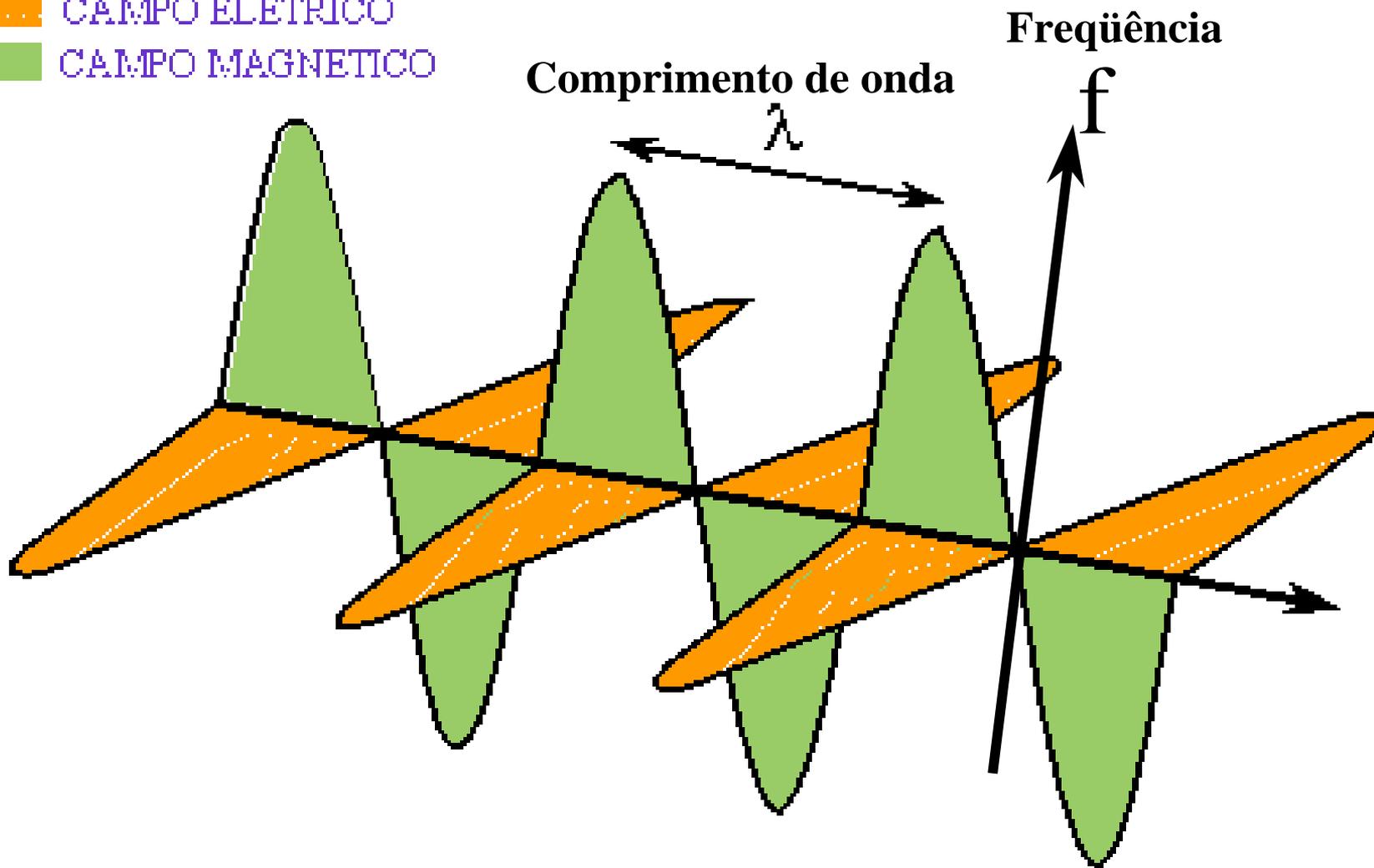
Energia Radiante ou Radiação Eletromagnética (REM)

- ➔ É a energia transportada em forma de ondas eletromagnéticas, sendo de especial importância para o SR pois não necessita de um meio físico para se propagar.
- ➔ É através dela que uma informação é transmitida do objeto ao sensor.
- ➔ Ela é gerada pelas transformações de outras formas de energia tais como: cinética, química, elétrica, magnética e nuclear.
- ➔ Capaz de realizar trabalho, provocar aquecimento e mudança de estado físico



Radiação Eletromagnética (REM)

 CAMPO ELETRICO
 CAMPO MAGNETICO



Radiação Eletromagnética (REM)

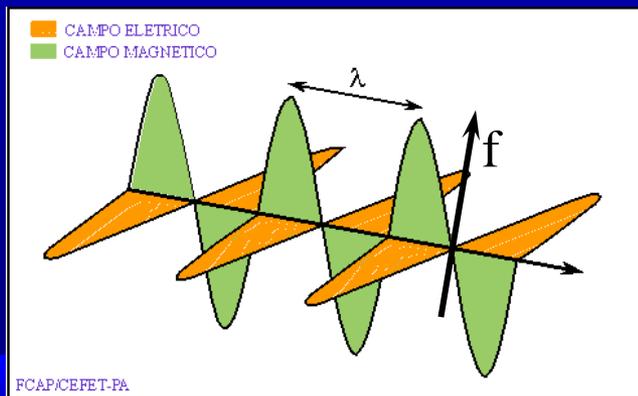
⇒ Modelo Ondulatório (Maxwell, Hooke)

“a propagação da energia se faz através de movimentos ondulatórios, de um ponto a outro no espaço com velocidade $3 \cdot 10^8$ m/s”

λ - **Comprimento de onda**: é a distância entre dois máximos sucessivos (unidade metros)

f - **Frequência**: é o número de ondas que passam por um ponto do espaço num determinado tempo (unidade Hertz)

C - **velocidade de propagação**



$$\uparrow \downarrow \lambda = \frac{C}{\downarrow \uparrow f}$$

Radiação Eletromagnética (REM)

⇒ Modelo Corpuscular (Planck, Einstein)

“preconiza que a energia se propaga pela emissão de um fluxo de fótons que se movem a velocidade da luz no vácuo ($3 \cdot 10^8$ m/s)”
(processos de **absorção e emissão** da energia radiante)

$$E = h \cdot f$$

E - energia dos fótons

h - constante de Planck (6.626×10^{-34} watts)

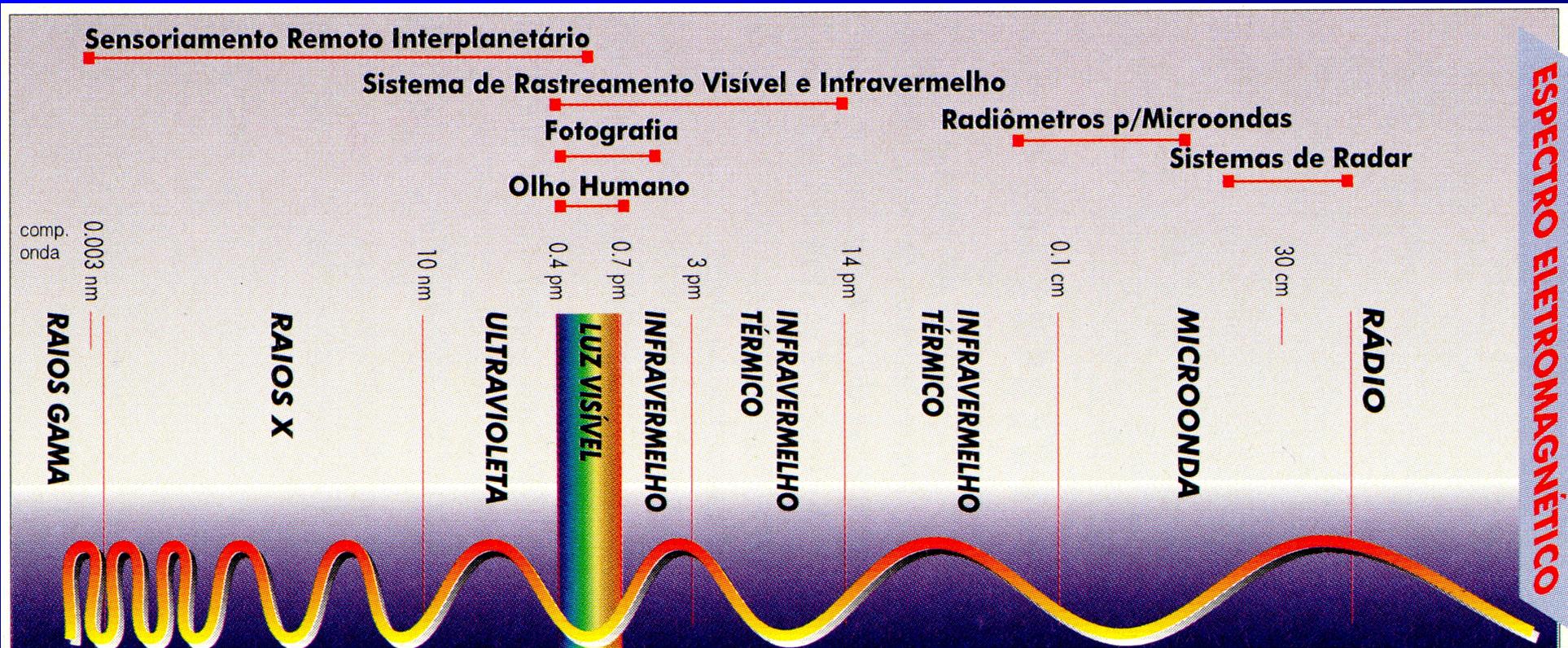
f - frequência

$$\lambda = \frac{h \cdot C}{E}$$

“quando a intensidade da radiação (energia incidente por segundo por unidade de área), de uma dada frequência é aumentada, mais fótons são recebidos por uma superfície, mas a energia de cada um deles não aumenta”



Espectro Eletromagnético



Comportamento espectral de Alvos



Espectro Eletromagnético

- ⇒ **< 0.003 nm** - Raios Gama: Origem nuclear, alto poder de penetração;
- ⇒ **0,003 - 100nm** - Raios X: Altamente penetrante, origem atômica;
- ⇒ **100 - 400nm** - Ultravioleta: Atenuação pela atmosfera (dificulta seu uso - poluição marinha e detecção de minerais);
- ⇒ **400 - 760nm** - Luz visível: Sensação de visão ao olho humano;
- ⇒ **760 - 3.000nm** - Infravermelho: absorvido pela maioria das substâncias produzindo aquecimento, minerais de argila e radicais OH;
- ⇒ **3.000 - 15.000nm** - Infravermelho térmico;
- ⇒ **15.000nm - 0.1 cm** - Infravermelho distante;
- ⇒ **0.1cm - 30 cm** - Microondas: Radar, pouca atenuação da atmosfera;
- ⇒ **> 30cm** - Ondas de Rádio: comunicação, longas distâncias (↑ f; ↓ λ)



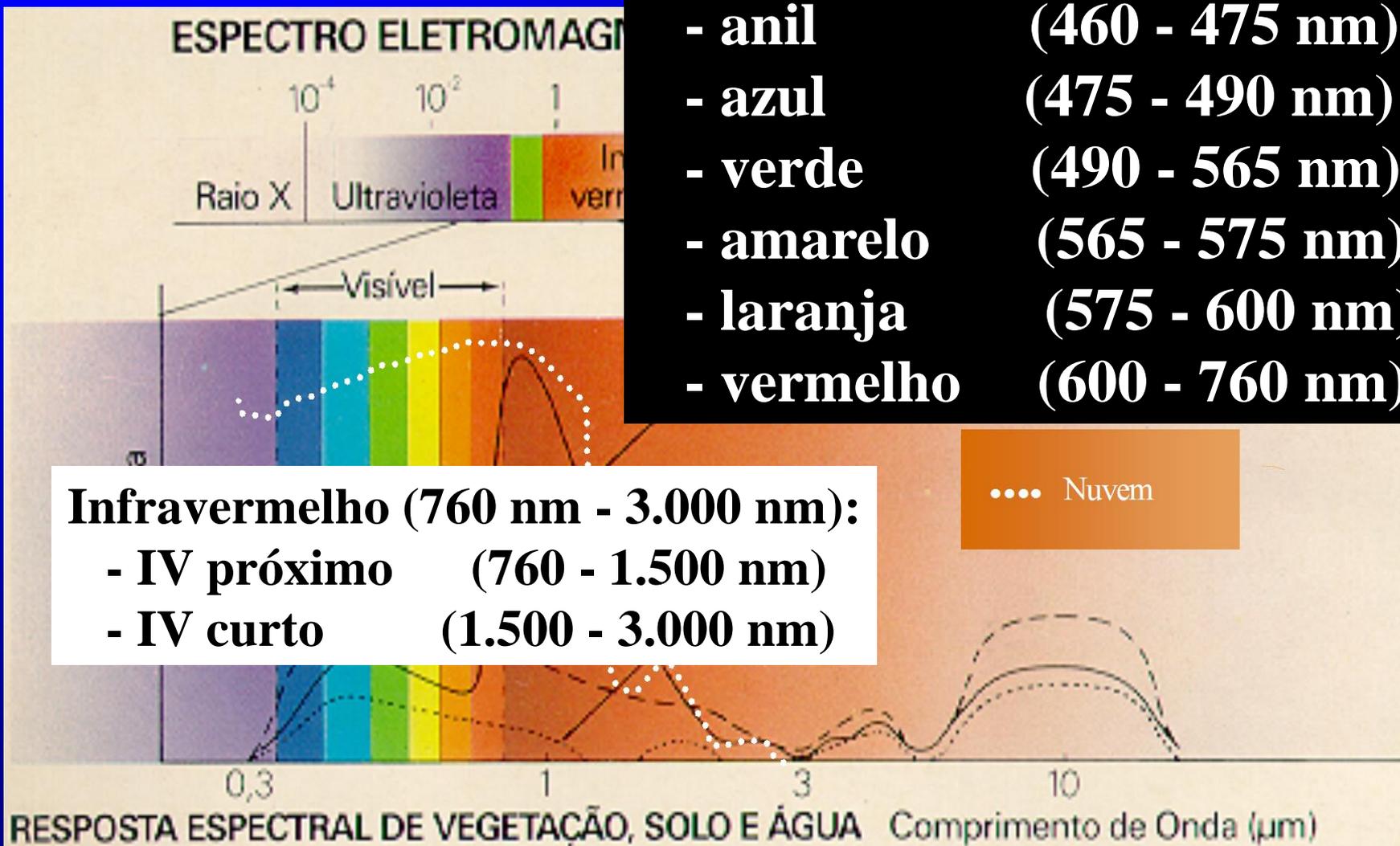
Luz Visível (400nm - 760 nm):

- violeta (400 - 460 nm)
- anil (460 - 475 nm)
- azul (475 - 490 nm)
- verde (490 - 565 nm)
- amarelo (565 - 575 nm)
- laranja (575 - 600 nm)
- vermelho (600 - 760 nm)

Infravermelho (760 nm - 3.000 nm):

- IV próximo (760 - 1.500 nm)
- IV curto (1.500 - 3.000 nm)

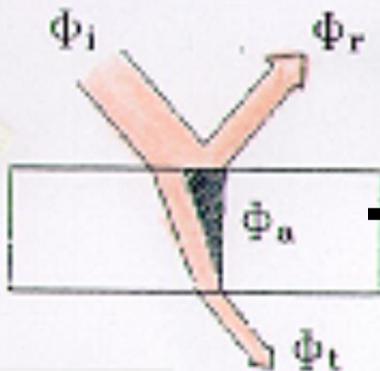
..... Nuvem



Interação da energia eletromagnética com o objeto terrestre

➔ absorção ➔ reflexão ➔ transmissão

Fluxo incidente = fluxo refletido + fluxo absorvido + fluxo transmitido



$$\Phi_i = \Phi_r + \Phi_a + \Phi_t$$

IR R G B



$$\Phi_i = \Phi_i + \Phi_i + \Phi_i$$

Reflectância

Absortância

Transmitância

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

COMPRIMENTO DE ONDA

Reflectância

A Reflectância é uma propriedade do alvo, não sendo possível de se medir com equipamentos comuns. Dessa forma, utiliza-se de um artifício matemático, para caracterizar a propriedade de um alvo) conhecido como Fator de Reflectância.

Fator de Reflectância

O fator de reflectância é uma relação existente entre a radiância do alvo e a radiância de uma placa padrão (Superfície Lambertiana - 100 % de reflectância)



Princípios Físicos do SR

Fator de Reflectância

$$FR = L_{\text{alvo}} / L_{\text{placa}}$$

L - radiância

$$\frac{\rho_a \cdot E_i}{\pi} / \frac{\rho_p \cdot E_i}{\pi}$$

Para as mesmas condições de
(geometria, iluminação e pequeno
espaço de tempo) temos:

$$FR = \rho_a / \rho_p$$

$$FR \cong \rho_a$$

Placa (sup. Lambertiana):
100% reflectância = 1



Atenuação Atmosférica

- A energia eletromagnética ao atravessar a atmosfera é absorvida, refletida e espalhada pelos gases presentes nela.
- Os gases atmosféricos absorve espectralmente a REM.



Processos de Atenuação

- **Absorção:** a REM é seletivamente absorvida pela atmosfera através de seus vários constituintes (ex.: ozônio, no visível) \Rightarrow janelas atmosféricas
- **Espalhamento:** a energia é modificada pela mudança de direção
 - a) **Espalhamento molecular (ou Rayleigh) = $\lambda \gg d$**
 d = diâmetro da partícula
espalhamento $\sim 1/\lambda^4$
 - b) **Espalhamento Mie:**
 $\lambda \sim d$ espalhamento $\sim 1/\lambda^2$ ou $1/\lambda$
 - c) **Espalhamento não-seletivo:**
 $\lambda \ll d \Rightarrow$ todos os λ 's são espalhados igualmente

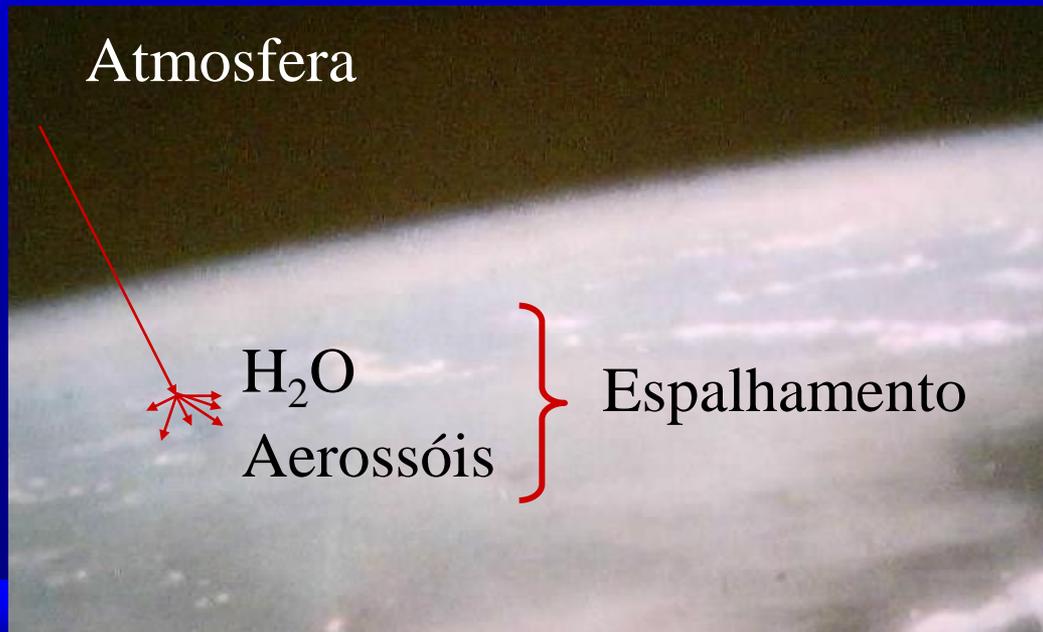


Fatores que interferem no comportamento espectral medido dos alvos

⇒ Parâmetros atmosféricos

Os principais fatores que interferem na energia refletida do alvo que atingem o sensor são:

- ⇒ **UMIDADE:** relação direta nos fenômenos de absorção e espalhamento de determinado λ pela atmosfera.
- ⇒ **AEROSSÓIS:** Contribuem para o espalhamento



Molecular (Rayleigh)

$$\lambda > \emptyset$$

Mie

$$\lambda \approx \emptyset$$

Não Seletivo

$$\lambda < \emptyset$$

Fatores que interferem no comportamento espectral medido dos alvos

⇒ Parâmetros atmosféricos - espalhamento

Molecular (Rayleigh)

$$\lambda > \emptyset$$

Espalhamento devido aos gases que se encontram na atmosfera.
Quando o menor λ maior o espalhamento.



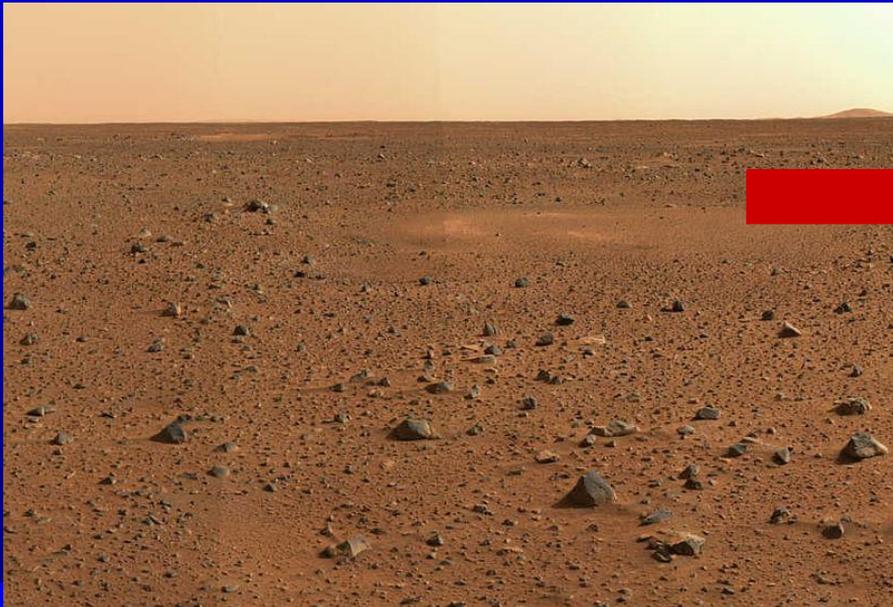
Fatores que interferem no comportamento espectral medido dos alvos

⇒ Parâmetros atmosféricos - espalhamento

Mie

$$\lambda \equiv \varnothing$$

O comprimento de onda da radiação é aproximadamente igual ao diâmetro das partículas em suspensão no ar promovendo assim um espalhamento seletivo.



Céu avermelhado em época de seca dando a maior concentração de partículas no ar no tamanho do

λ vermelho.



Fatores que interferem no comportamento espectral medido dos alvos

⇒ Parâmetros atmosféricos - espalhamento

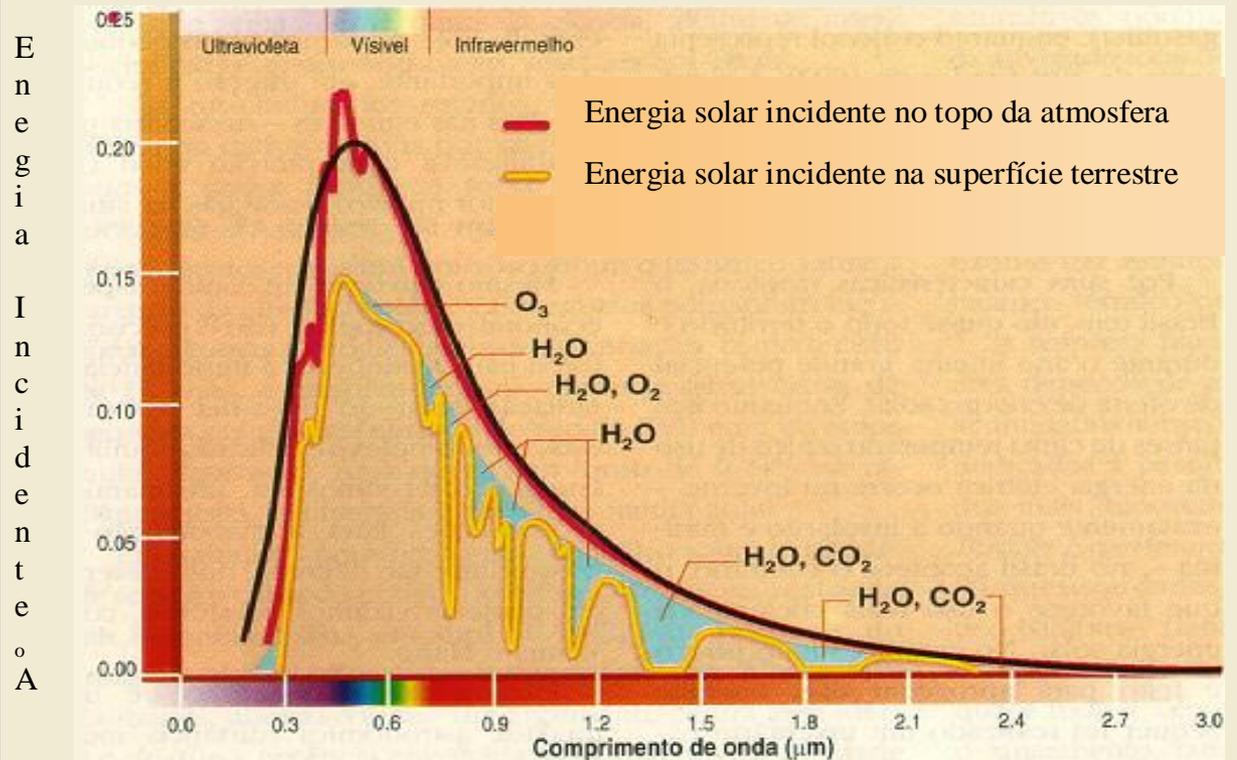
Não Seletivo

$$\lambda < \phi$$

Ocorre quando o diâmetro das partículas são maiores que os comprimentos de ondas de qualquer componente da luz solar visível. Neste caso a radiação de diferentes comprimentos de onda serão espalhadas em todas as direções com igual intensidade.



Radiação solar

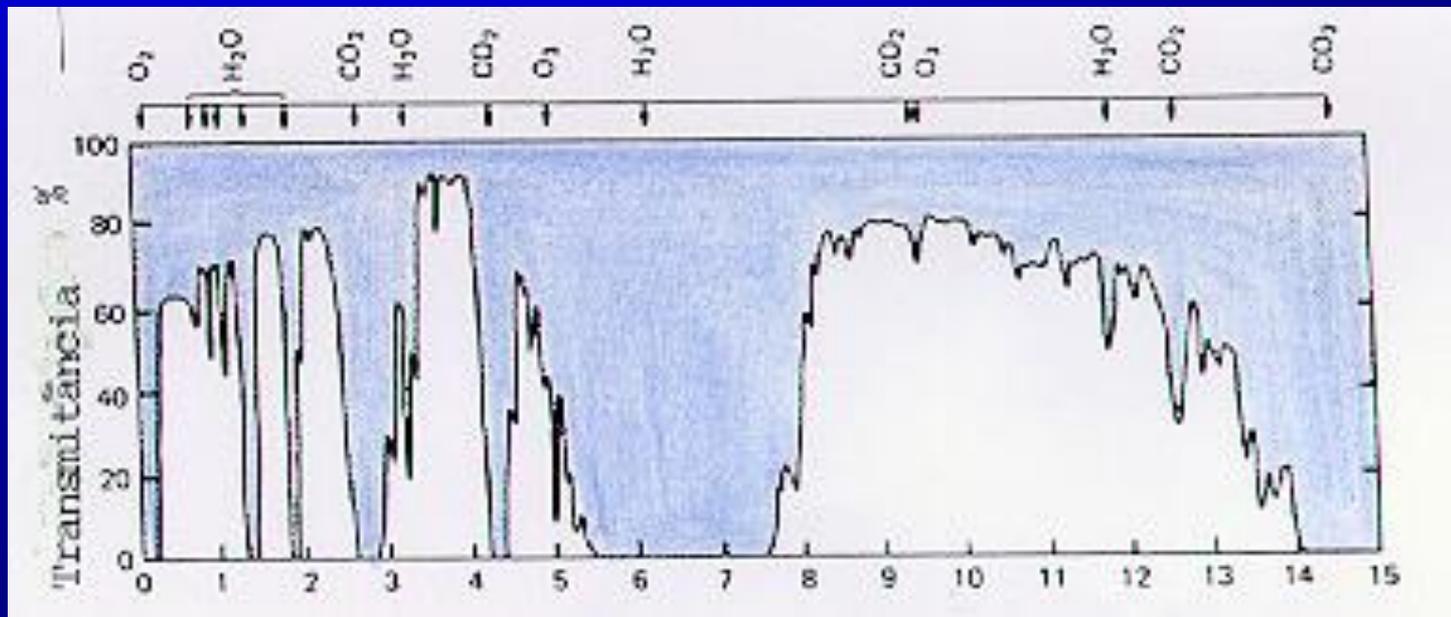


- ✦ 99% da energia solar que atinge a Terra encontra-se na faixa de 0,28 a 4 μm. (70% → 0,3 a 0,7 μm)
- ✦ A máxima irradiância espectral ocorre em 0,55 μm, que corresponde à máxima eficiência visual (cor verde);

Atenuação Atmosférica

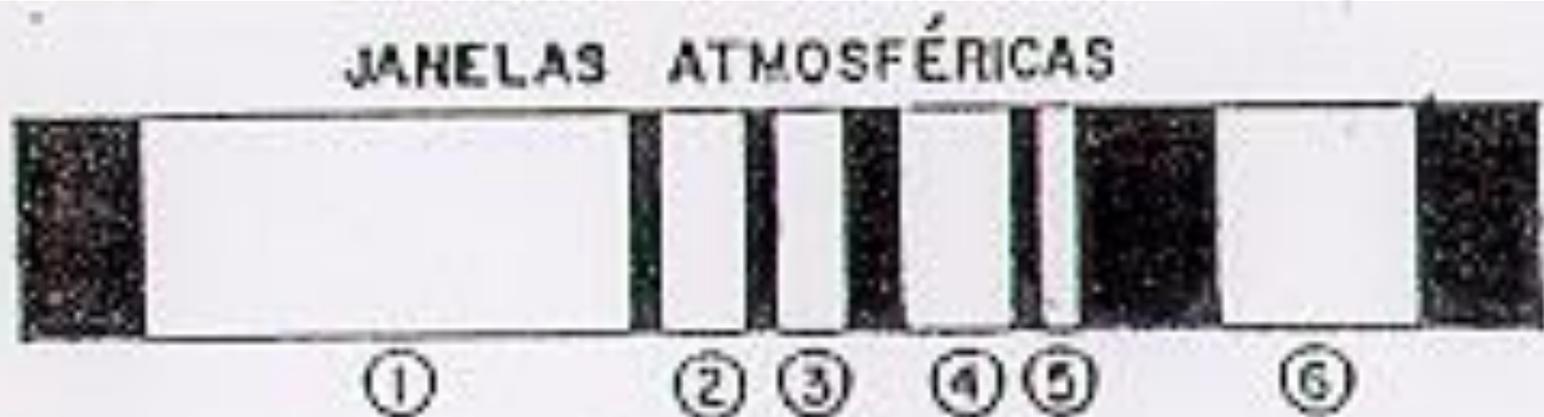
Janelas Atmosféricas: regiões do espectro eletromagnético onde a absorção atmosférica é muito pequena. Nestas regiões a atmosfera é quase transparente à energia eletromagnética.

Transmitância Espectral da Atmosfera Terrestre



Comprimento de Onda (μm)

Janelas Atmosféricas



① 0,3 – 1,3 μm

② 1,5 – 1,8 μm

③ 2,0 – 2,6 μm

④ 3,0 – 3,6 μm

⑤ 4,2 – 5,0 μm

⑥ 7,0 – 15,0 μm

Princípios Físicos do Sensoriamento Remoto

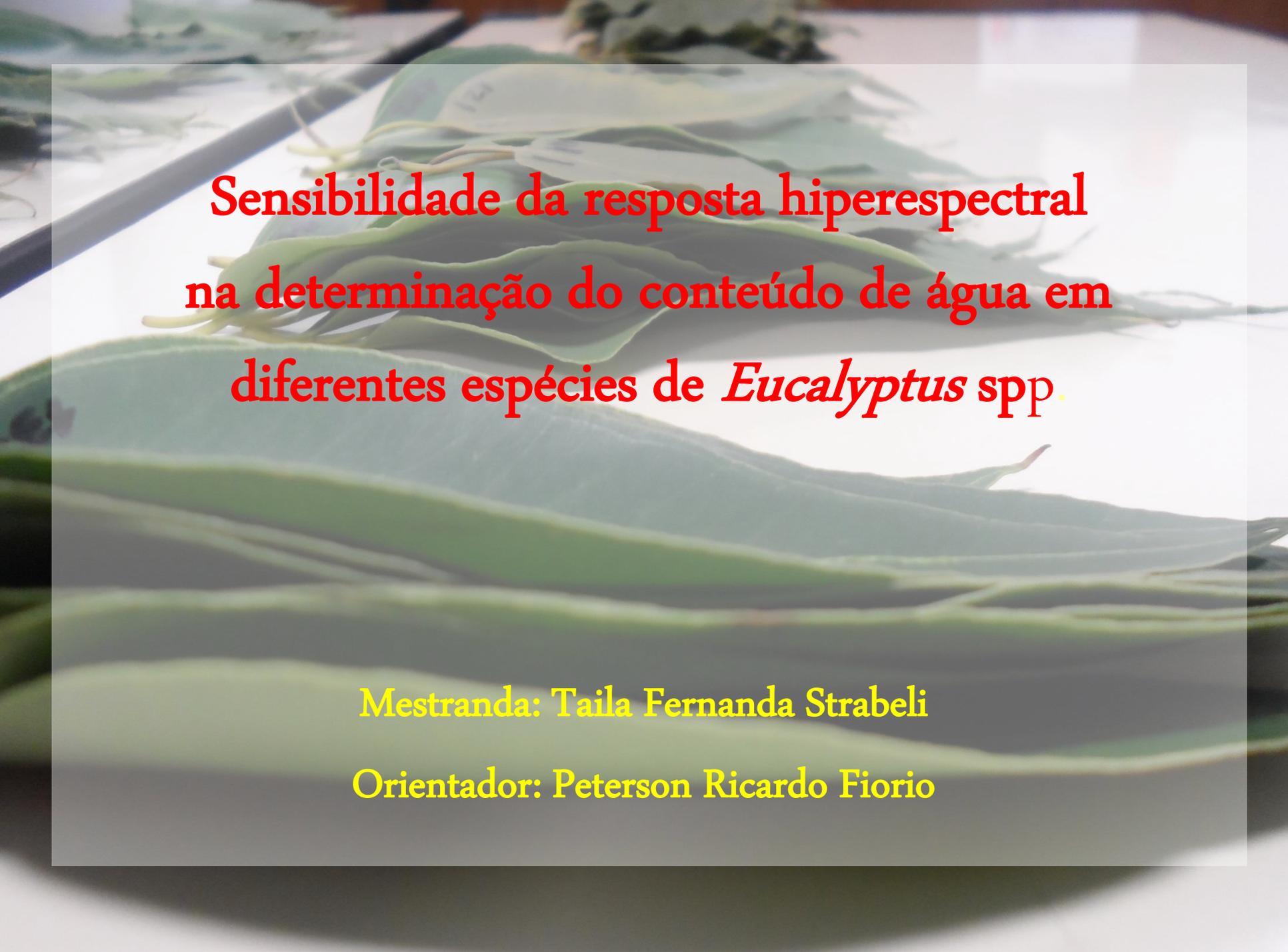
Onde aplicar????
Como usar???



USO DE SENSORES HIPERESPECTRAIS

Laboratório e Campo



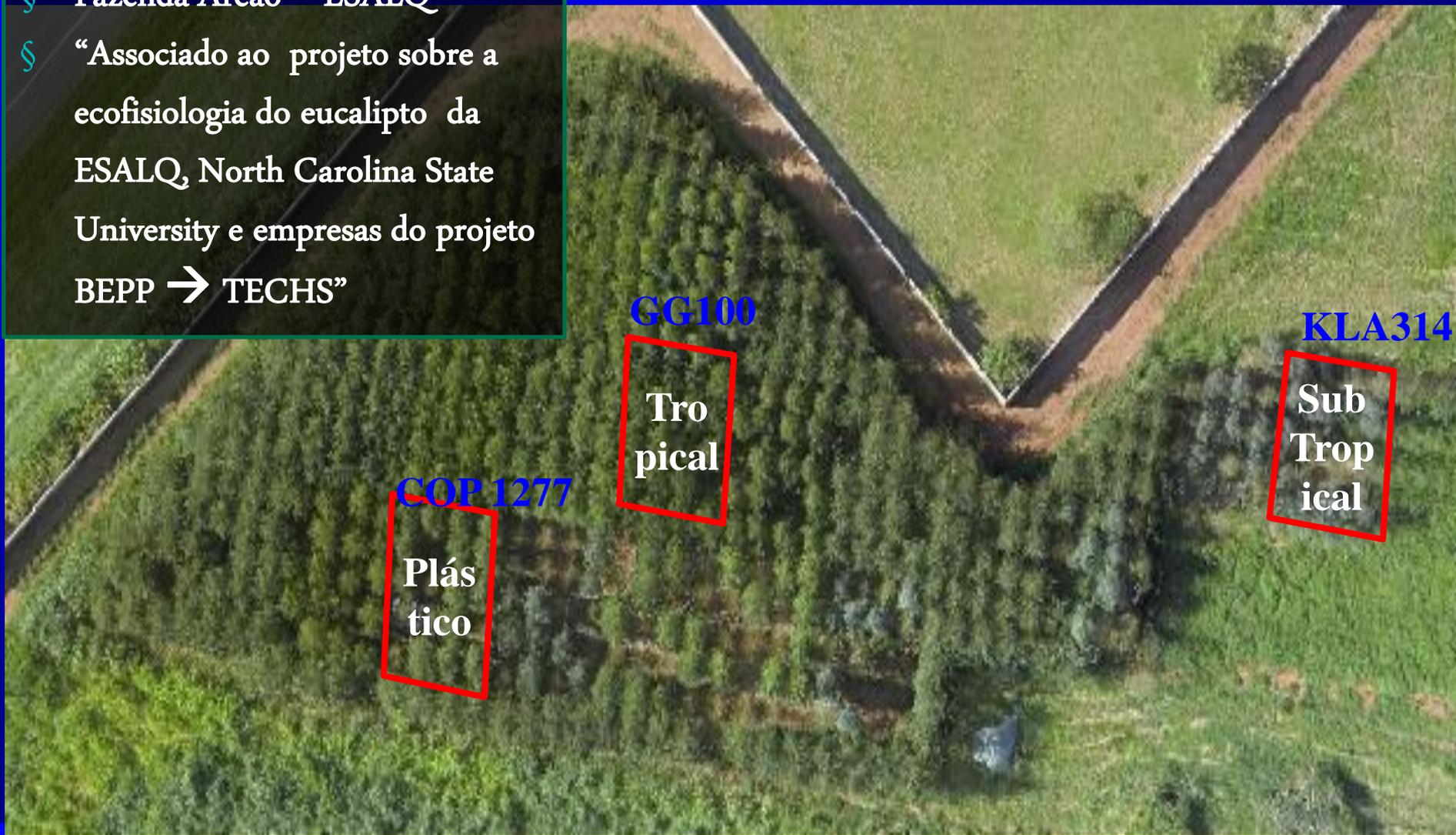


**Sensibilidade da resposta hiperespectral
na determinação do conteúdo de água em
diferentes espécies de *Eucalyptus* spp.**

Mestranda: Taila Fernanda Strabeli

Orientador: Peterson Ricardo Fiorio

- § 18 espécies de *Eucalyptus* spp.
- § 3 Grupos: Plástico, Tropical e Subtropical.
- § Fazenda Areão – ESALQ
- § “Associado ao projeto sobre a ecofisiologia do eucalipto da ESALQ, North Carolina State University e empresas do projeto BEPP → TECHS”



COP1277
Plás
tico

GG100
Tro
pical

KLA314
Sub
Trop
ical

Material e Métodos

Foram selecionadas e marcadas:
4 árvores/espécie.

Superior →

Médio

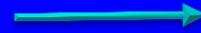
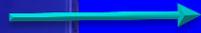
Inferior →

4 folhas/terço.



O material coletado foi catalogado e levado para laboratório.

Material e Métodos

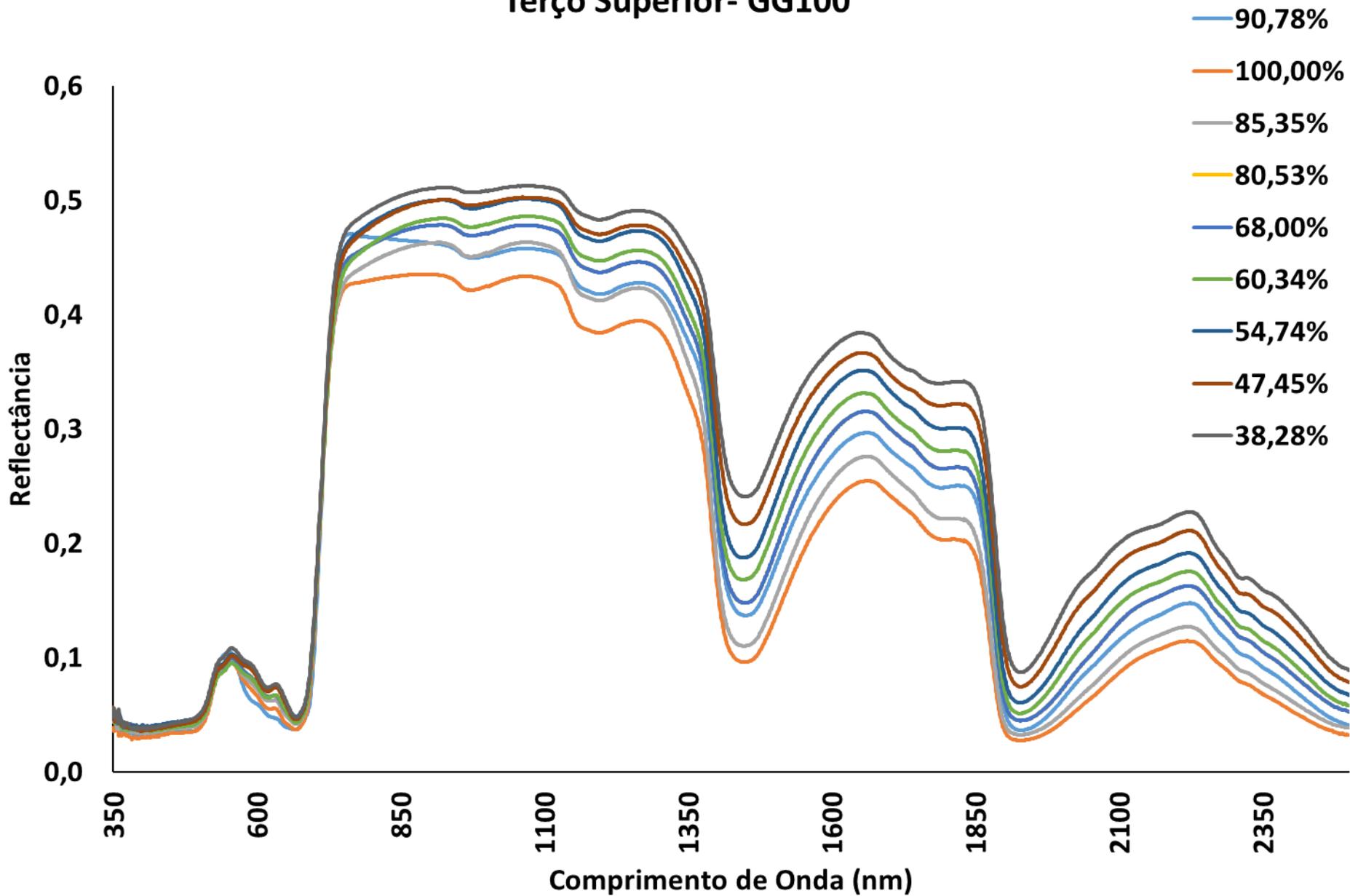


$$CRA = \frac{(PF - PS)}{(PT - PS)}$$

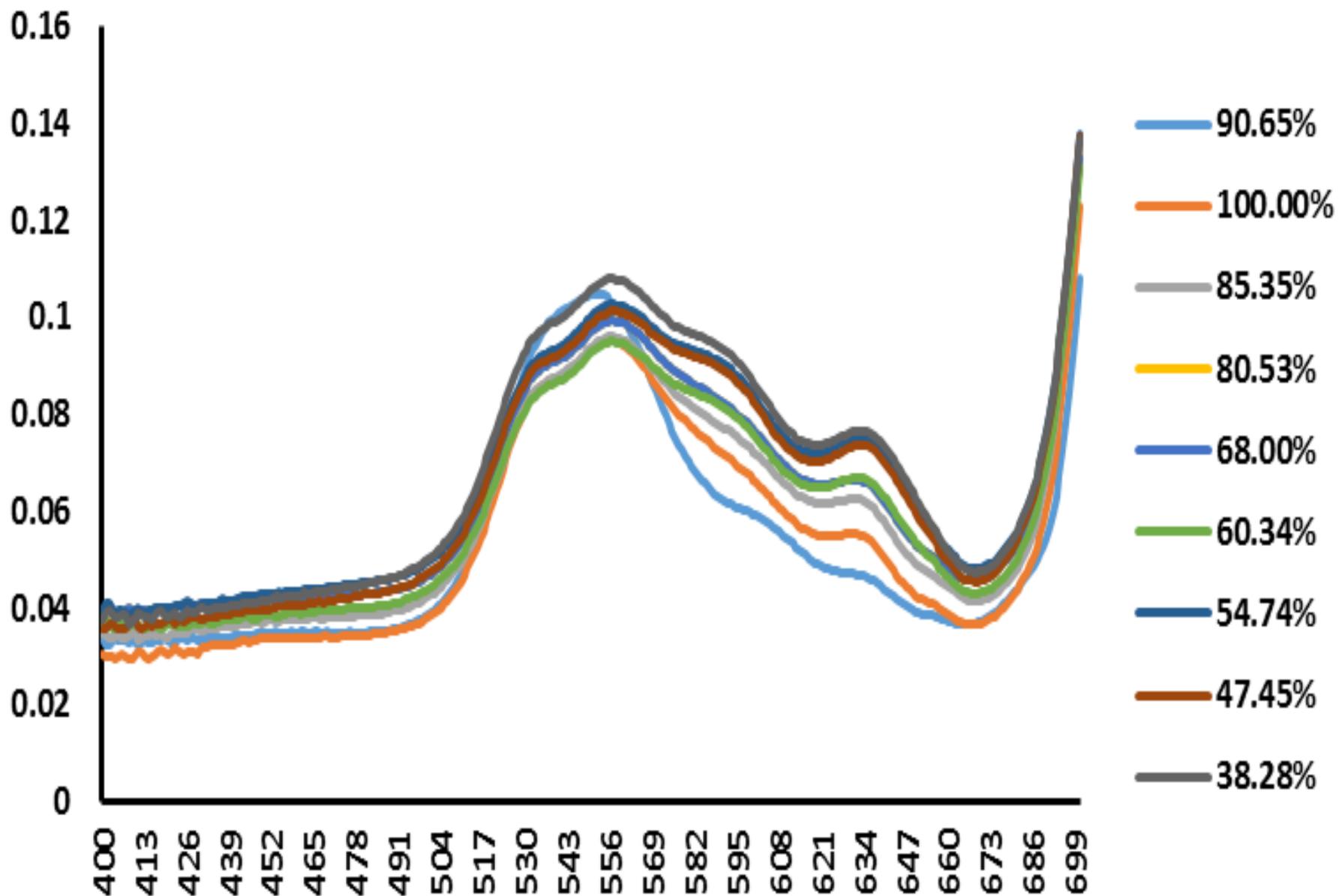
$$EWT = \frac{(PF - PS)}{(\rho * AF)}$$



Terço Superior- GG100



Espèce GG100



USO DE SENSORES HIPERESPECTRAIS

PROJETO FAPESP – BIOEN - APTA

Utilização de dados hiperespectrais para predição de nitrogênio foliar em cana-de-açúcar





115 m

B	34	A	35	C	36
	150 kg/ha		100 kg/ha		100 kg/ha
B	31	A	32	C	33
	100 kg/ha		150 kg/ha		50 kg/ha
B	28	A	29	C	30
	0 kg/ha		0 kg/ha		0 kg/ha
B	25	A	26	C	27
	50 kg/ha		50 kg/ha		150 kg/ha

B	67	A	68	C	69
	150 kg/ha		100 kg/ha		50 kg/ha
B	64	A	65	C	66
	100 kg/ha		0 kg/ha		100 kg/ha
B	61	A	62	C	63
	50 kg/ha		50 kg/ha		0 kg/ha



Fonte: Google Earth (2015)

Legenda

Área 1 (Jaú - SP)



Fonte: Google Earth (2015)

Legenda

Área 2 (Piracicaba - SP)



Fonte: Google Earth (2015)

Legenda

Área 3 (Santa Maria da Serra - SP)

144 m

C	63	C	65		
	0 kg/ha		100 kg/ha		
B	34	A	35	C	36
	150 kg/ha		100 kg/ha		100 kg/ha
B	31	A	32	C	33
	100 kg/ha		150 kg/ha		50 kg/ha
B	28	A	29	C	30
	0 kg/ha		0 kg/ha		0 kg/ha

C	69	C	70
	50 kg/ha		0 kg/ha
B	67	A	68
	150 kg/ha		100 kg/ha
B	64	A	65
	100 kg/ha		0 kg/ha

200 m

B	34	A	35	C	36
	150 kg/ha		100 kg/ha		100 kg/ha
B	31	A	32	C	33
	100 kg/ha		150 kg/ha		50 kg/ha
B	28	A	29	C	30
	0 kg/ha		0 kg/ha		0 kg/ha
B	25	A	26	C	27
	50 kg/ha		50 kg/ha		150 kg/ha
BLOCO II					
B	21	A	22	C	23
	0 kg/ha		0 kg/ha		0 kg/ha
B	19	A	20	C	24
	0 kg/ha		0 kg/ha		0 kg/ha
BLOCO I					
C	13	B	14	A	15
	150 kg/ha		150 kg/ha		100 kg/ha
BLOCO III					
C	10	B	11	A	12
	100 kg/ha		50 kg/ha		0 kg/ha
BLOCO IV					
C	7	B	8	A	9
	0 kg/ha		100 kg/ha		150 kg/ha
BLOCO V					
C	4	B	5	A	6
	50 kg/ha		0 kg/ha		50 kg/ha

99 m

3,0 m

18 m

39 m

parcelas descartadas

Variedades

A SP81-3250

B RB 96579

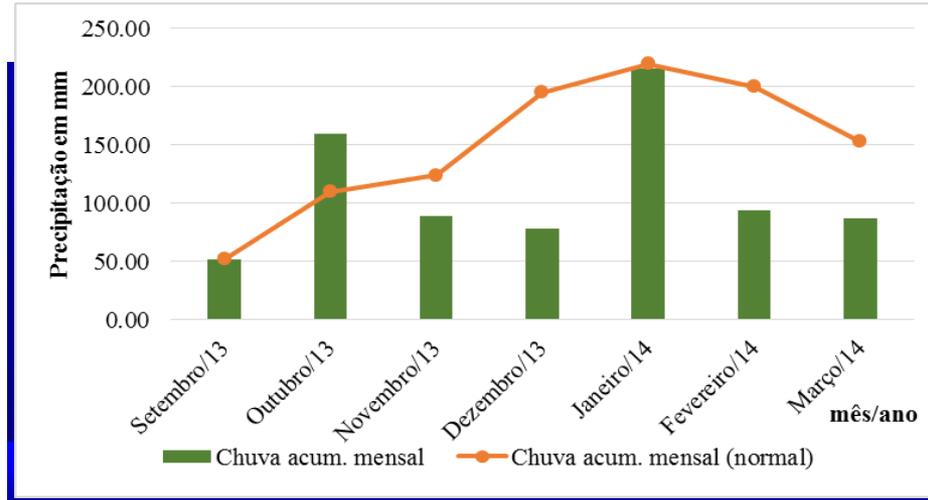
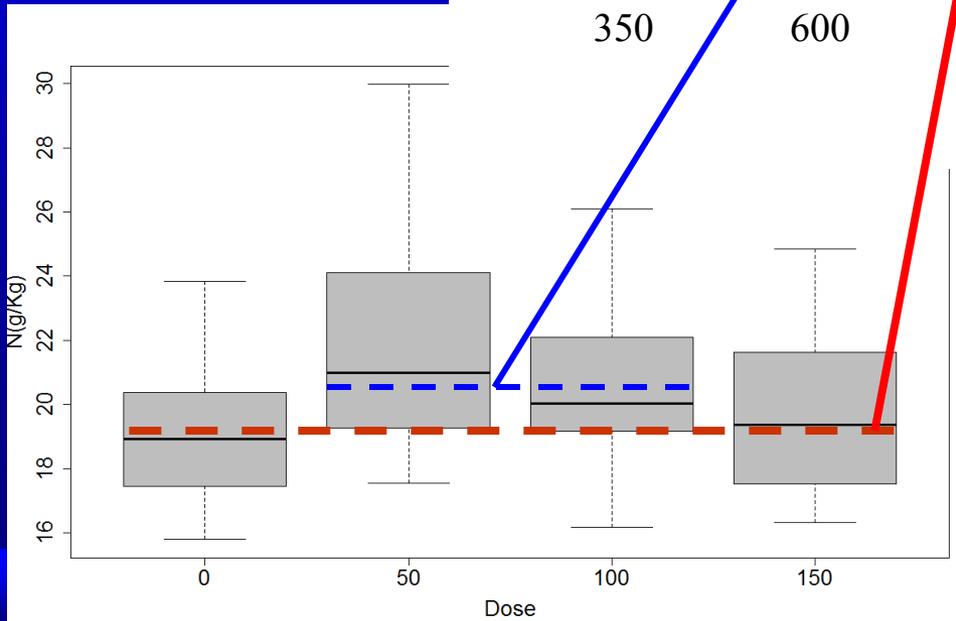
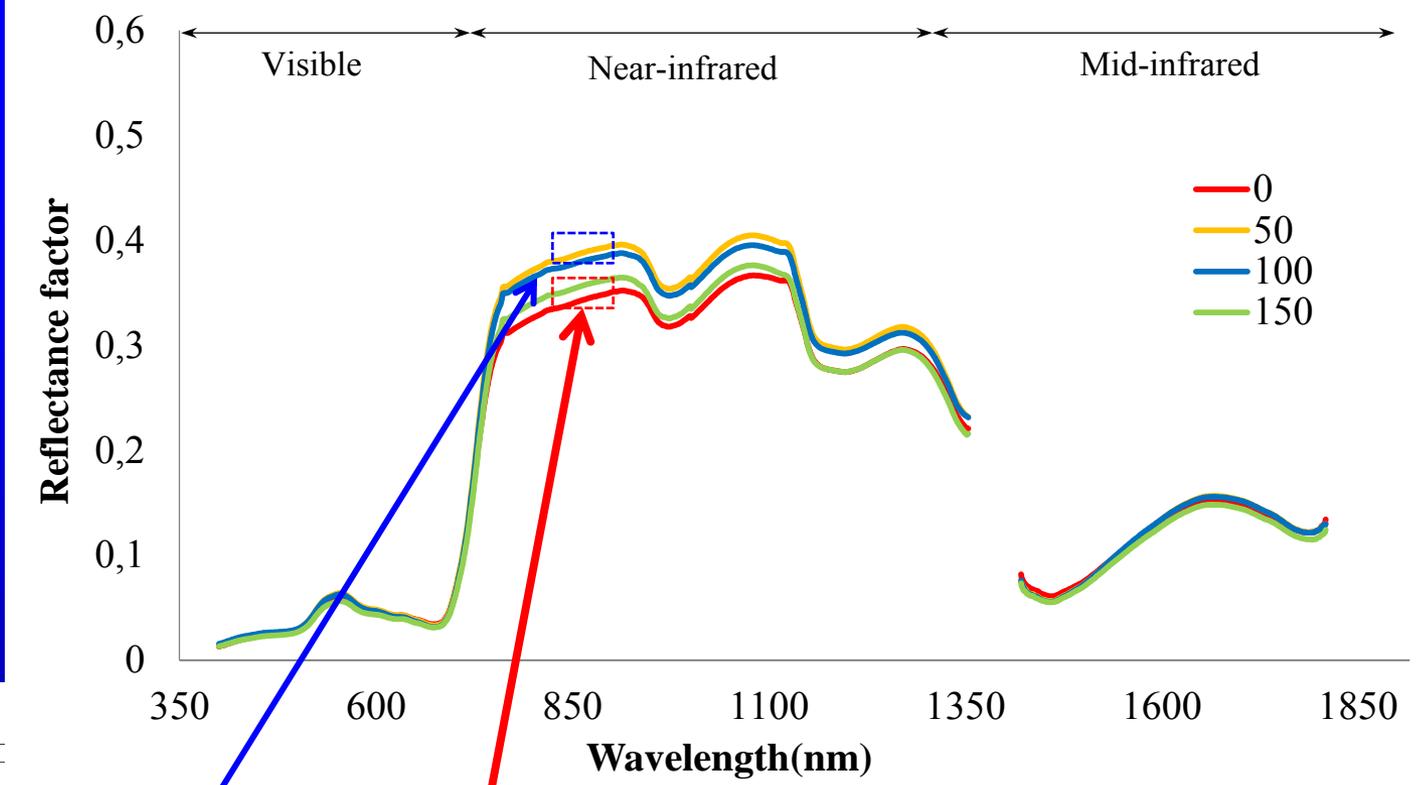
C RB 86-7515

Doses: 0, 50, 100 e 150kg/ha

3- Aquisição da resposta espectral de dossel



5- Resultados preliminares de dossel

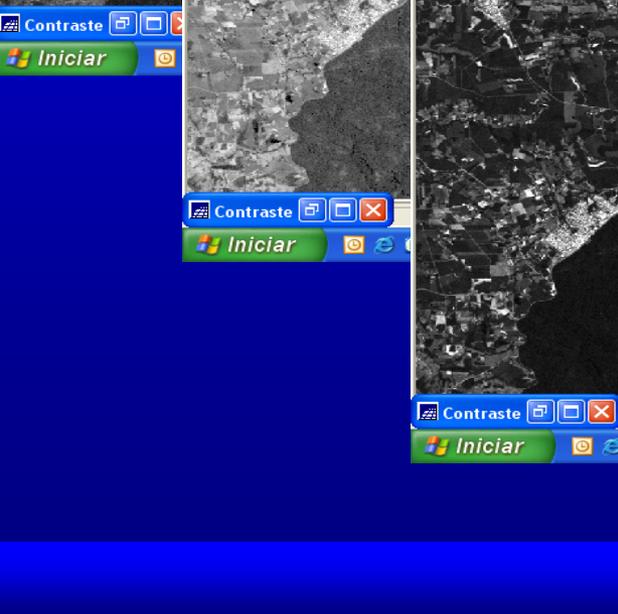
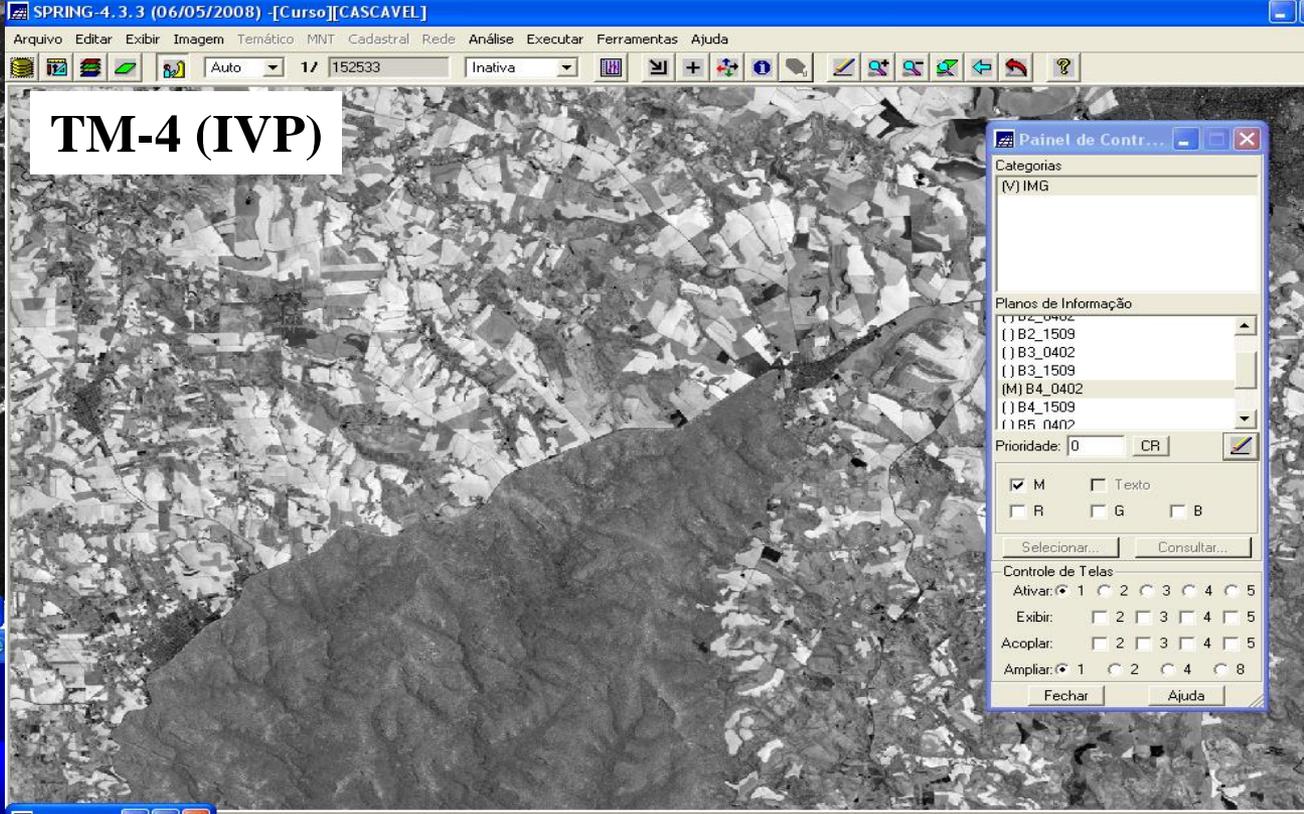


USO DE IMAGENS ORBITAIS



APLICAÇÕES DO SENSORIAMENTO ESPECTRAL

BANDA	FAIXA ESPECTRAL (μm)	APLICAÇÕES
1	0,45-0,52(azul)	MAPEAR ÁGUAS COSTEIRAS DIFERENCIAR: SOLO E VEGETAÇÃO DIFERENCIAR : CONÍFERA E DECÍDUA
2	0,52-0,60(verde)	MAPEAR VEGETAÇÃO QUALIDADE D'ÁGUA
3	0,63-0,69(vermelho)	ABSORÇÃO DA CLOROFILA DIFERENCIAR ESPÉCIES VEGETAIS ÁREAS URBANAS, USO DO SOLO AGRICULTURA QUALIDADE D'ÁGUA
4	0,76-0,90(IR próximo)	DELINEAR CORPOS D'ÁGUA MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO MAPEAMENTO GEOLÓGICO ÁREAS DE QUEIMADAS ÁREAS ÚMIDAS AGRICULTURA VEGETAÇÃO
5	1,55-1,75(IR médio)	USO DO SOLO MEDIDAS DE UMIDADE DE VEGETAÇÃO DIFERENCIAR NUVEM E NEVE AGRICULTURA VEGETAÇÃO
6	10,40-12,50(IR termal)	MAPEAR ESTRESSE TÉRMICO EM PLANTAS CORRENTES MARINHAS PROPRIEDADES TERMAL DO SOLO OUTROS MAPEAMENTOS TÉRMICOS
7	2,08-2,35(IR médio)	IDENTIFICAR MINERAIS MAPEAMENTO HIDROTERMAL



A satellite image showing a landscape with a mix of green and brown patches, indicating a forested area with some cleared land. A road and a small settlement are visible in the upper right quadrant.

04/02/2008

15/09/2008

O QUE MUDOU NESSAS IMAGENS?

BANDA 1



BANDA 2



RIO DE JANEIRO

Imagem gerada pelo INPE/DGI

BANDA 3



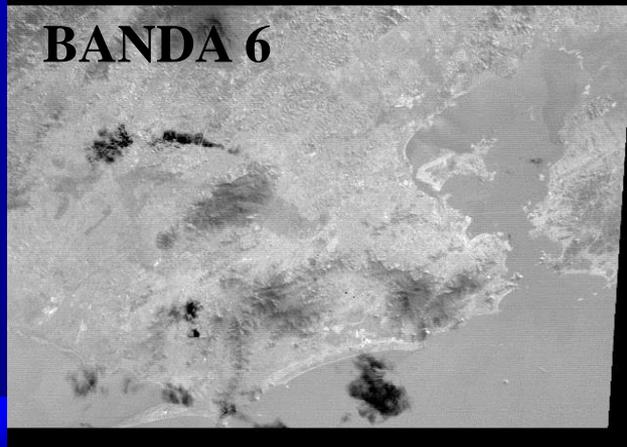
BANDA 4



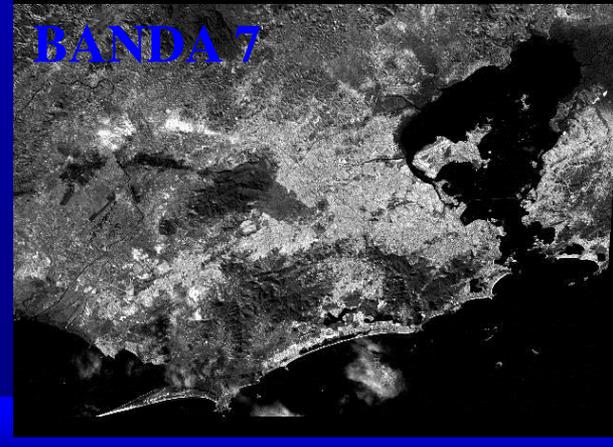
BANDA 5



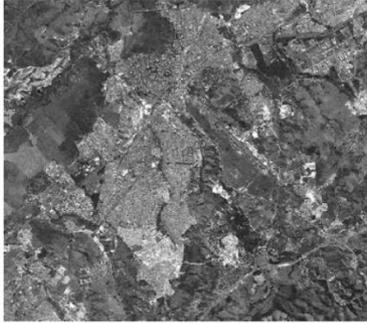
BANDA 6



BANDA 7

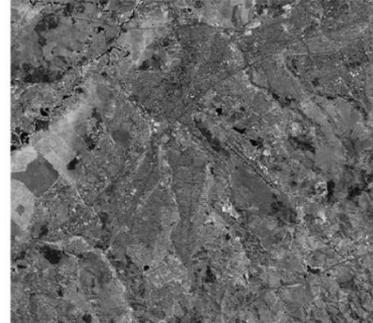


Banda 3
Visível



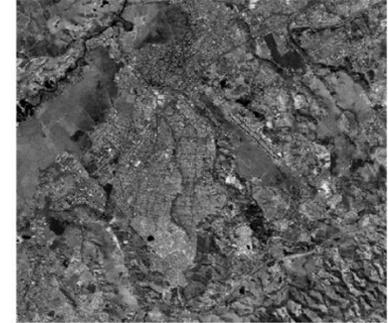
Filtro Azul

Banda 4
Infravermelho



Filtro Verde

Banda 5
Infravermelho



Filtro Vermelho

Banda 3,4 e 5



Colorida

COMBINAÇÃO DE BANDAS 3, 4, 5 *azul, verde, vermelho*



RIO DE JANEIRO

Imagem gerada pelo INPE/DGI

Combinação de duas bandas no IR possibilita uma maior diferenciação entre solo e água.

Tipos e condições de vegetações

Áreas urbanas e solos expostos

Água



COMBINAÇÃO DE BANDAS 1, 2, 3 (azul, verde, vermelho)



RIO DE JANEIRO

Imagem gerada no INPE/DGI

Realça informações sobre:

- regiões de águas rasas;
- turbidez;
- correntes; e
- sedimentos em suspensão

Áreas Urbanas

Vegetação



Imagens de Satélite

Canal de São Sebastião

LANDSAT5: TM 45-PAN



SPOT: RGB54-PAN



Imagens geradas no INPE/DGI

Imagens De Satélite **Brasília**

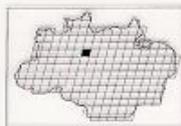


Imagem SPOT PAN+XS da cidade de Brasília/DF

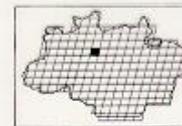


Imagens de Satélite

Encontro dos Rios Negro e Solimões



landsat 5, TM, bandas 3, 4, 5, de 15 de agosto de 1988, órbita / ponto 231/062
landsat 5, TM, bands 3, 4, 5, August 15, 1988, orbit / point 231/062
landsat 5, TM, bandas 3, 4, 5, 15 août 1988, point orbite 231/062



landsat 5, TM, bandas 3, 4, 5, de 15 de agosto de 1988, órbita / ponto 231/062
landsat 5, TM, bands 3, 4, 5, August 15, 1988, orbit / point 231/062
landsat 5, TM, bandas 3, 4, 5, 15 août 1988, point orbite 231/062

**USO DE IMAGENS ORBITAIS
X
SENSORES HIPERESPECTRAIS**



Imagem Orbital

Composição RGB

Banda 3 - Vermelho

Banda 4 - Verde

Banda 5 - Azul

TM - LANDSAT 5 -7

➔ Lançamento 05/03/84

➔ Altitude 705 km

➔ Resolução temporal
- 16 dias

➔ Resolução espacial

- 30 m (pixel 0,09 ha)

- 120 m (banda 6)

- **15 m (pan. Landsat 7)**

➔ Imagem inteira

- 185 km x 185 km

➔ Bandas (microns)

- 1 (0,45-0,52) Azul

- 2 (0,52-0,60) Verde

- 3 (0,63-0,69) Vermelho

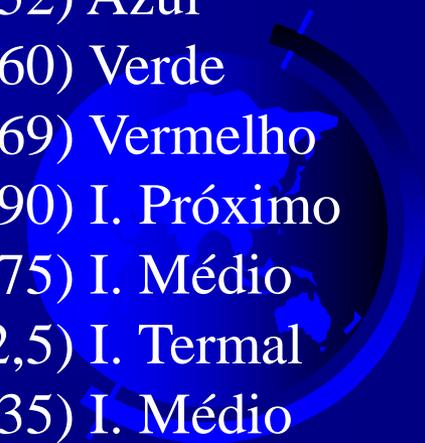
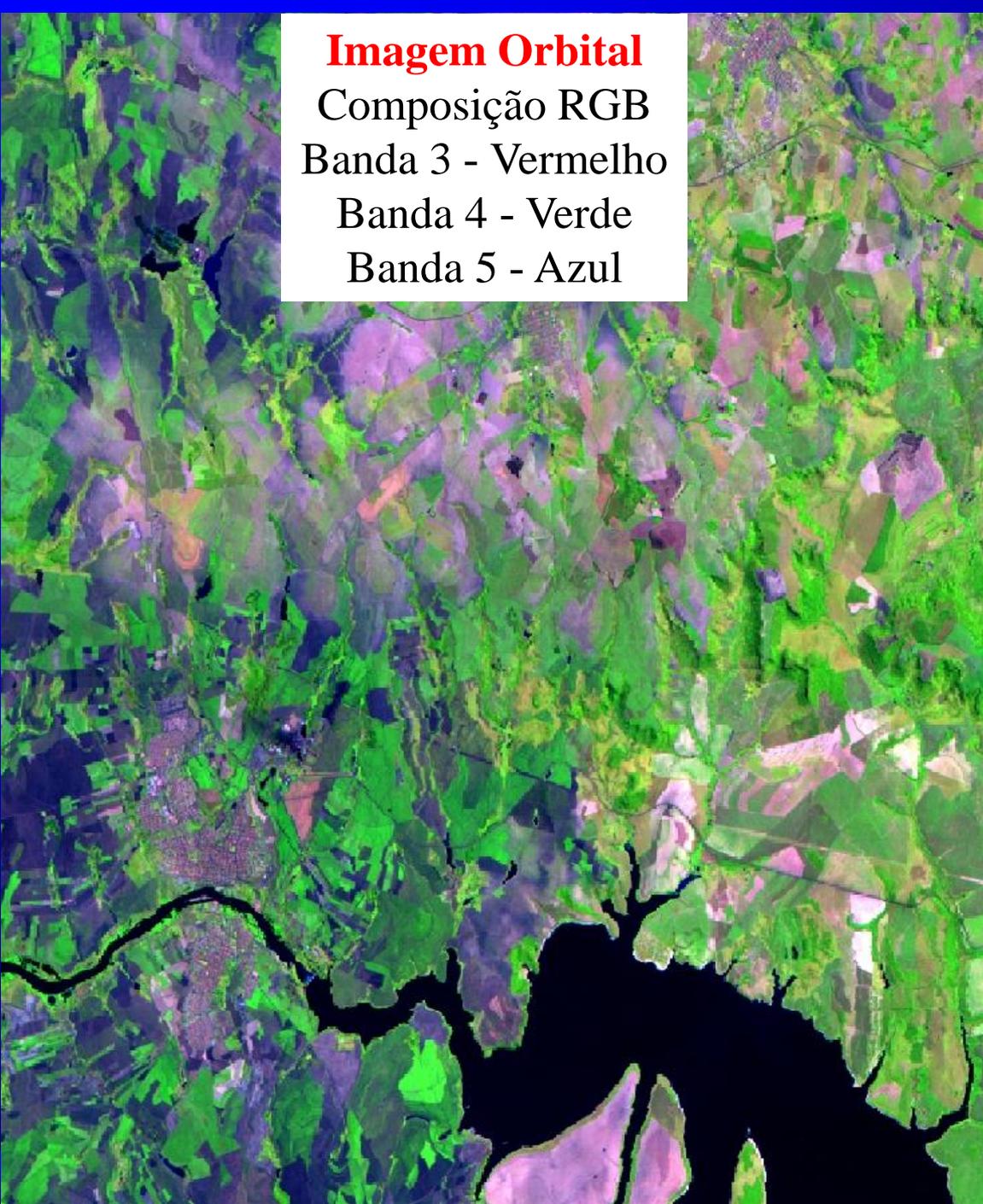
- 4 (0,76-0,90) I. Próximo

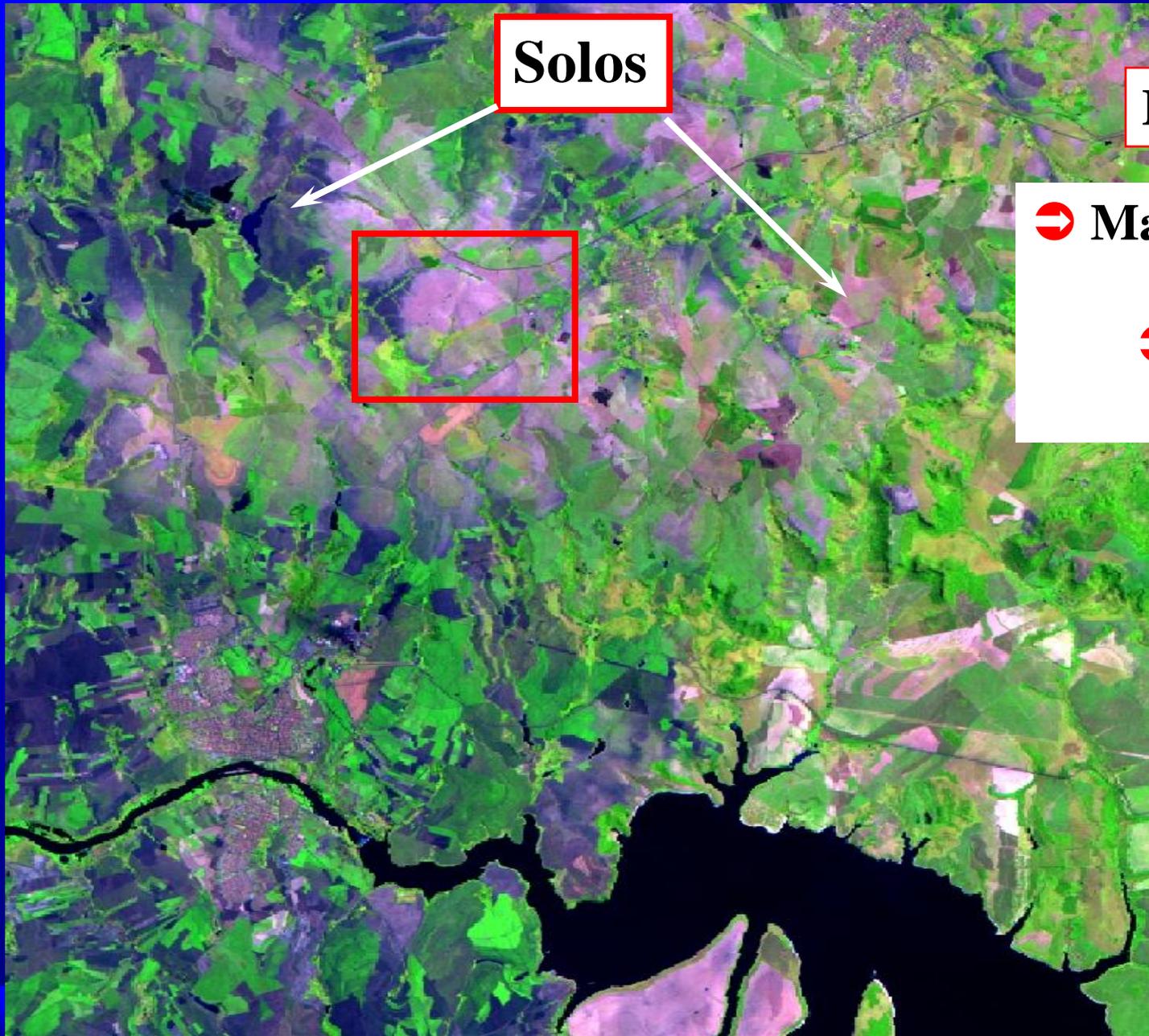
- 5 (1,55-1,75) I. Médio

- 6 (10,4-12,5) I. Termal

- 7 (2,08-2,35) I. Médio

- **Pancromática (0,52-0,90)**





Solos

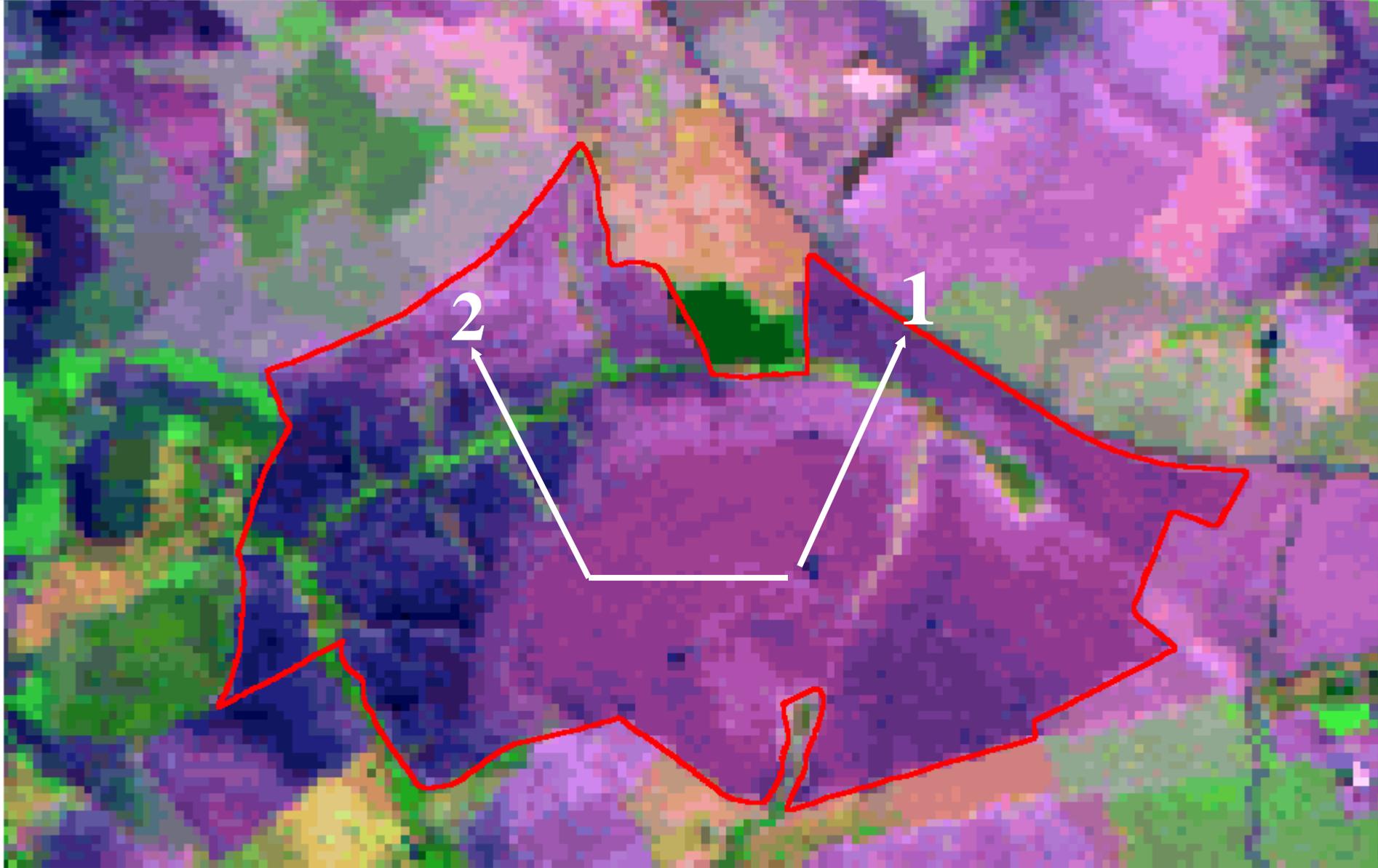
Reflectância

- ➔ **Matéria Orgânica**
- ➔ **Ferro**
- ➔ **Umidade**
- ➔ **Textura**

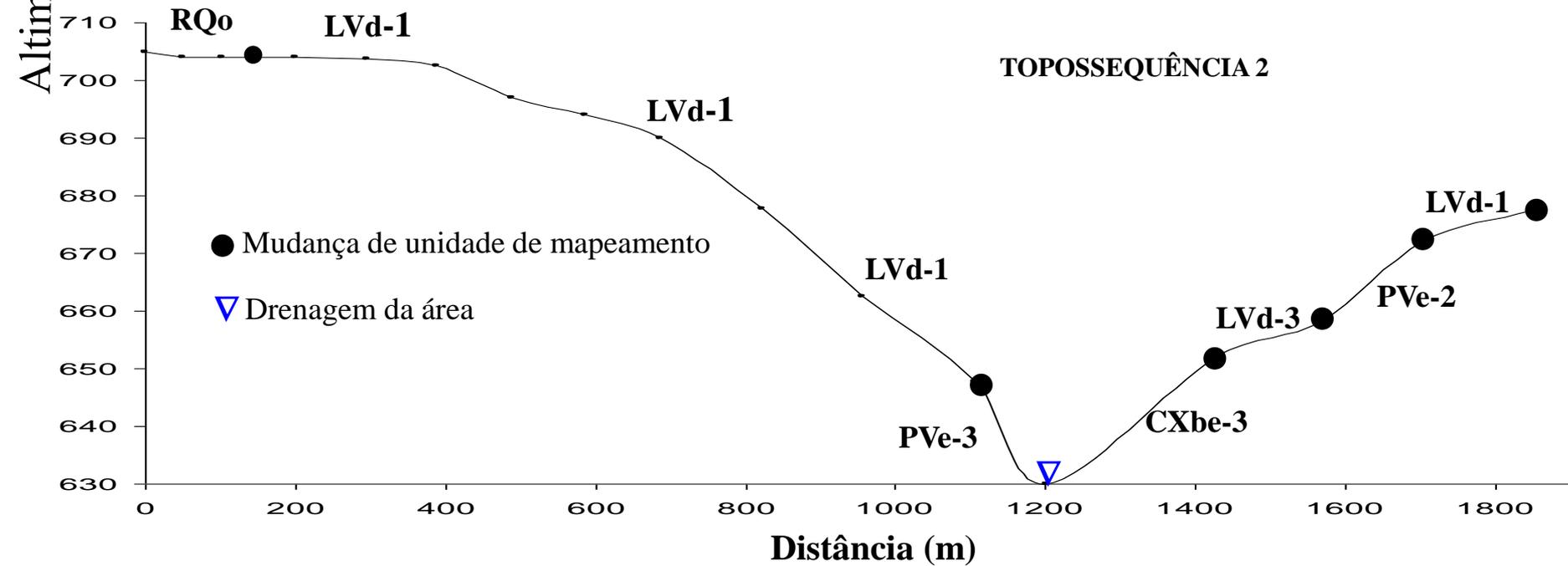
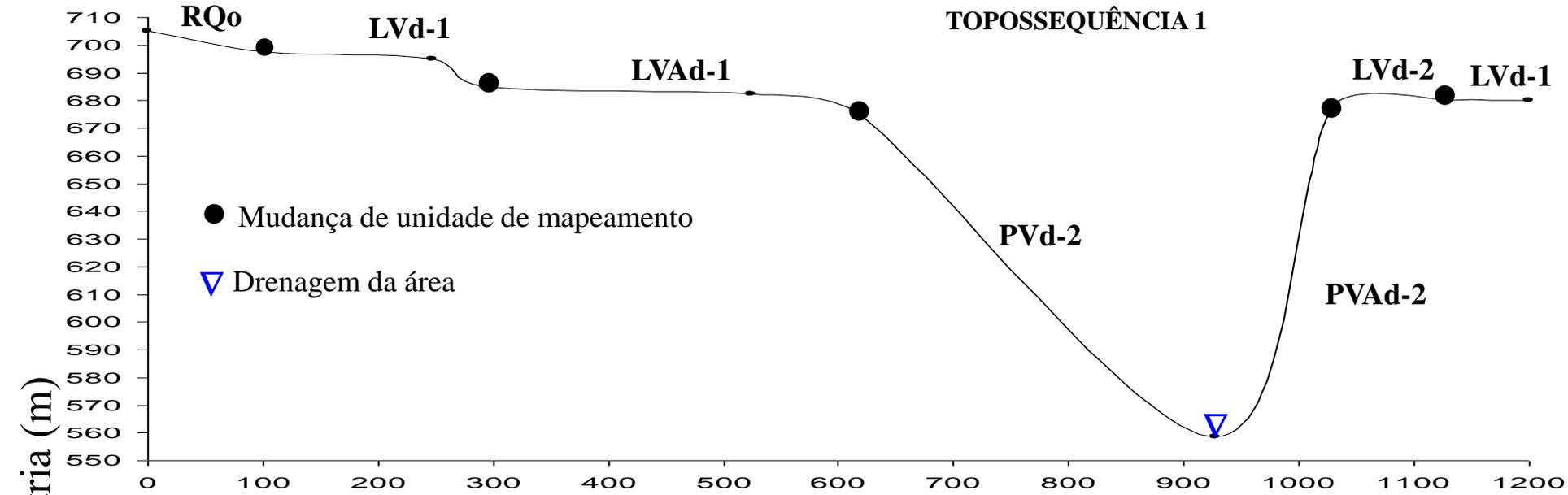




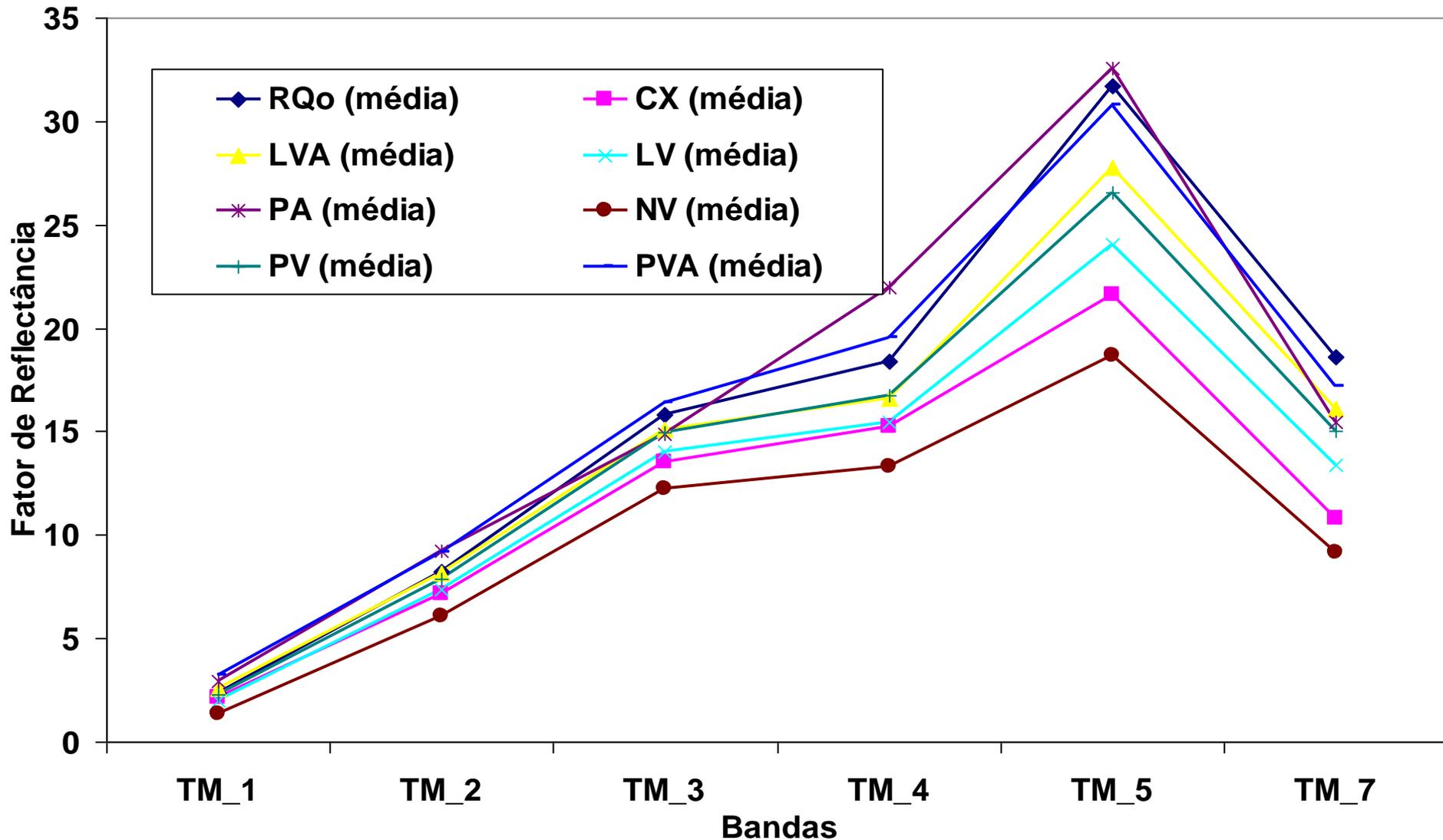
Auto 1/19895 Inativa



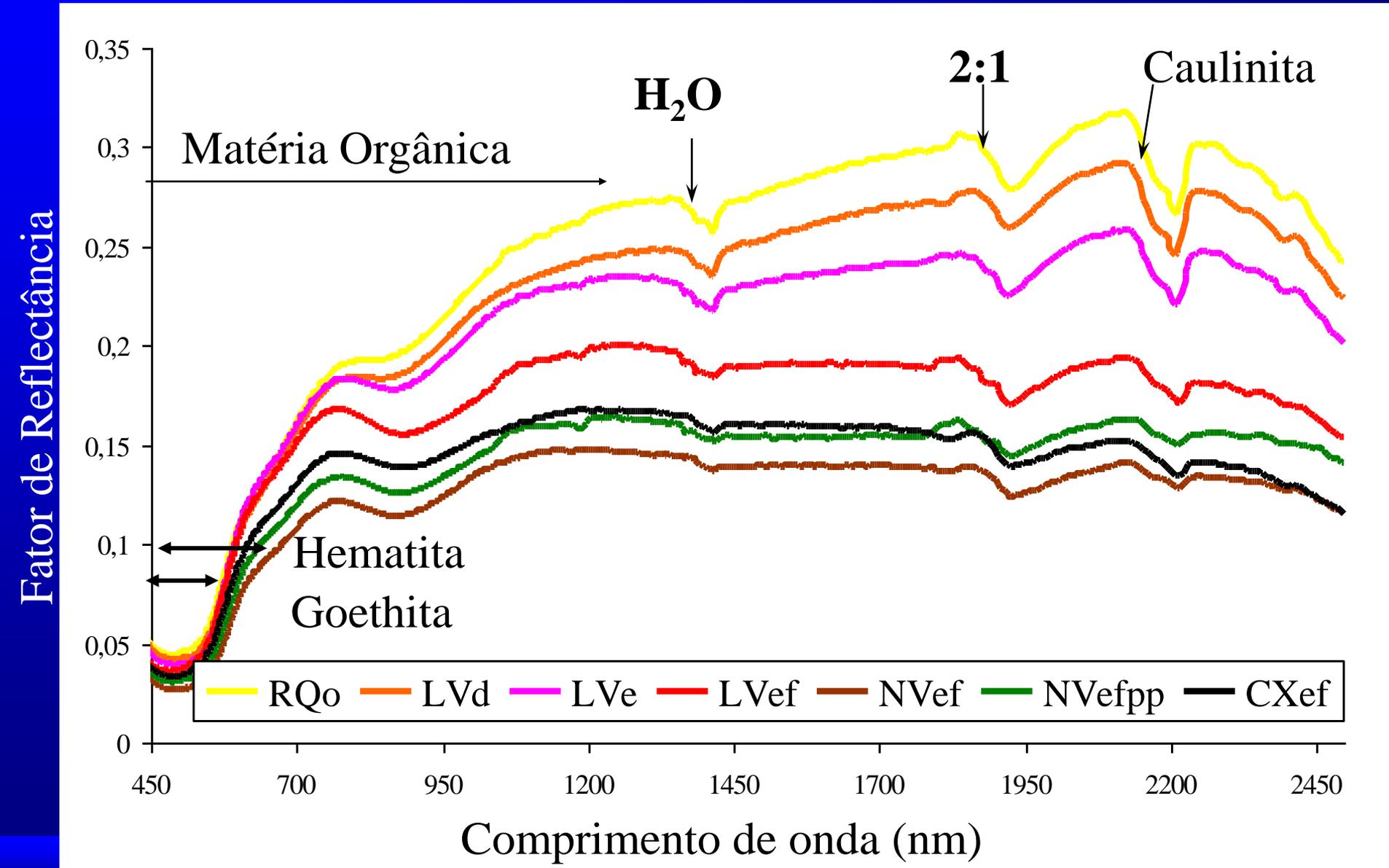
Pl: limit



Método de levantamento de solos utilizando curvas espectrais

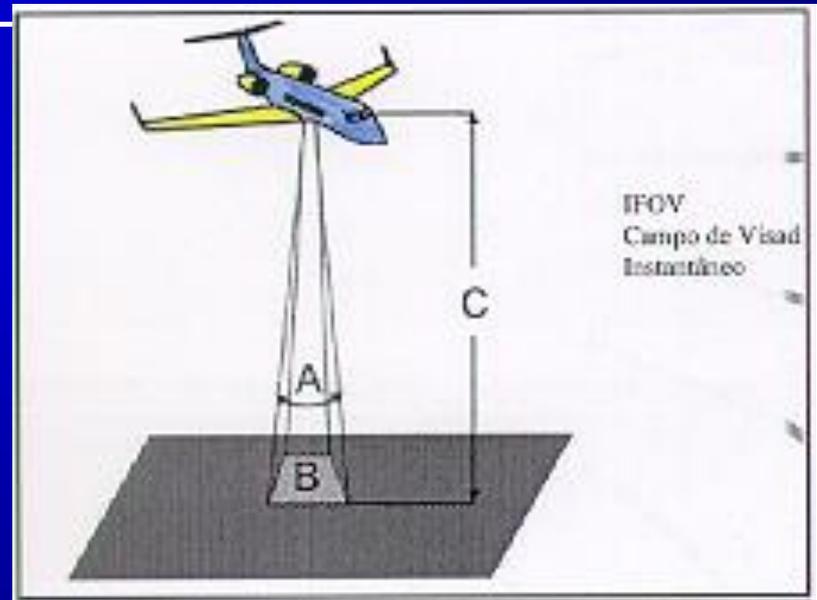


Método de levantamento de solos utilizando curvas espectrais



Plataforma Aérea

- Aeronaves aéreas estáveis
- Sensores de varredura óptico-eletrônico; fotográficos, e/ou radar
- Possibilidade de:
 - ❑ coleta de dados e imagens muito detalhadas
 - ❑ obtenção de dados de qualquer local
 - ❑ obtenção de dados a qualquer hora
- Problema ➔ custo



PLATAFORMA TERRESTRE

- Campo ou Laboratório
- Sistema Sensor
 - espectroradiômetro
 - radiômetro
- Sistema sensor posicionado próximo ao alvo
 - tripé
 - mastro
 - andaime
 - torres
- Elimina o efeito da atmosfera
- Verdade Terrestre

