

Universidade Federal Fluminense
Instituto de Geociências
Departamento de Análise Geoambiental
Disciplina: Sensoriamento Remoto
Prof. Cristiane Francisco
01/2008

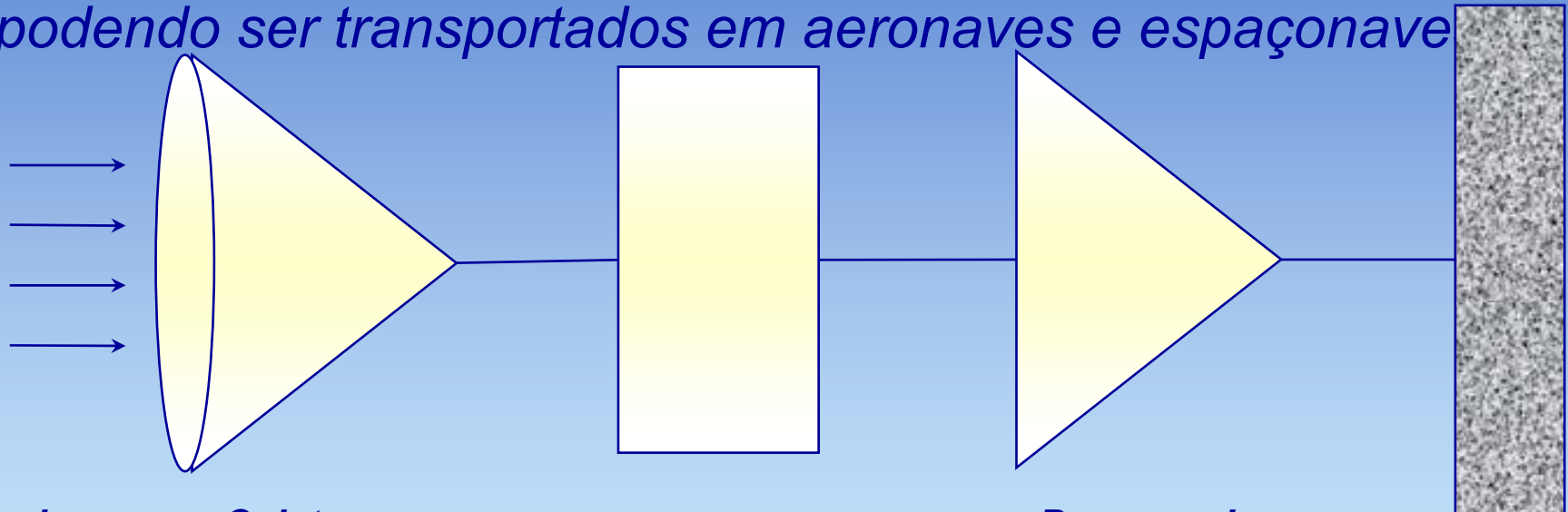
1. Sensoriamento Remoto

Tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, através de captação e do registro de energia refletida ou emitida pela superfície.

(Florenzano, 2002)

2. Sensores remotos

Equipamentos capazes de transformar a energia em um sinal passível de ser convertido em informação sobre o ambiente, podendo ser transportados em aeronaves e espaçonaves



Energia

Coletor
recebe energia através de uma lente, espelho, antenas etc.

Detector
Capta a energia coletada de uma determinada faixa do espectro. Ex. Filme, CCD

Processador
O sinal registrado é submetido a um processamento - revelador, amplificação - através do qual se obtém o produto.

Produto

3. Energia Eletromagnética

- Forma dinâmica de energia, causada pela oscilação ou aceleração da carga elétrica, decorrente: (a) das reações de fusão e fissão nucleares; (b) do movimento dos elétrons para camadas de menor energia; (c) do movimento aleatório dos átomos e moléculas.
- Toda substância com temperatura acima de 0° absoluto ($0^\circ K = -273^\circ C$) produz e emite energia eletromagnética. (Avery, 1992)

- Um fluxo de radiação eletromagnética ao se propagar pelo espaço pode interagir com superfícies ou objetos, podendo ser refletido, absorvido ou transmitido.

$$E_I = E_T + E_R + E_A$$

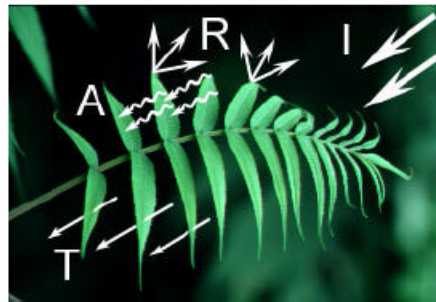
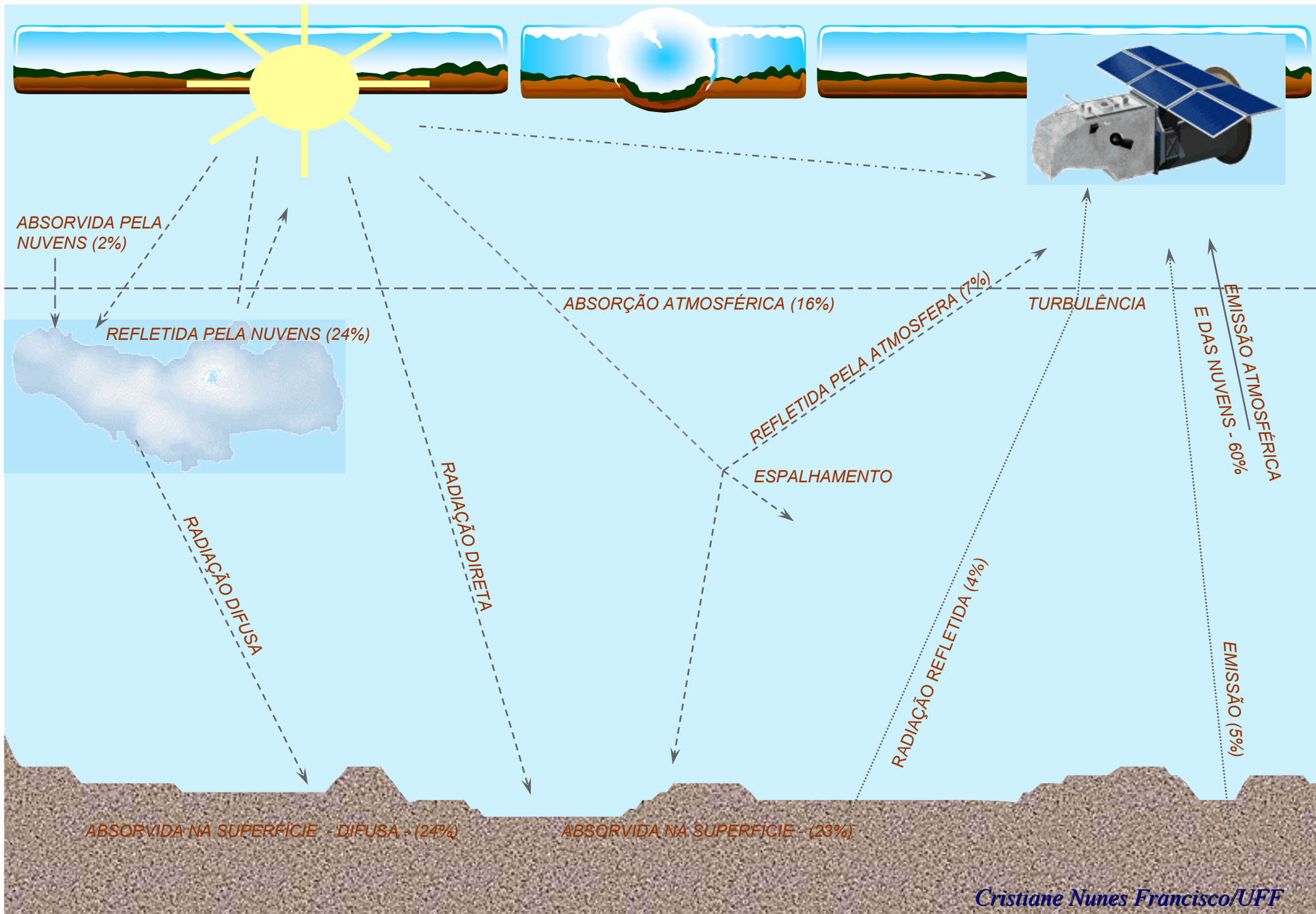


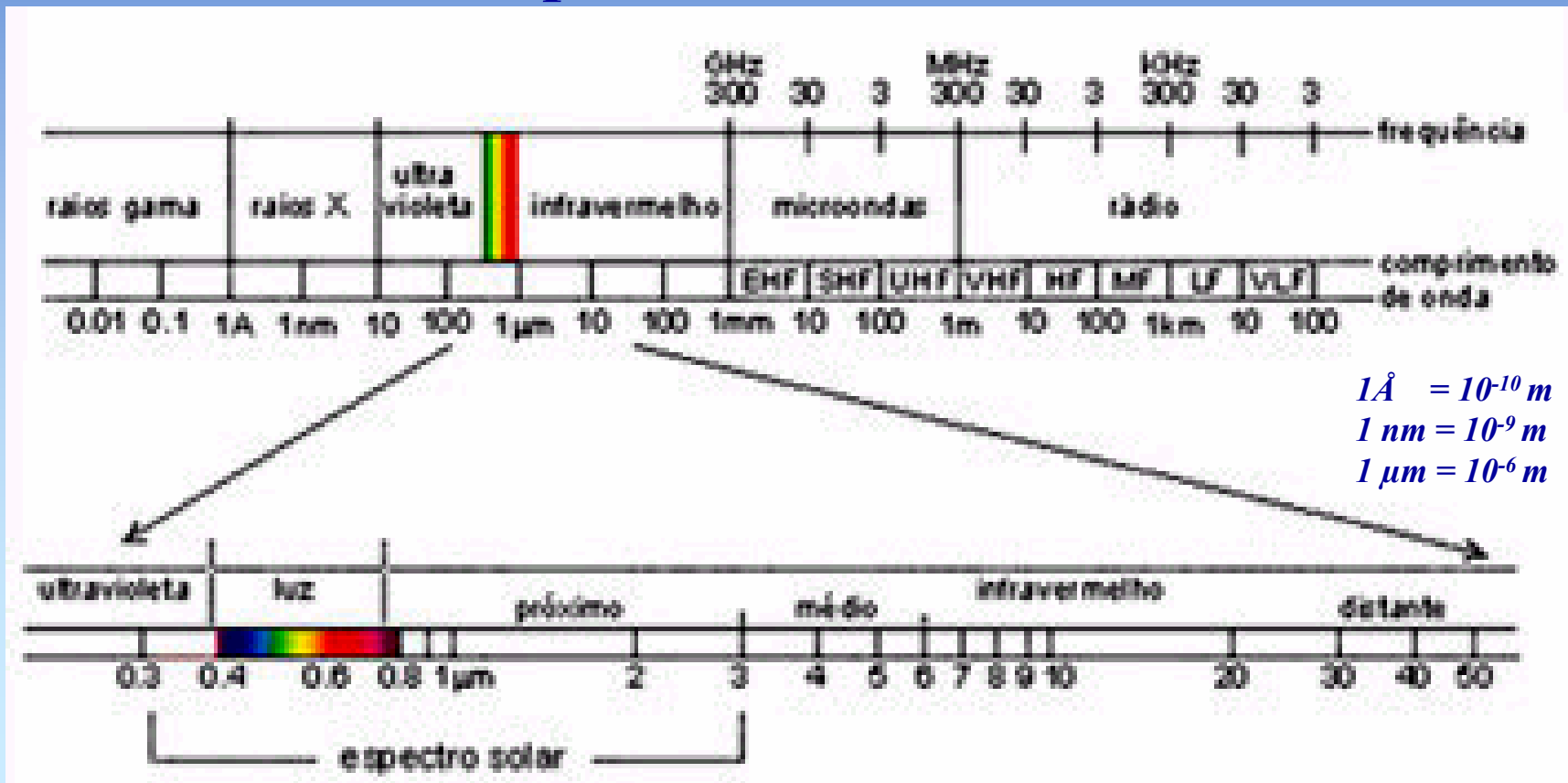
Figura 1.2. As três formas de interação entre a energia eletromagnética e o alvo (CCRS, 1998).

- As variações que essas interações produzem no fluxo considerado dependem fortemente das propriedades (1) físico-químicas dos elementos irradiados; (2) comprimento de onda da radiação incidente; e (3) ângulo formado entre o alvo e a radiação incidente.



4. Espectro Eletromagnético

Distribuição da energia eletromagnética por regiões (bandas), de acordo com a frequência e comprimento de onda.



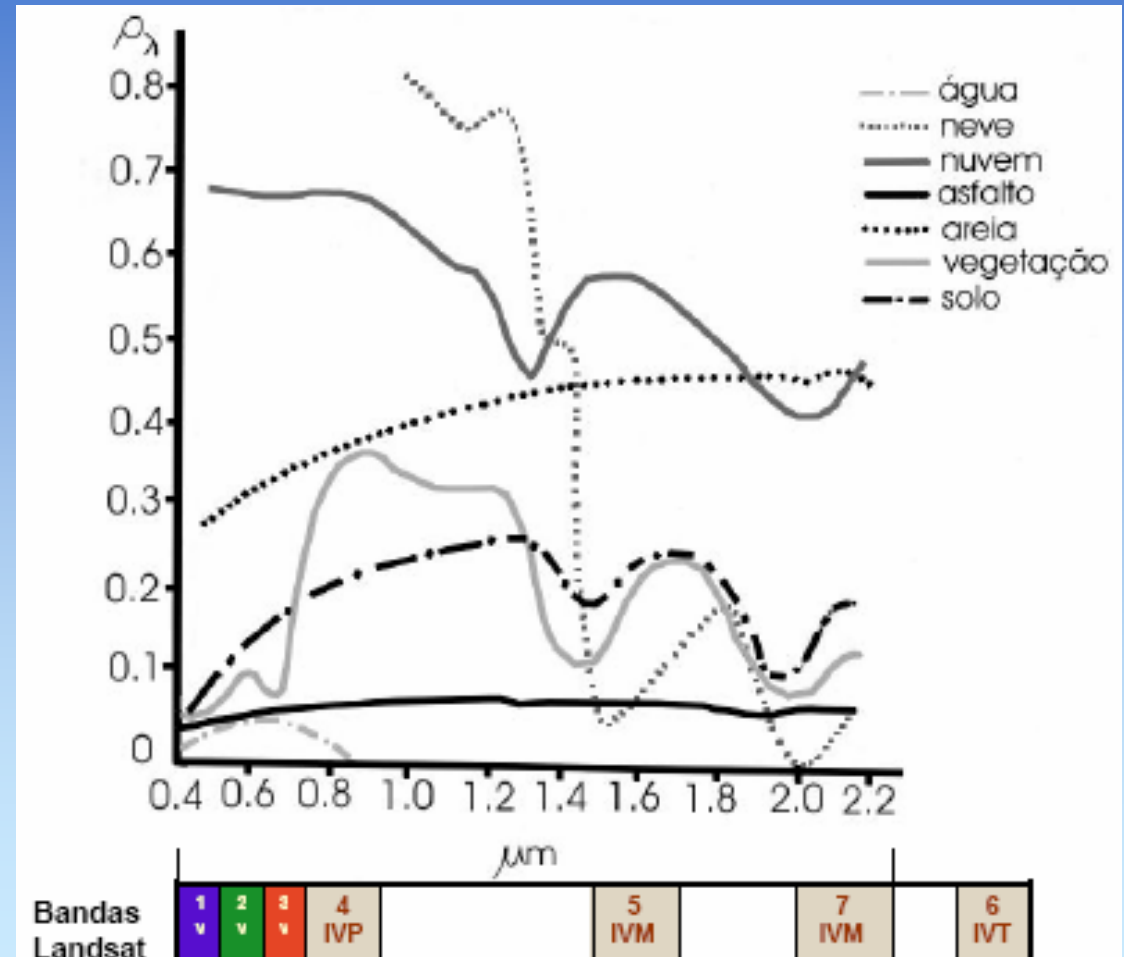


| NOME | REGIÃO | APLICAÇÃO |
|----------------|---|--|
| Ondas de rádio | Comprimentos de onda maiores que 10 cm (Frequência <math>< 3\text{GHz}</math>). | Esta região é usada por sensores ativos como radares, altímetros, etc. |
| Microondas | Comprimento de onda entre 1mm (300GHz) e 10 cm. | Esta região é usada por radiômetros de microondas e sensores ativos de radar. |
| Infravermelho | Comprimento de onda entre 1mm e $0,72\mu\text{m}$. Esta região é subdividida em submilimétrica, infravermelho médio, infravermelho terminal e infravermelho próximo. | Esta região é usada por sensores passivos, radiômetros, espectrômetros, polarímetros e imageadores. |
| Visível | Comprimento de onda entre $0,7$ e $0,4\mu\text{m}$. | Esta região é usada por sensores passivos, radiômetros, espectrômetros polarímetros, imageadores e câmeras fotográficas. |
| Ultra-violeta | Comprimentos de onda entre $0,4$ e 300Å . | Região utilizada por sensores em estudos da atmosfera de planetas devido à opacidade dos gases a esta radiação. |
| Raios X | Comprimentos de onda entre 300 e $0,3\text{Å}$. | Região pouco utilizada para sensoriamento remoto devido à opacidade da atmosfera. |
| Raios γ | Comprimentos de onda menores que $0,3\text{Å}$. | Região pouco utilizada devido à opacidade da atmosfera. |

5. Assinatura Espectral

Deriva-se da variação das características de absorptância, emissão e reflectância dos alvos, possibilitando a sua identificação nas imagens de sensoriamento remoto.

A curva de espectral representa a variação da reflectância de um objeto para cada comprimento de onda.



A figura 5 exemplifica a configuração básica de aquisição utilizada nos experimentos para aquisição de medidas do fator de reflectância bidirecional da água.

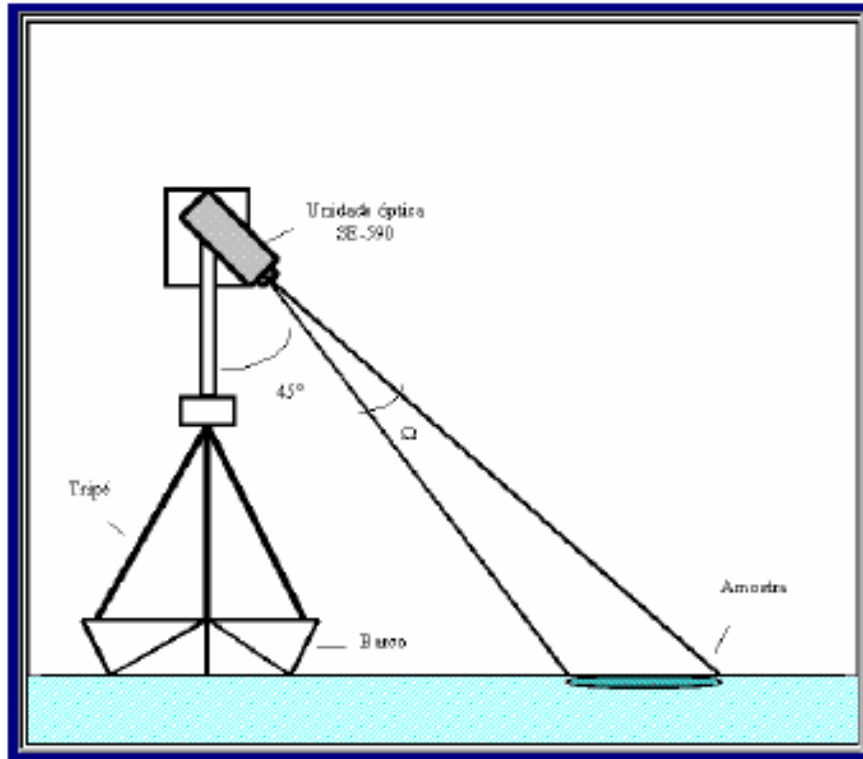
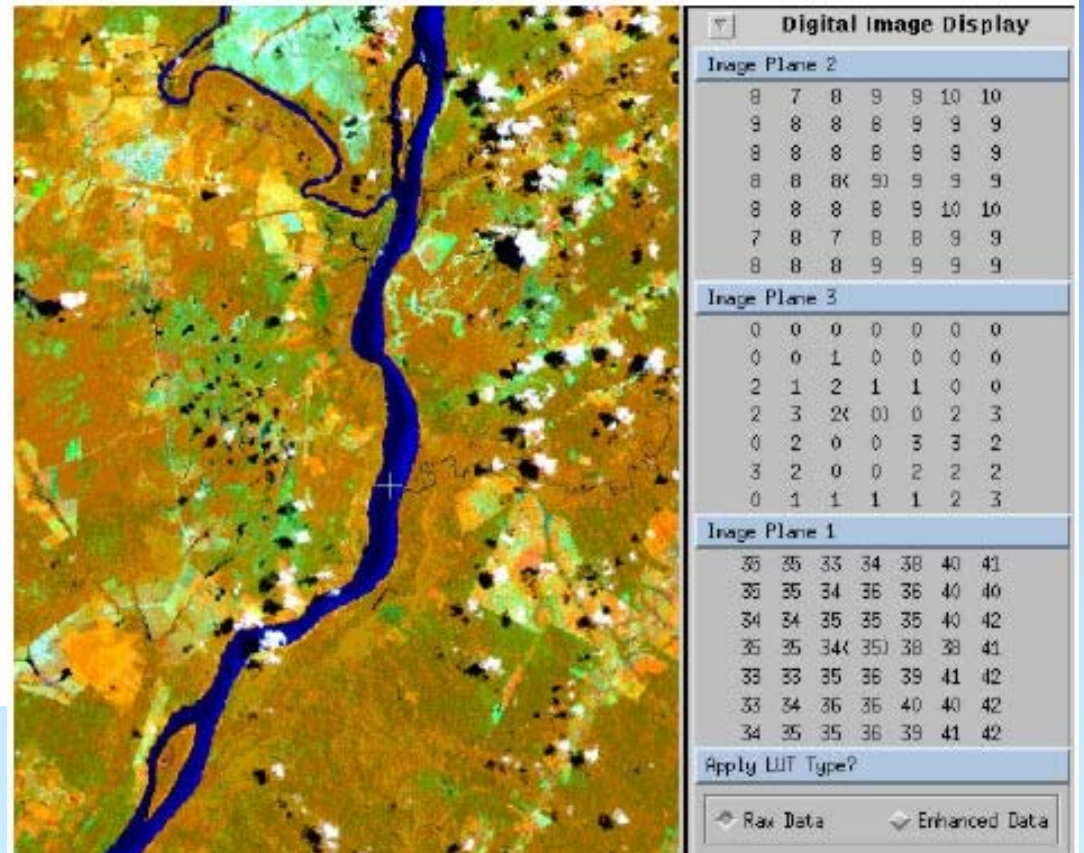
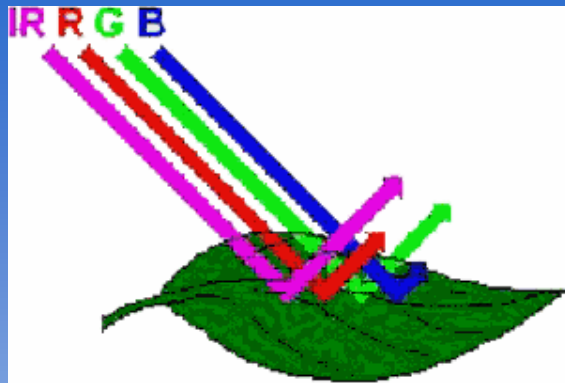
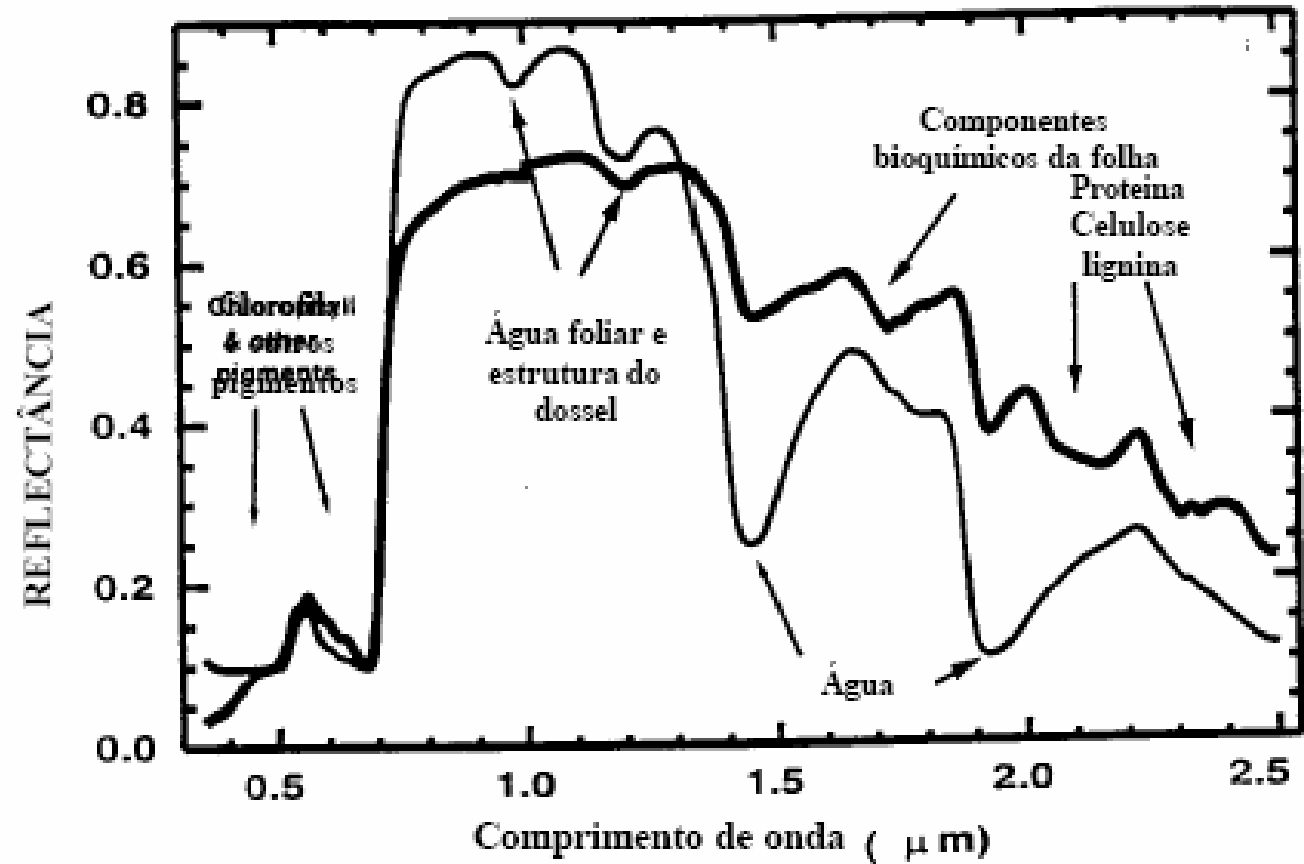


Figura 5 – Esquema de aquisição de medidas de fator de reflectância bidirecional de corpos d'água (fonte: Colvero et al., 1998).

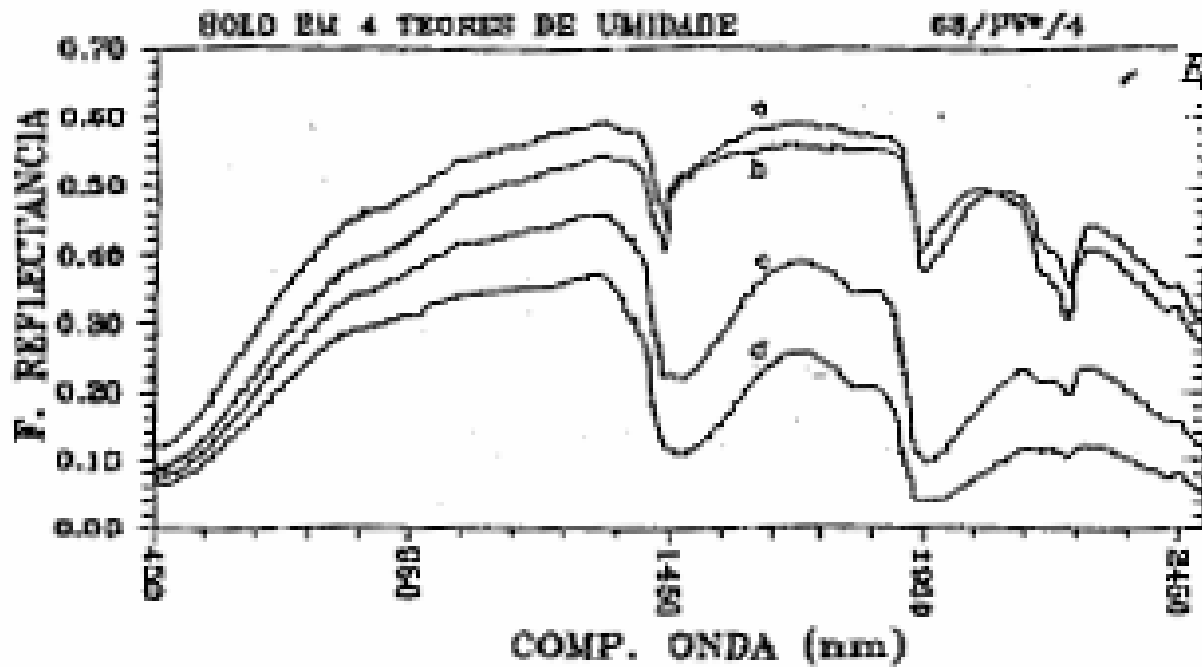
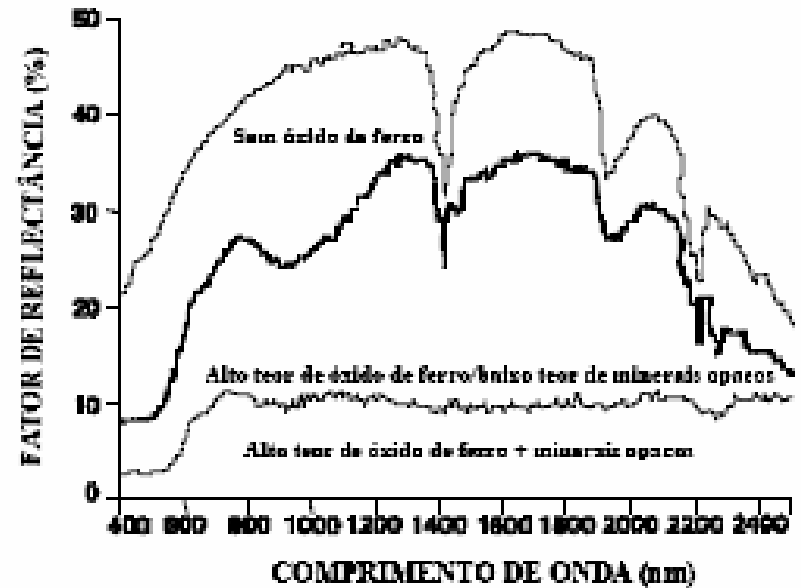




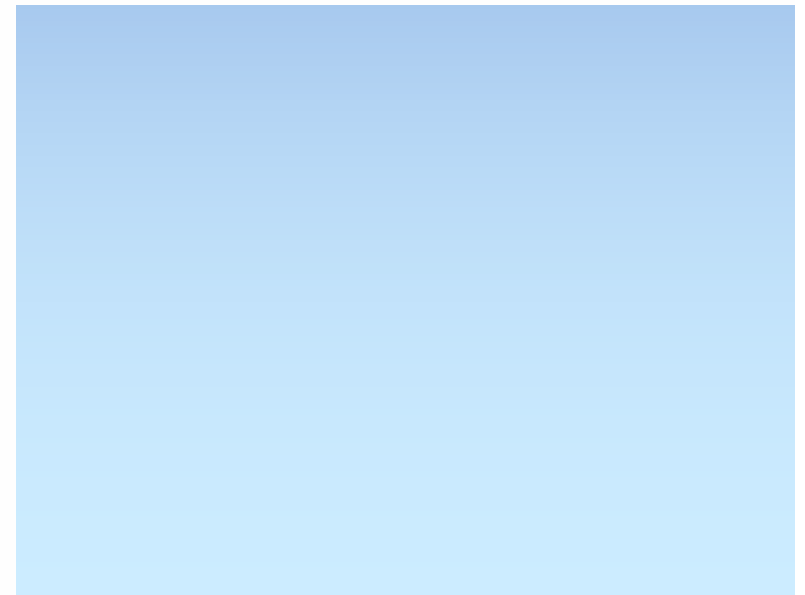
Vegetação



Solo



Efeito do teor de óxido de ferro e de minerais opacos



Água

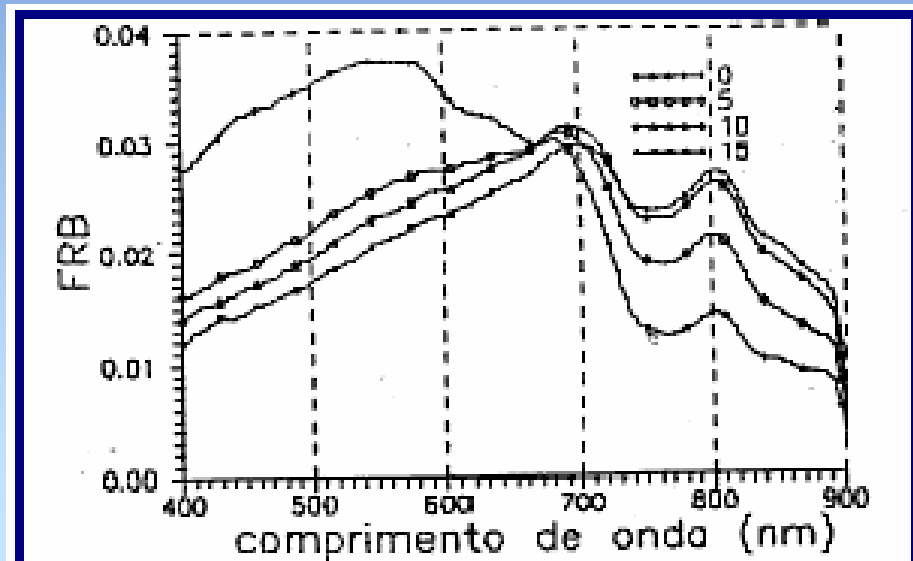


Figura 16 - Fator de reflectância bidirecional de simulações em laboratório de um corpo d'água com diferentes concentrações de matéria orgânica dissolvida (fonte: Mantovani, 1993).

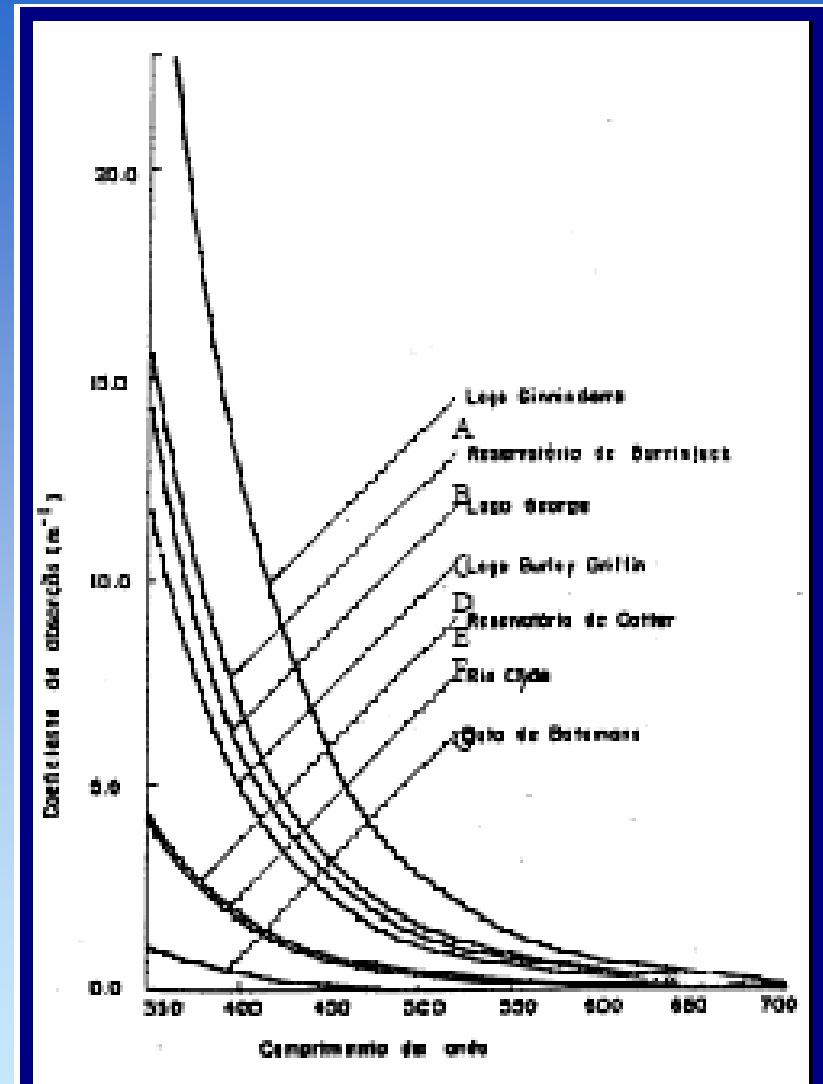
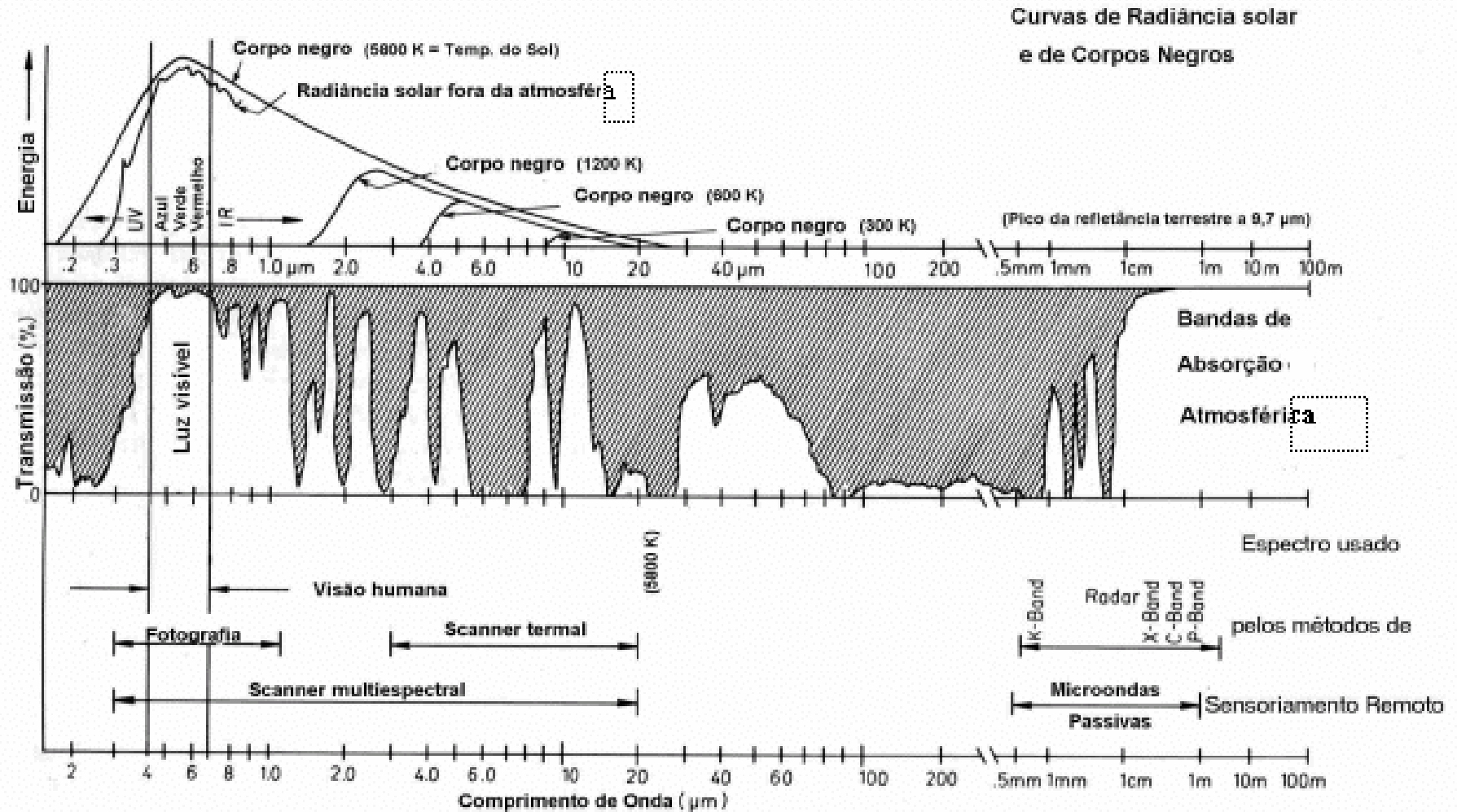


Figura 15 - Coeficiente de absorção de sistemas aquáticos com concentrações crescentes de substâncias orgânicas dissolvidas (A >> G) (fonte: Kirk, 1994).

6. Janela Atmosférica

Faixas espectrais para as quais a atmosfera é transmissível.



7. Níveis de Aquisição:

Terrestre

Aéreo

Orbital

Tipo de Satélites:

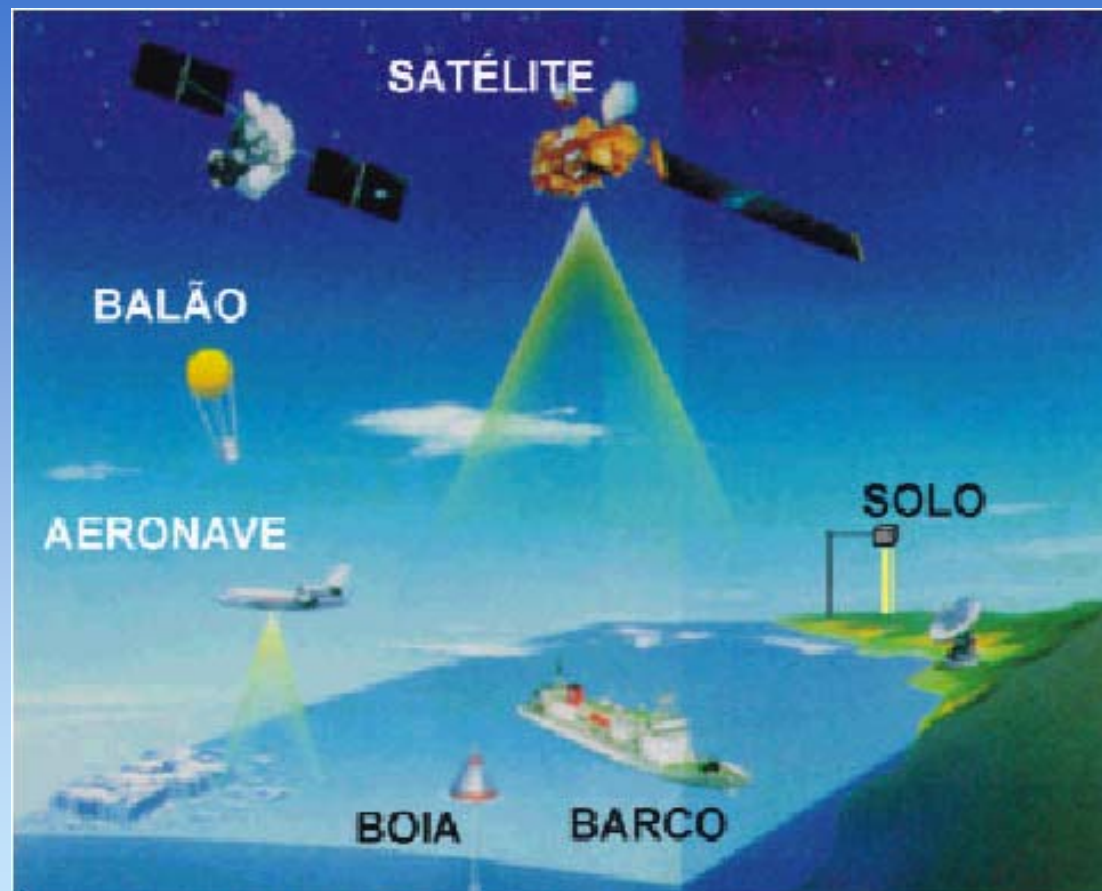
Militares

Científicos

Telecomunicações

Meteorológicos

Sensoriamento remoto



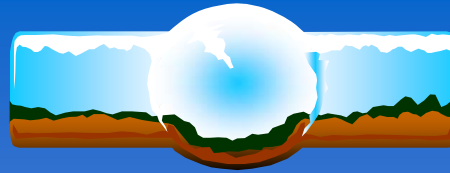
8. Classificação dos sensores remotos

8.1. Quanto à fonte de energia utilizada:

- *ativos - produzem sua própria radiação.*
- *passivos - detectam a radiação solar refletida/emitida.*

8.2. Quanto à região espectral que atuam:

- *ópticos - visível ao IV termal*
- *microondas*

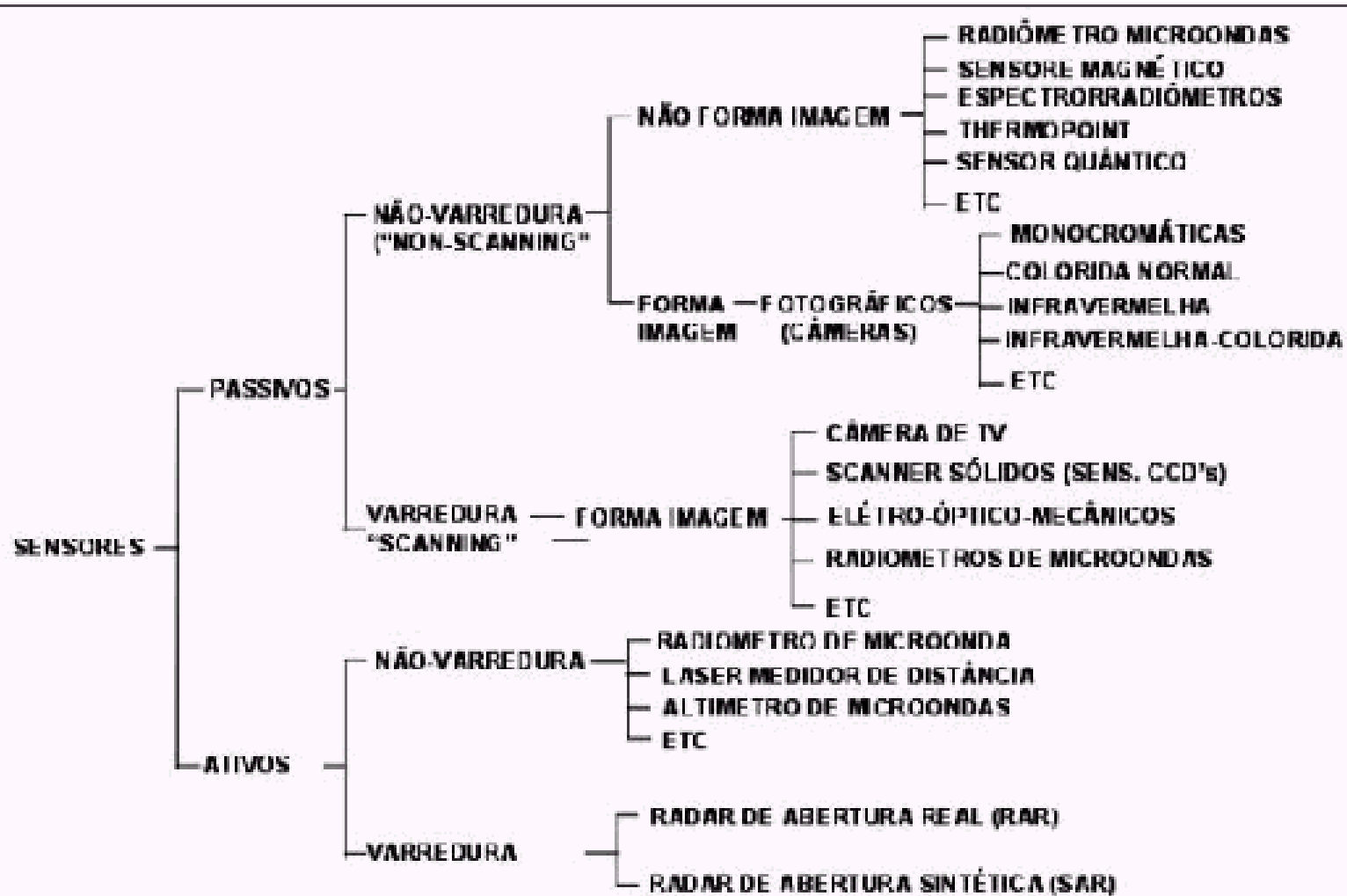


8.4. Sensores ópticos podem ser classificados em:

- *termais*
- *energia solar refletida*

8.5. Quanto ao tipo de produto gerado:

- *imageadores - detectam a energia fornecendo a variação espacial da resposta espectral e geram uma imagem.*
- *não-imageadores - detectam a energia e convertem-na em valores que podem ser apresentados na forma de gráficos, planilhas etc.*



8.6. Sensores imageadores podem ser classificados:

- *Fotográficos.*
 - *Imageamento eletro-óptico - imagens produzidas através da varredura de linhas do terreno numa faixa perpendicularmente à órbita do satélite. Os dados são registrados em forma de sinal elétrico, possibilitando a transmissão à distância.*
 - *RADAR (Radio Detecting and Ranging) - sensor ativo operando na região do microondas. A radiação emitida pela antena atinge a superfície e o sinal de retorno é detectado.*

9. Sensores fotográficos

9.1. Câmara fotográfica

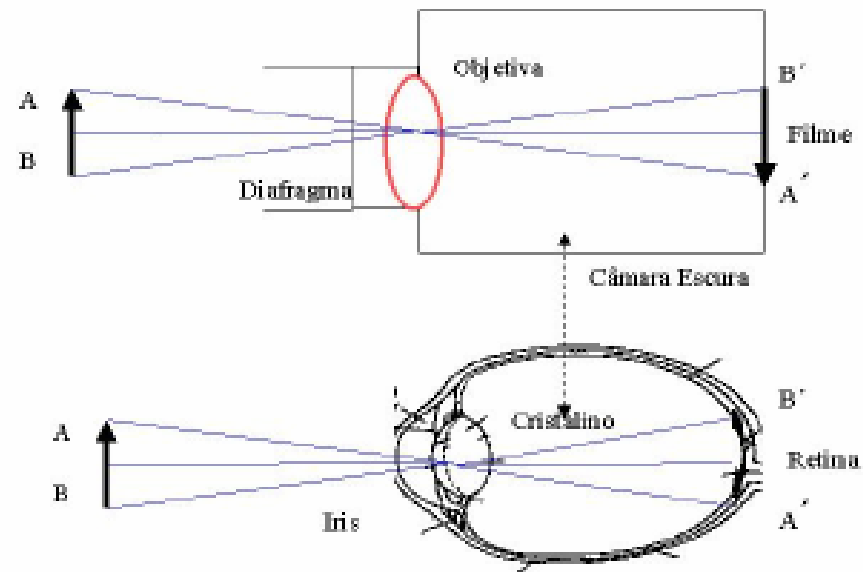


Figura 2 - Esquema geral do olho humano como uma analogia de um sensor

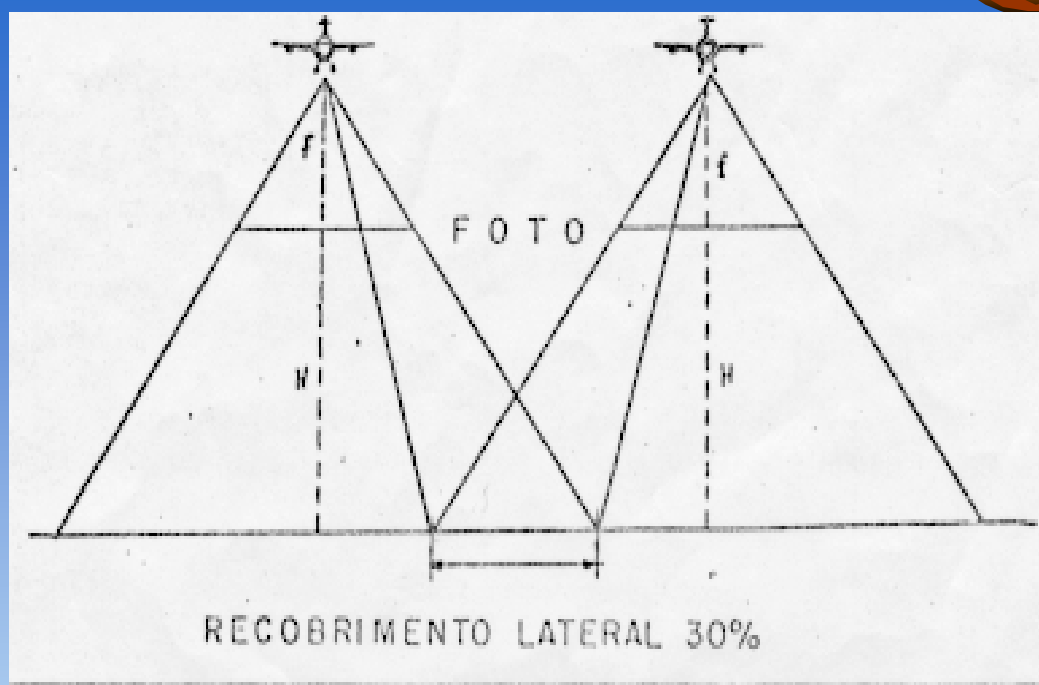
9.2. Recobrimento aerofotogramétrico



Sensores aerofotográficos

Cristiane Nunes Francisco/UFF

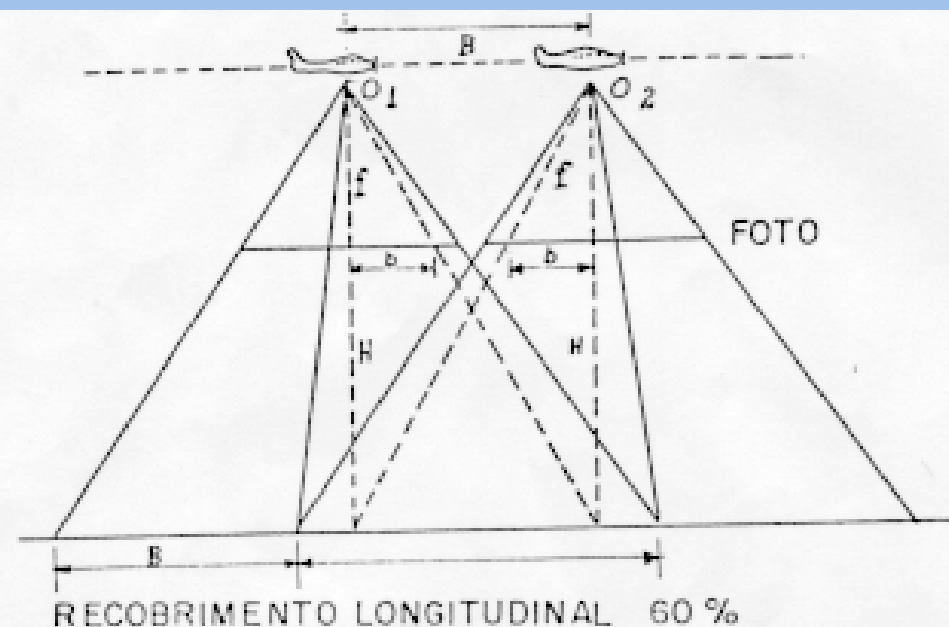




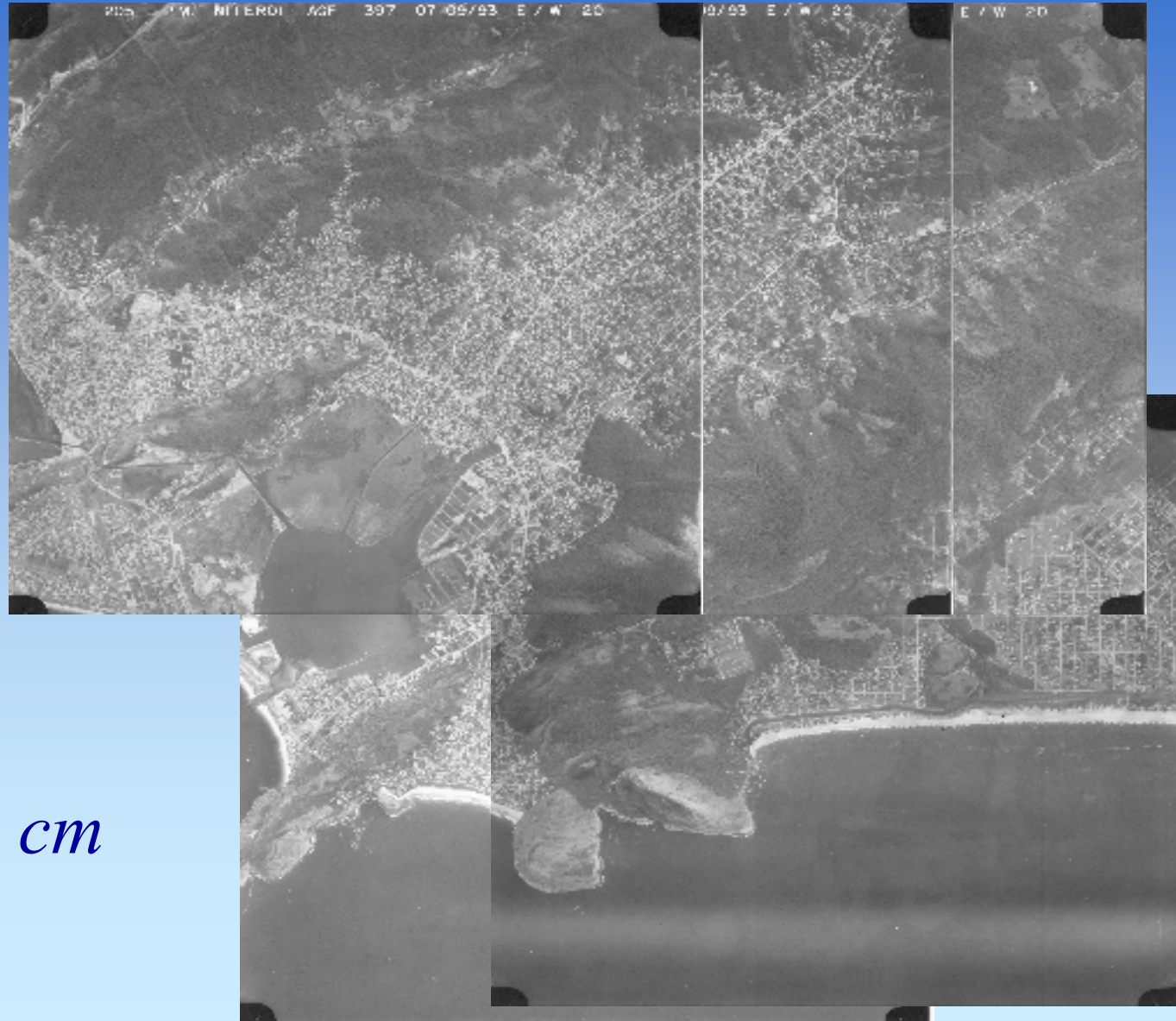
Para ter uma visão estereoscópica, é necessário que área seja registrada em duas fotos com o avião em diferentes posições.

9.3. Recobrimento

As fotografias apresentam, em geral, recobrimento lateral de 30% e recobrimento longitudinal de 60%.

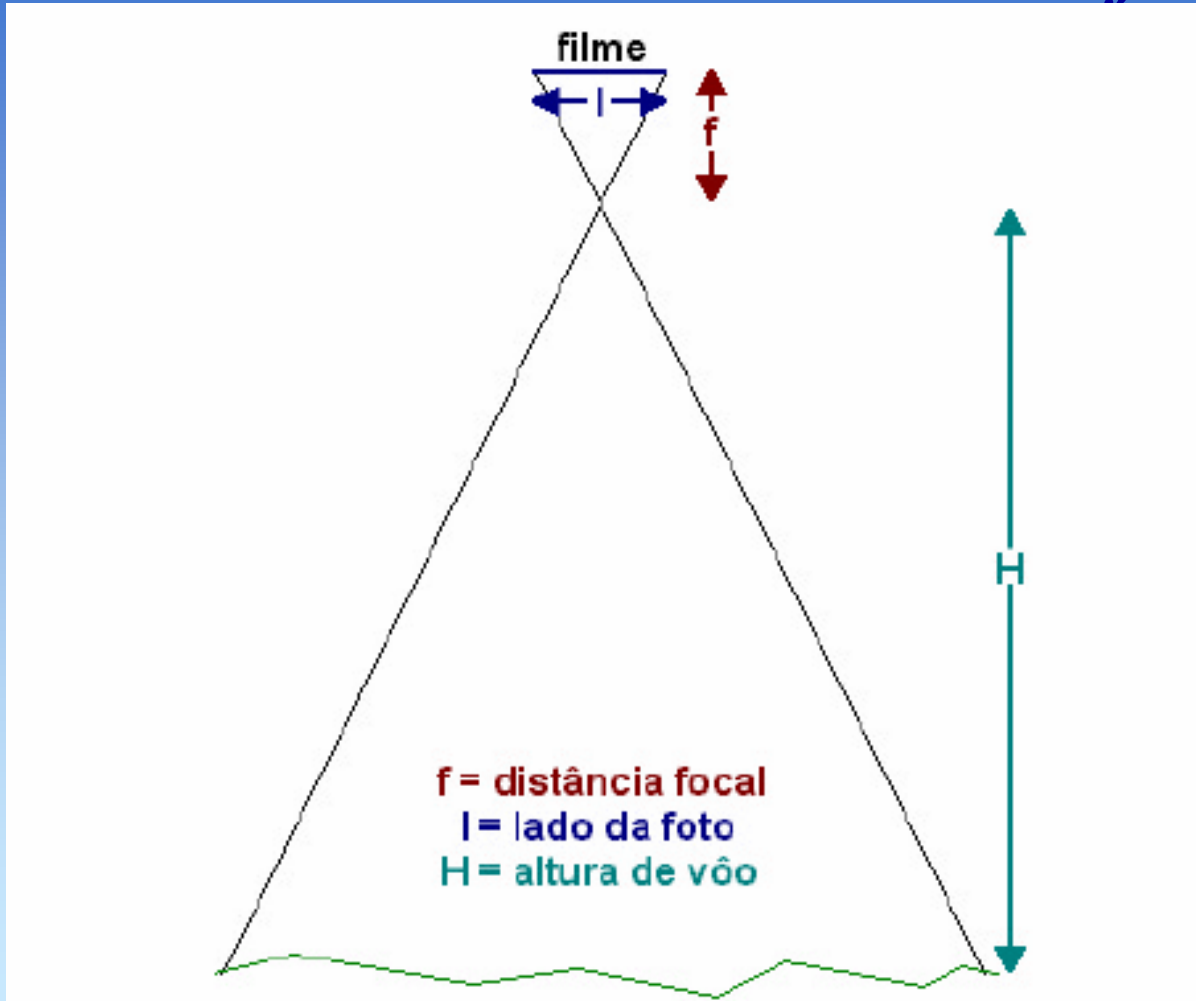


9.4. Formato das fotos aéreas



23 x 23 cm

9.5. Escala das fotos aéreas



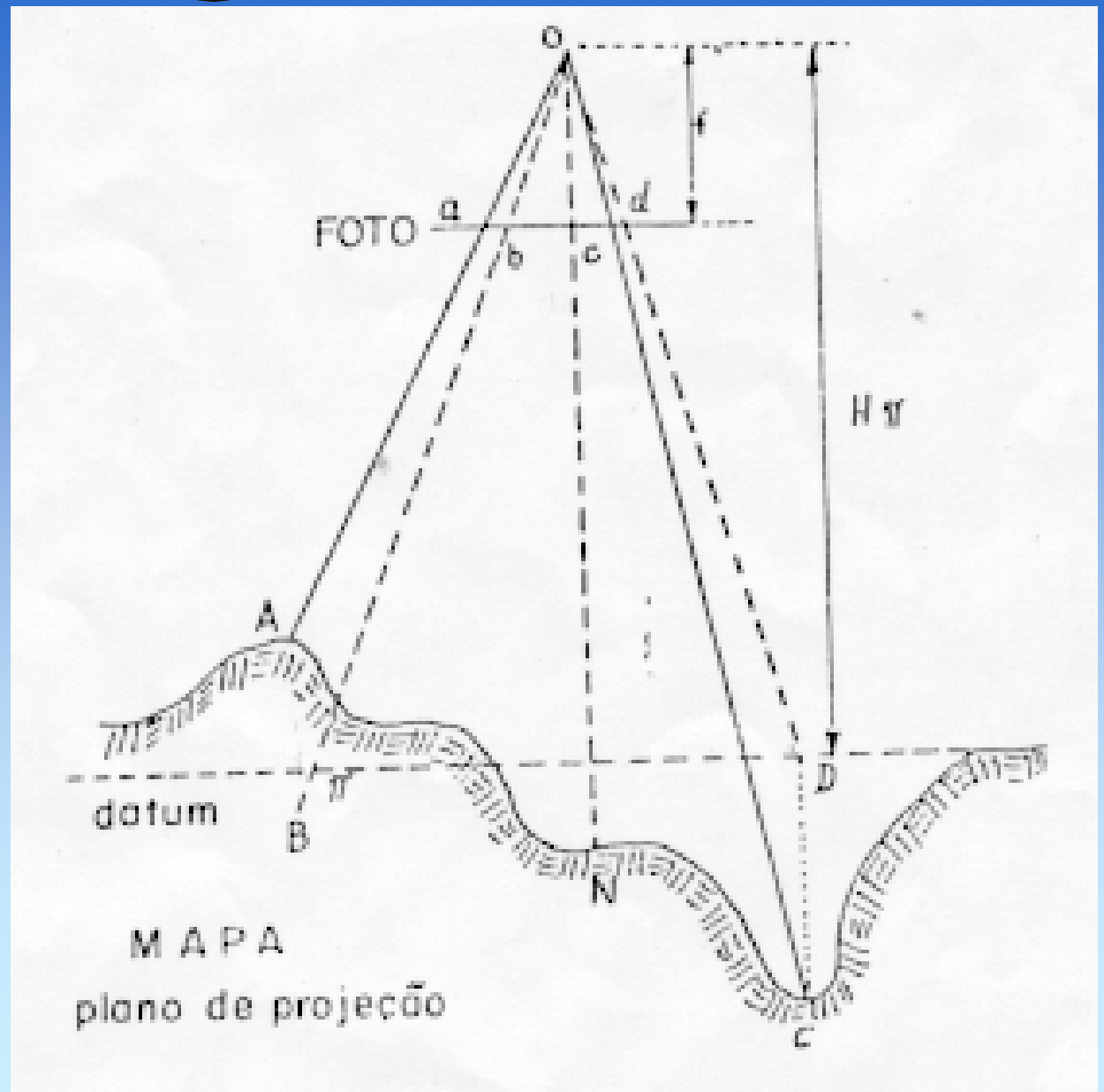
$$E = d/H.$$

$d = \text{distância focal};$

$H = \text{altura do vôo}$



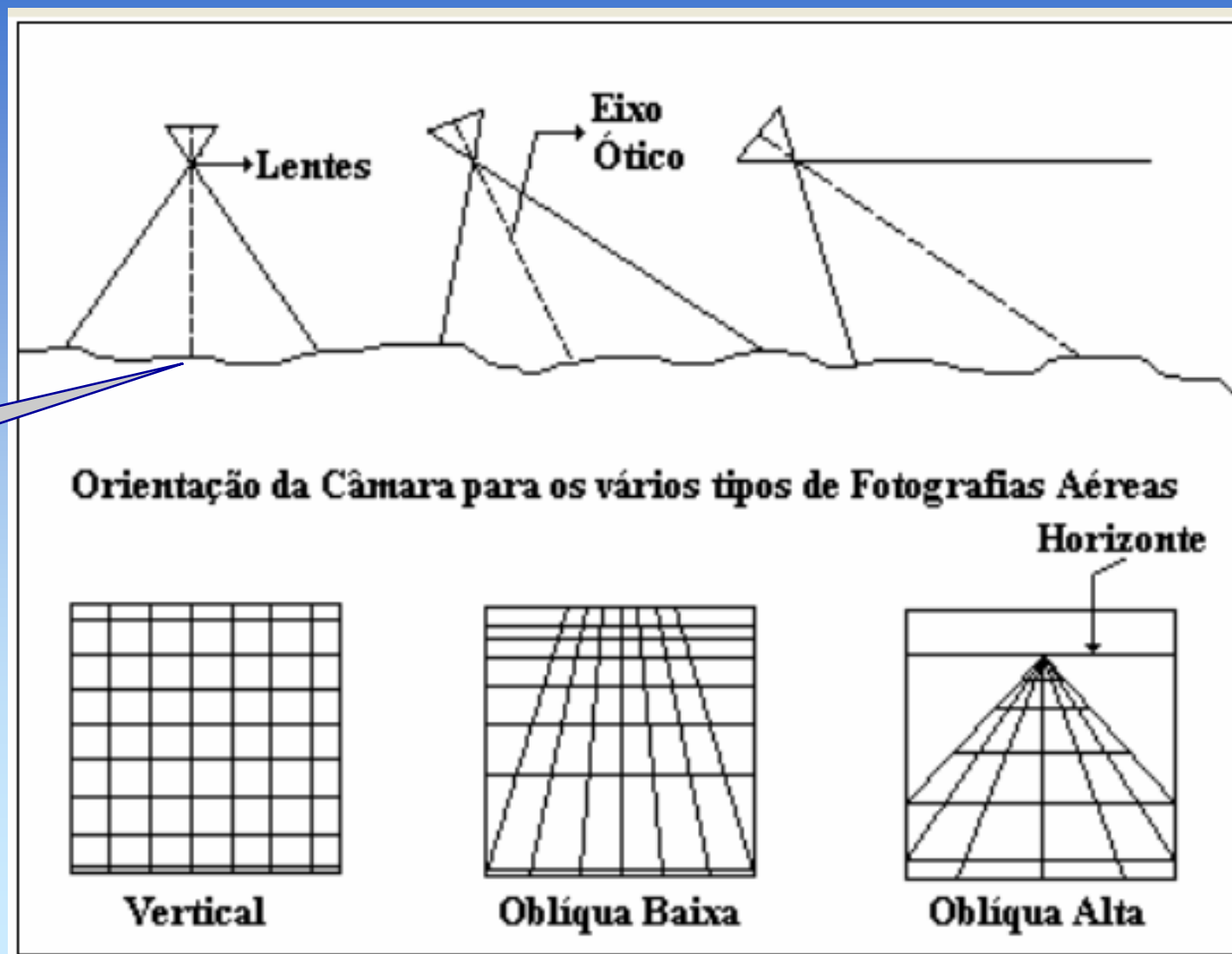
Escala e o relevo



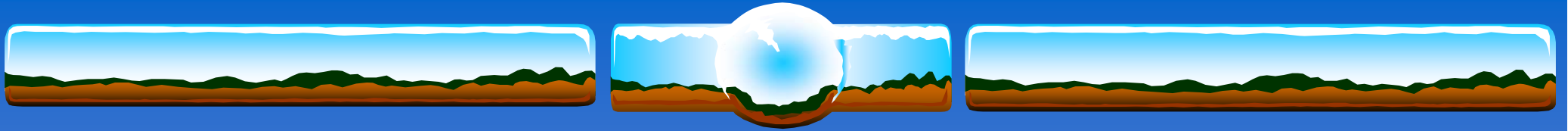
9.6 Foto-índice



9.5. Tipos de fotografias - orientação da câmara



Ponto nadir
=
Ponto principal



Oblíqua baixa



Oblíqua alta



9.5. Tipos de fotografias - filmes

- 1 - Imagens pancromáticas (colorida ou P&B):
Obtidas com filmes sensíveis ao espectro visível.*
- 2 - Imagens infravermelhas (falsa cor ou P&B):
Obtidas com filmes sensíveis ao infra-vermelho..*



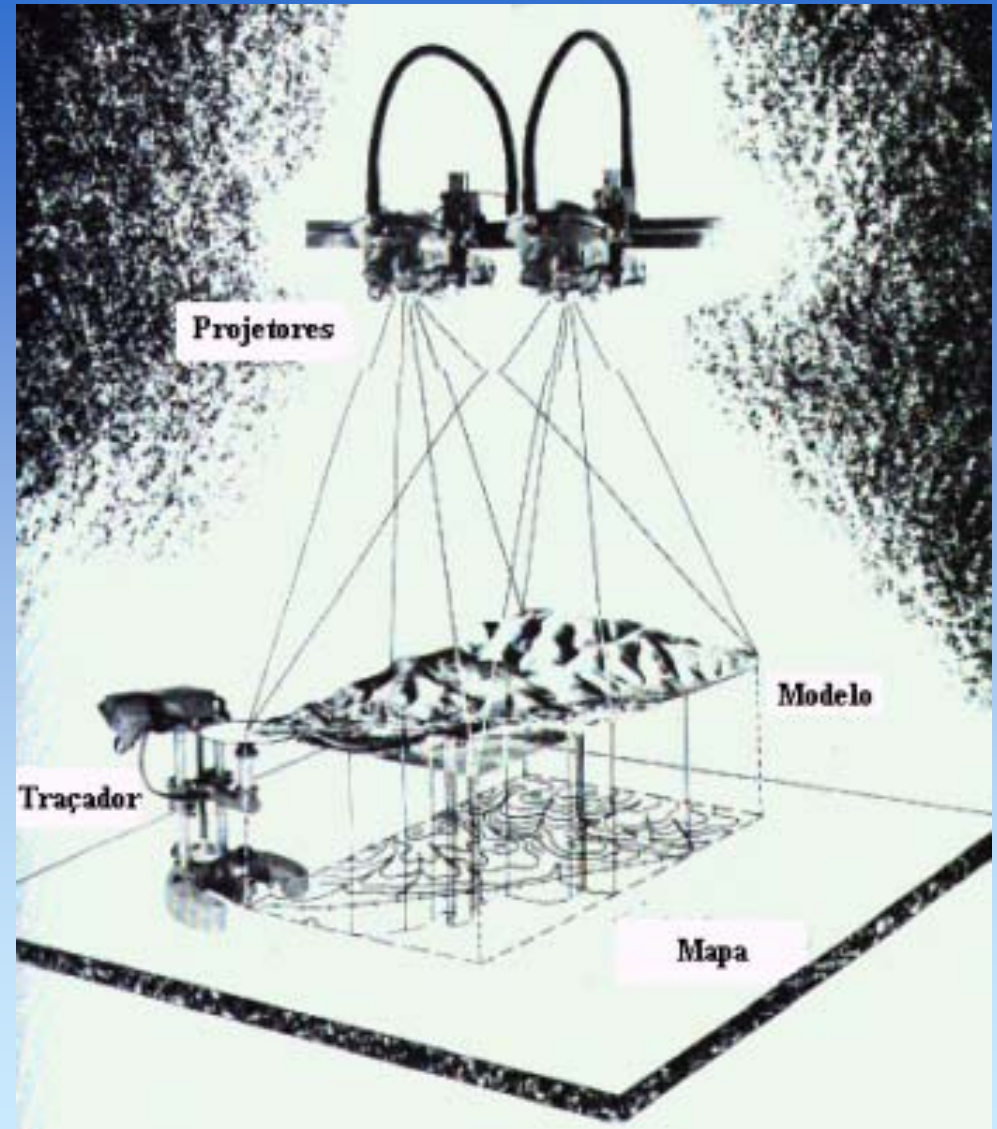
Foto 4. Foto IR com abertura f 9.5 e velocidade 1/3 segundos.



Foto 5. Fotovisível com abertura f 9.5 e velocidade 1/350 segundos.

9.7. Visão estereoscópica

Com o uso do estereoscópio colocado sobre duas de fotografias consecutivas - estereograma, é possível obter a visão estereoscópica, pois este equipamento “funde” a imagem dos objetos representados nas duas fotos.



9.8. Ortofotocarta

Produto com detalhes de uma imagem fotográfica e a qualidade geométrica de uma carta de traço.

A imagem fotográfica do terreno se apresenta distorcida devido:

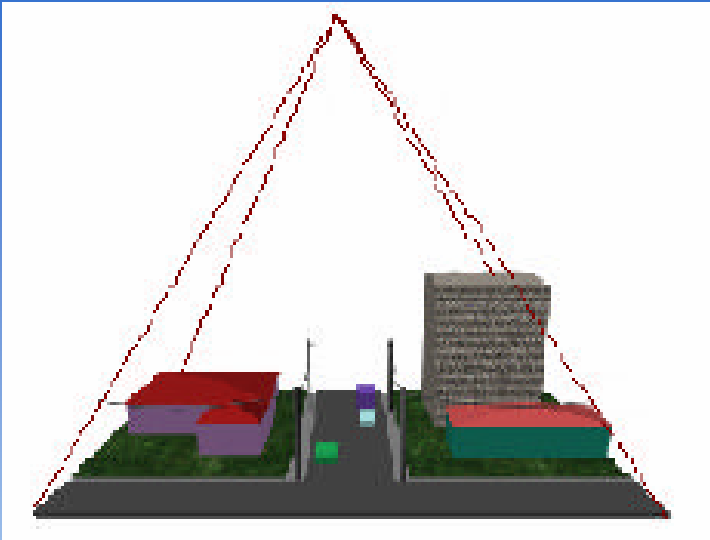
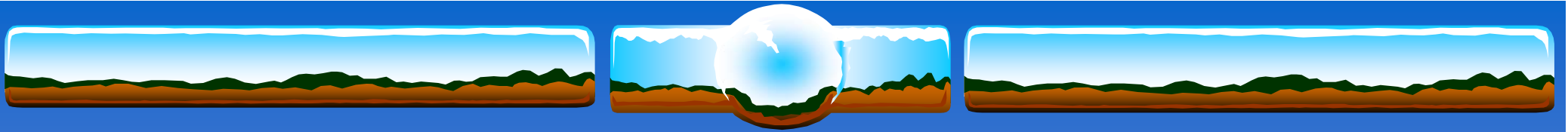
- ✓ *Projeção central do processo fotográfico;*
- ✓ *Variação da topografia do terreno;*
- ✓ *Distorção provocada pelo sistema de lentes da câmara fotográfica;*
- ✓ *Variações na altitude de vôo da aeronave;*
- ✓ *Curvatura da terra.*

As distorções provocam a variação da a escala na foto, impedindo que as medidas de coordenadas, distâncias e áreas sejam feitas corretamente sobre uma fotografia.

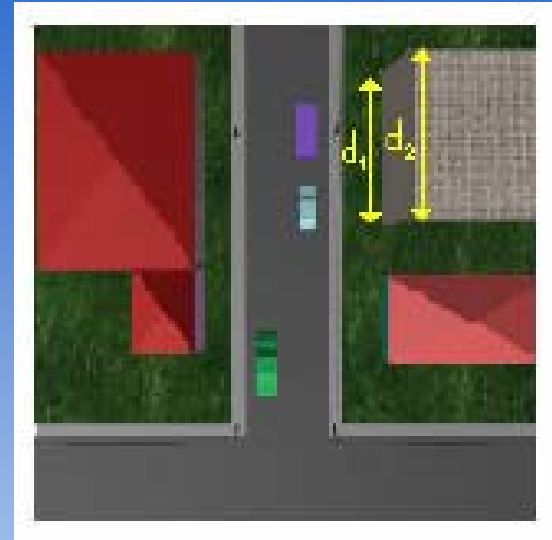
Sensores aerofotográficos: ortofoto

Cristiane Nunes Francisco/UFF

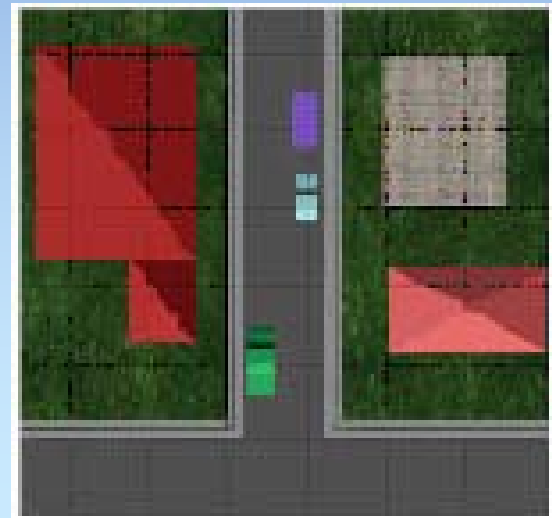
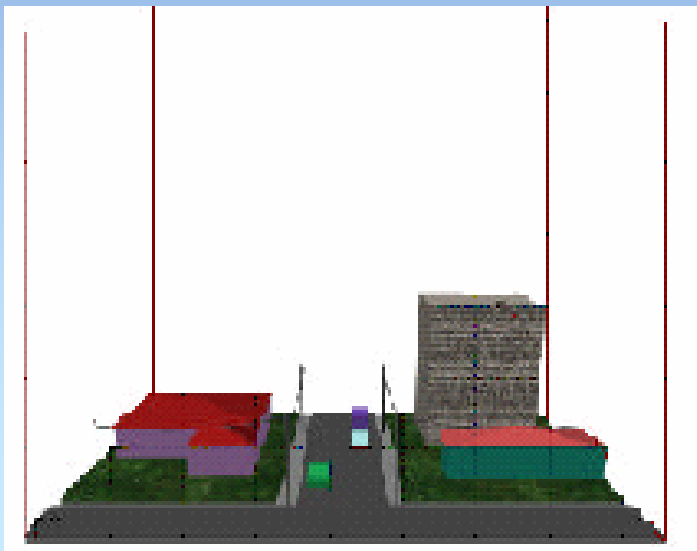


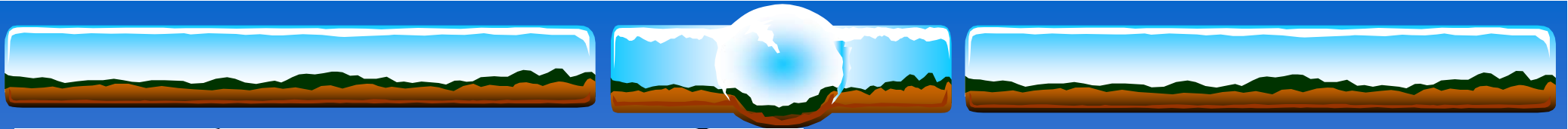


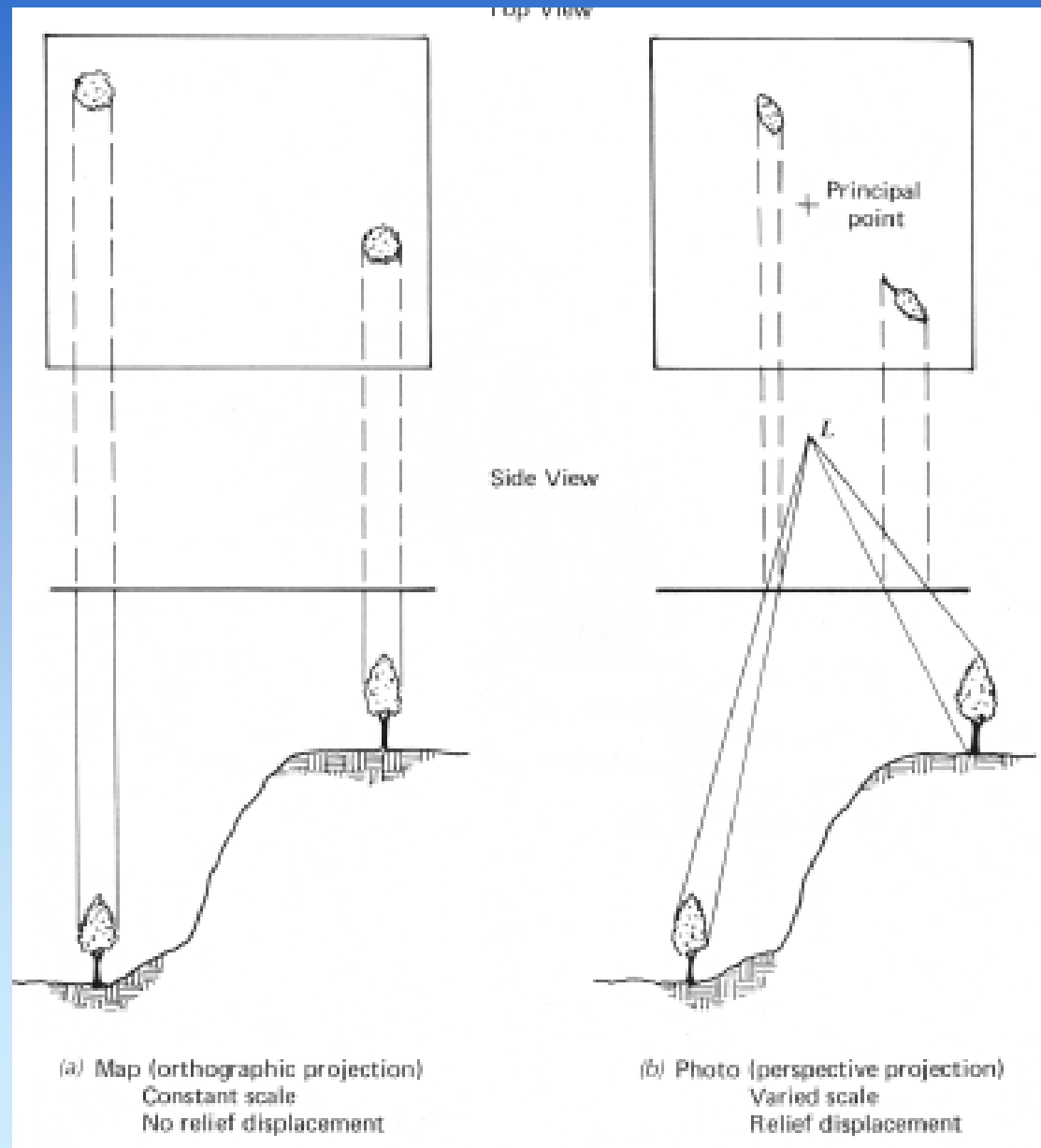
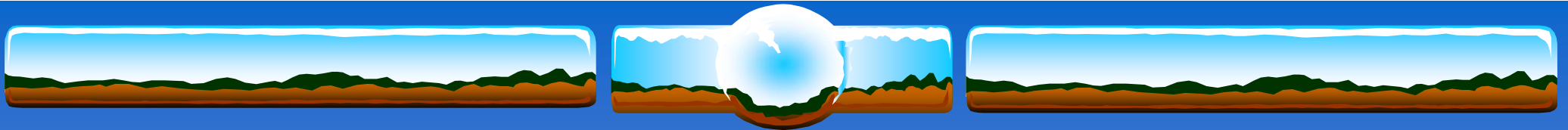
Projeção central



Projeção ortogonal



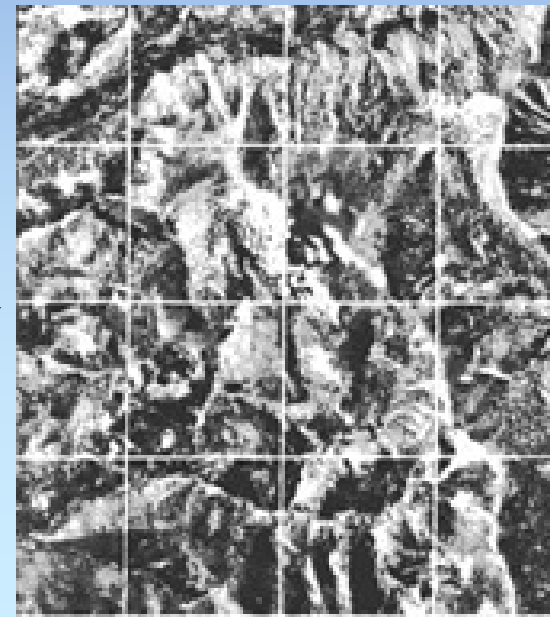
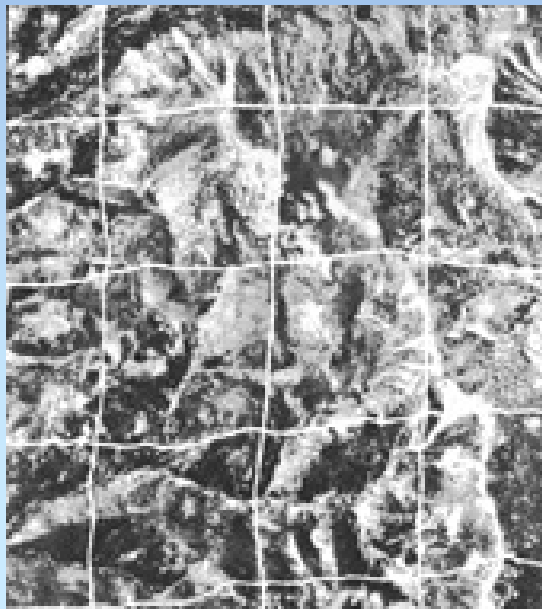




9.8.1 Correção da imagem

A imagem é "achatada, esticada e comprimida" até que as feições do terreno apareçam na sua correta posição e em escala constante.

*A projeção central é transformada em projeção ortogonal.
As distorções causadas pela curvatura da terra e a topografia do terreno são corrigidas.*

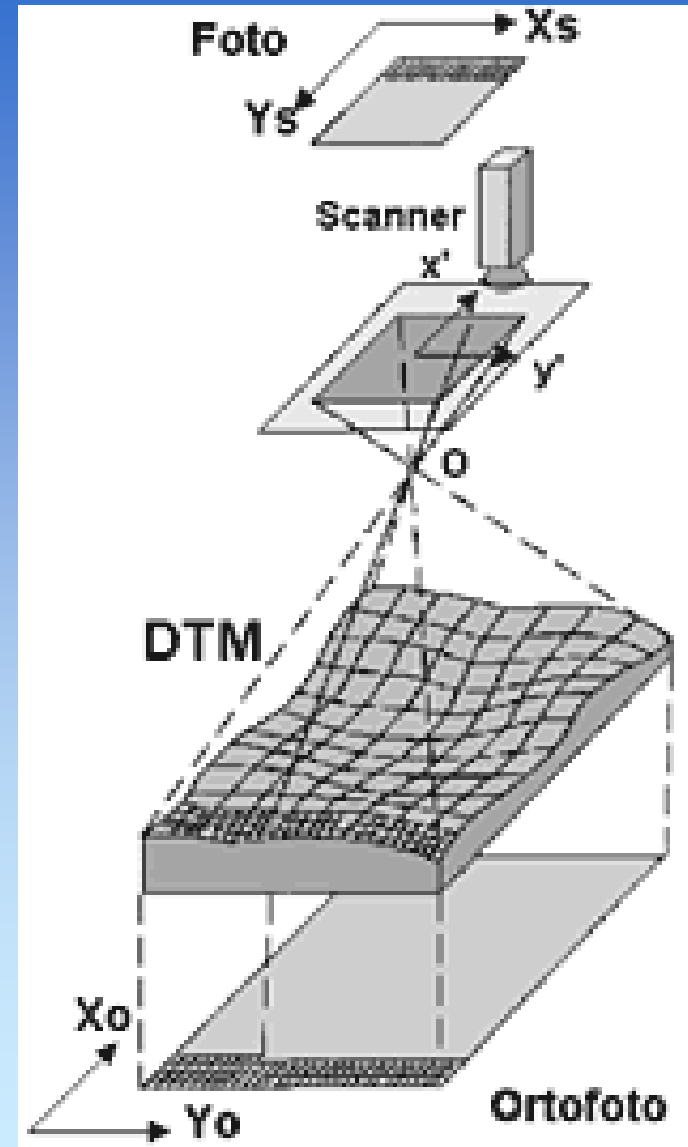


9.8.2 Retificação Diferencial

Transforma a imagem digital numa ortofoto

Consiste em transferir tons de cinza da fotografia aérea para uma malha fina e regular que representa a projeção ortogonal do terreno (MDT - Modelo Digital do Terreno).

Esquema



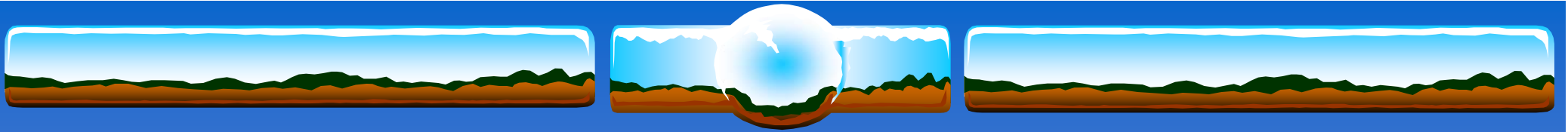


9.9. Elaboração de mapeamento a partir de fotografias aéreas

A- Recobrimento aerofotogramétrico ou vôo aerofotográfico –
Define-se a altitude que a aeronave irá voar, tipo de filme, filtro, comprimento total das linhas de vôo, número de fotos que serão tiradas, porcentagem de recobrimento longitudinal e lateral

B- Apoio de campo ou terrestre com Rastreadores de Satélite - GPS

Estabelece um sistema de coordenadas nas aerofotos, onde são marcados pontos de controle (facilmente identificáveis) a serem levantados em campo através de Rastreadores de Satélite - GPS.



C- Aerotriangulação

Os pontos de controle são densificados e distribuídos sobre todo o bloco de aerofotos, assim estabelecendo-se em todas as aerofotos um referencial em X, Y e Z.

D- Restituição aerofotogramétrica

Transferência das feições do terreno da imagem fotográfica sob a forma de traços através do restituidor.

E- Reambulação

Levantamento em campo de pontos que ficaram obscuros nas aerofotos e da toponímia.

9.10 Plano de Vôo

Área – 16.000m (L) x 8000m (A)

Escala aproximada (E) – 1:10.000

Tamanho das fotografias (T) – 23 x 23 cm

Recobrimento lateral (RLa)– 25%

Recobrimento longitudinal (RLo)– 60%

Quantas fotos são necessária para recobrimento da área?



1) Campo abrangido lateral e longitudinal (C)

$$T / Escala = 23 * 1 : 10.000 = 2.300 \text{ m}$$

2) Cobertura Lateral Efetiva (CLa)

$$C * (100 - RLa)\% = 2.300 * ((100 - 25)/100) = 2300 * 0,75 = 1.725 \text{ m}$$

3) Cobertura Longitudinal Efetiva (CLo)

$$C * (100 - RLo)\% = 2.300 * ((100 - 60)/100) = 2300 * 0,40 = 920 \text{ m}$$

4) Número de Faixas (Fa)

$$A + 2(1/4 * C) / (CLa) = 8.000 + 2(1/4 * 2.300) / 1.725 = 5,31 \doteq 6 \text{ fotos}$$

5) Número de fotos por linha de vôo (Fo)

$$(L / CLo) + 4 = (16.000 / 920) + 4 = 21,4 \doteq 22 \text{ fotos}$$

6) Número total de fotos

$$Fa * Fo = 22 * 6 = 132 \text{ fotos}$$

10. Imageadores eletro-ópticos

- Varredura Mecânica: realizada com auxílio de um espelho que oscila perpendicularmente ao deslocamento do satélite. A imagem do terreno ao longo da faixa é focalizada sobre uma matriz de detectores.
- Varredura Eletrônica: a energia que atinge o espelho plano é focalizada sobre uma matriz linear de detectores cujo número corresponde à área imageada por cada linha no terreno. Este sistema permite o imageamento instantâneo de uma linha completa no terreno perpendicular à direção de deslocamento do satélite.

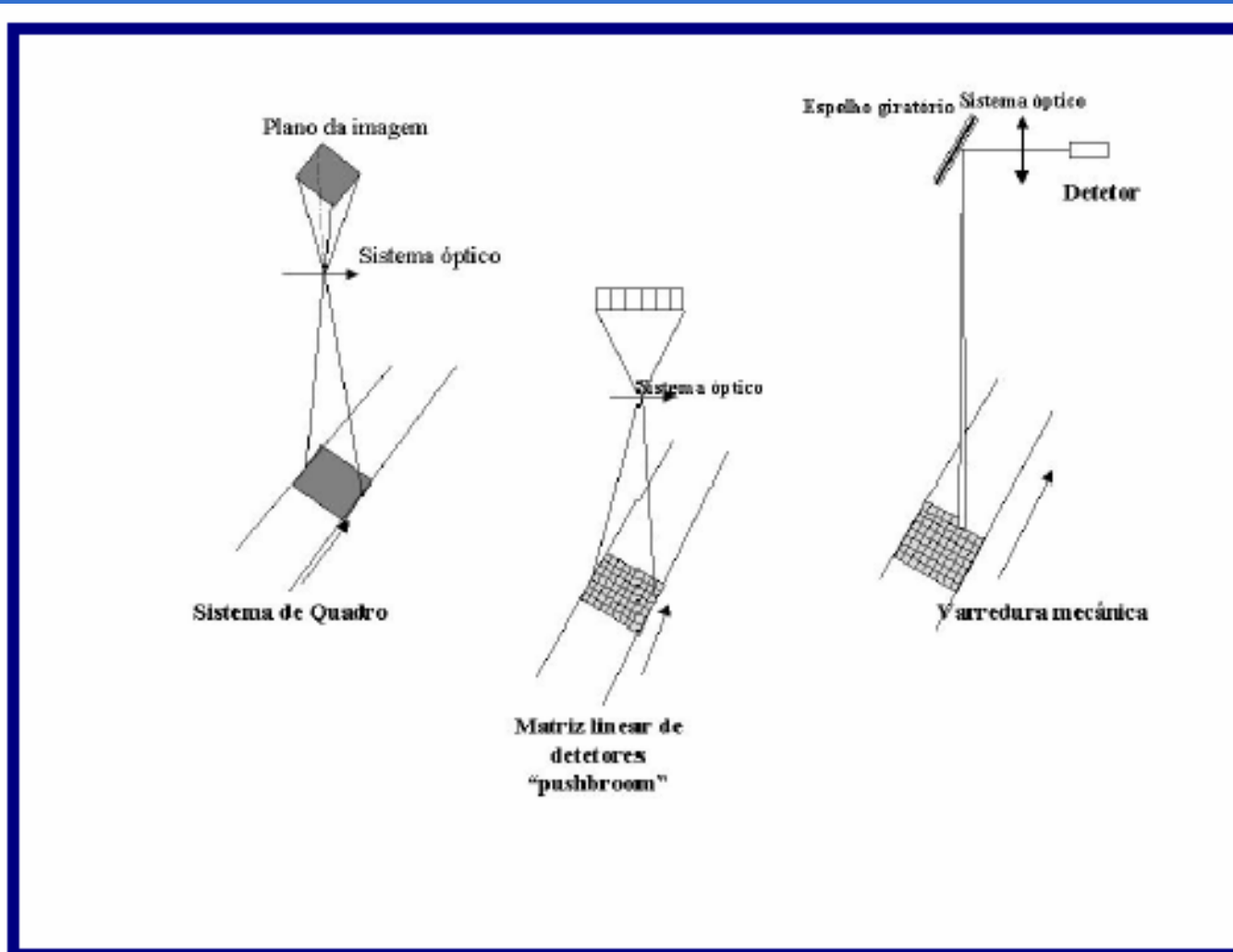
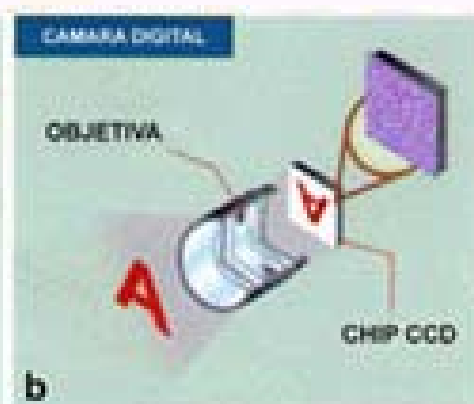
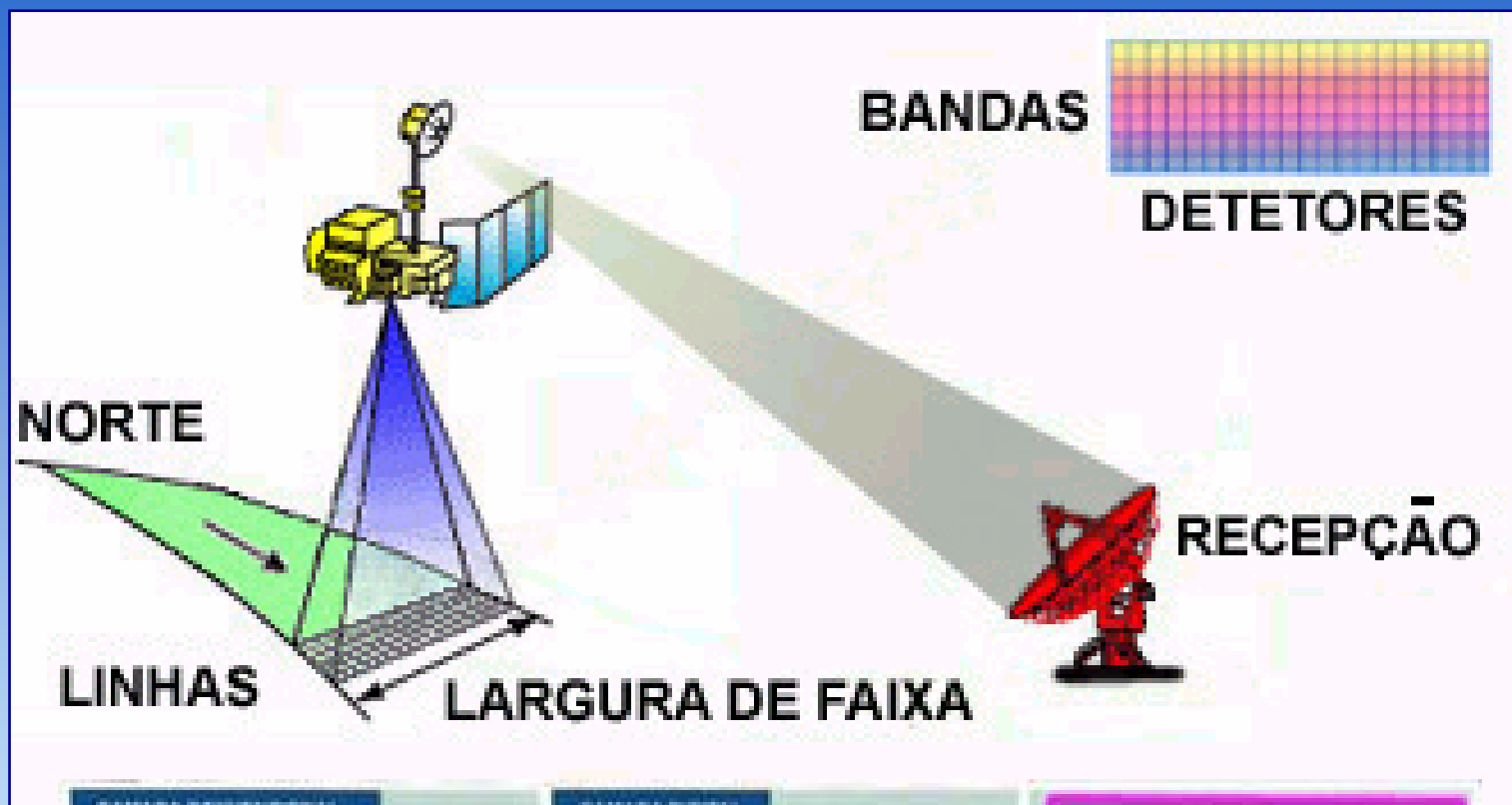
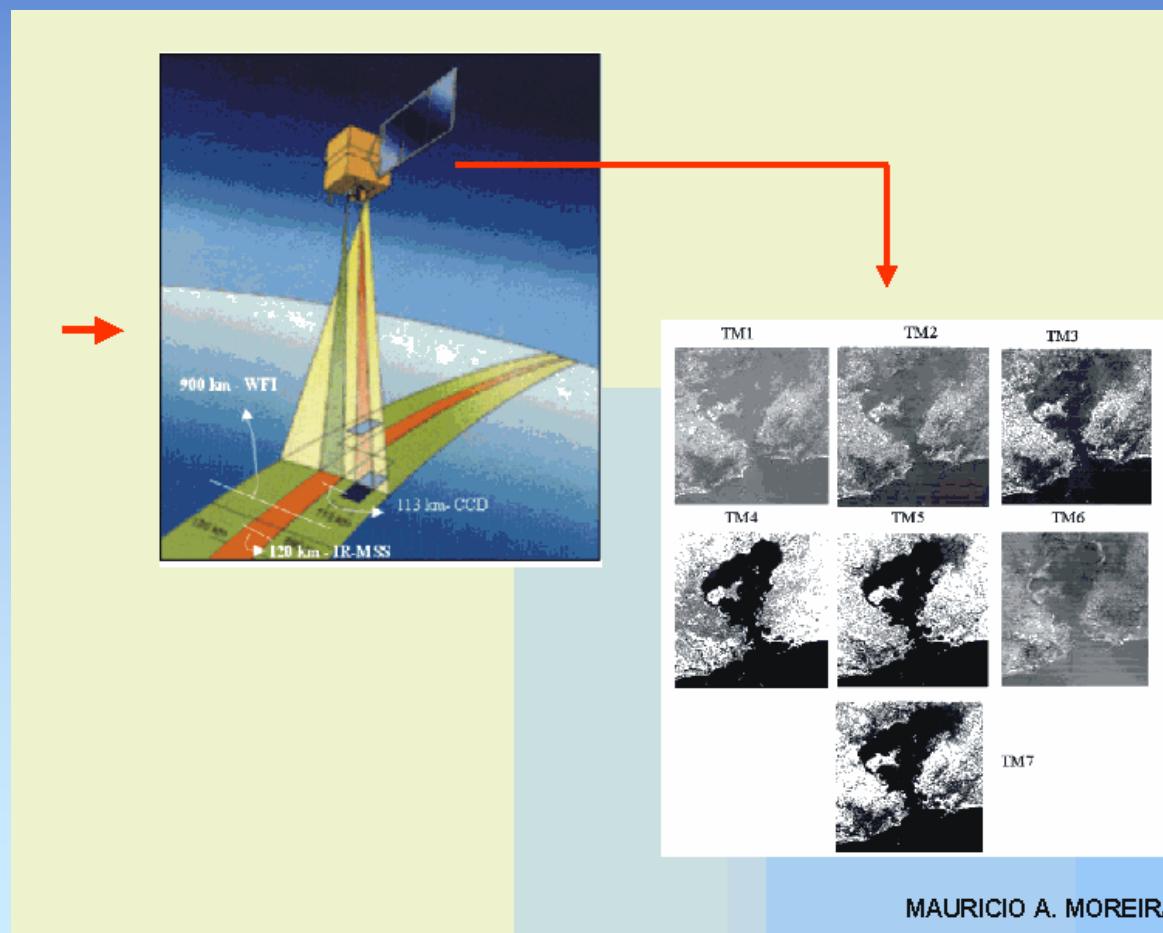
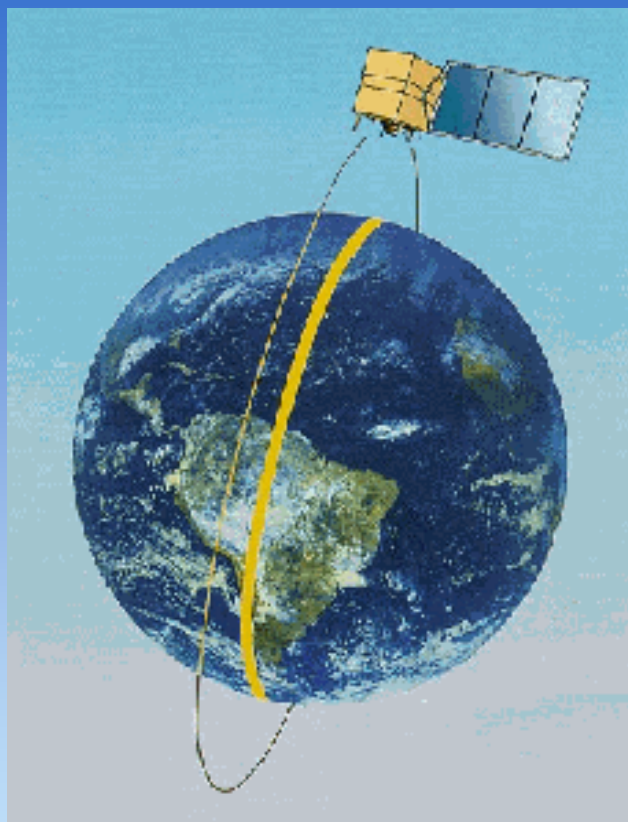


Figura 3 – Tipos de sistemas imageadores (adaptado de Elachi, 1987)



As câmaras digitais dispõem de um conjunto de chips microeletrônicos denominados por CCD's, dispostos matricialmente, representando pequenos sensores no estado sólido. Quando a EE atinge a superfície de silicone do CCD, dá-se uma descarga eletrônica, com uma magnitude e uma carga proporcional ao brilho da cena.



10.1 Imagens digitais

- Constituídas por um arranjo de elementos discretos sob a forma de uma matriz.
- Cada elemento discreto, pixel, apresenta uma localização em um sistema de coordenadas do tipo coluna (x) e linha (y) e possui um atributo numérico (z) que indica o nível de cinza e corresponde à radiação refletida ou emitida pelos alvos e registrada pelo sensor.

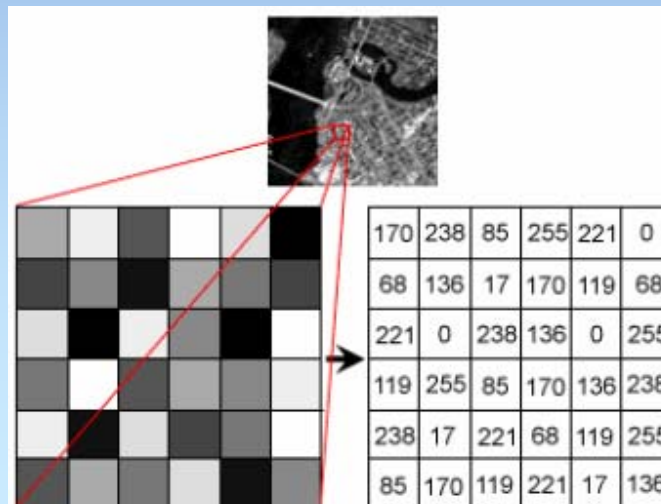


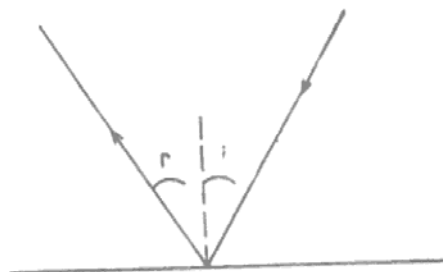
Figura 1.5. Representação matricial em uma imagem de satélite, onde cada pixel possui um valor de nível de cinza (CCSR, 1998).

11. RADAR

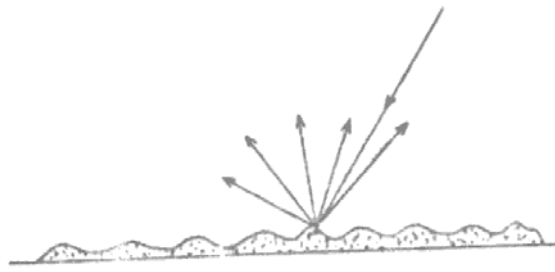
A amplitude do sinal de retorno é função de diversos fatores, entre eles:

- *rugosidade superficial (microrelevo) ou tamanho do alvo*
 - *cobertura do solo*
- *geometria da superfície (macro relevo)*
 - *ângulo de incidência*
 - *comprimento de onda*

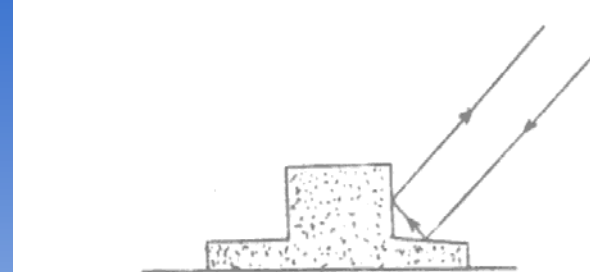
11.1. Tipos de reflexão



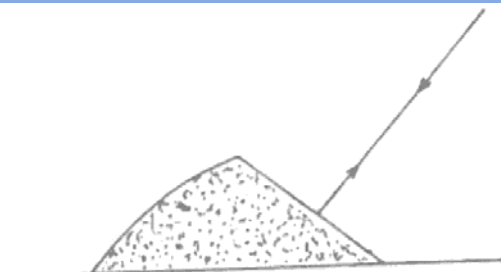
1 - ESPECULAR



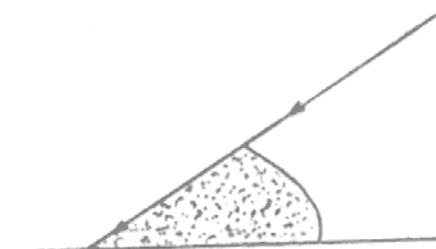
2 - DIFUSA



3 - REFLETOR DE CANTO



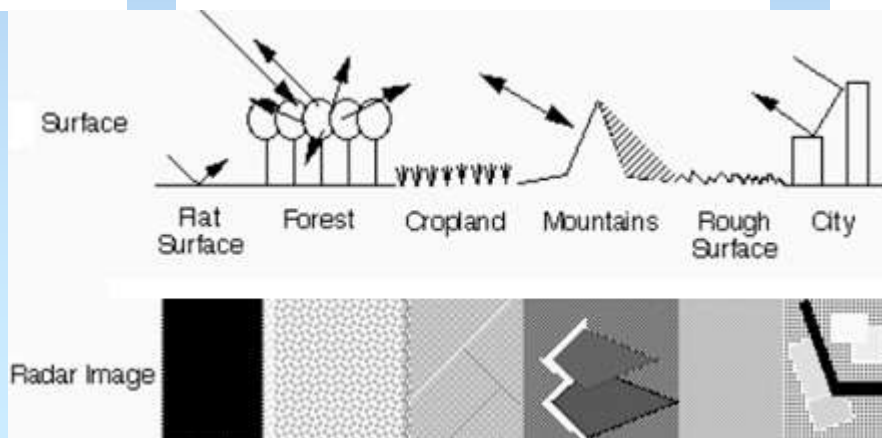
4 - FRONTAL OBTUSA

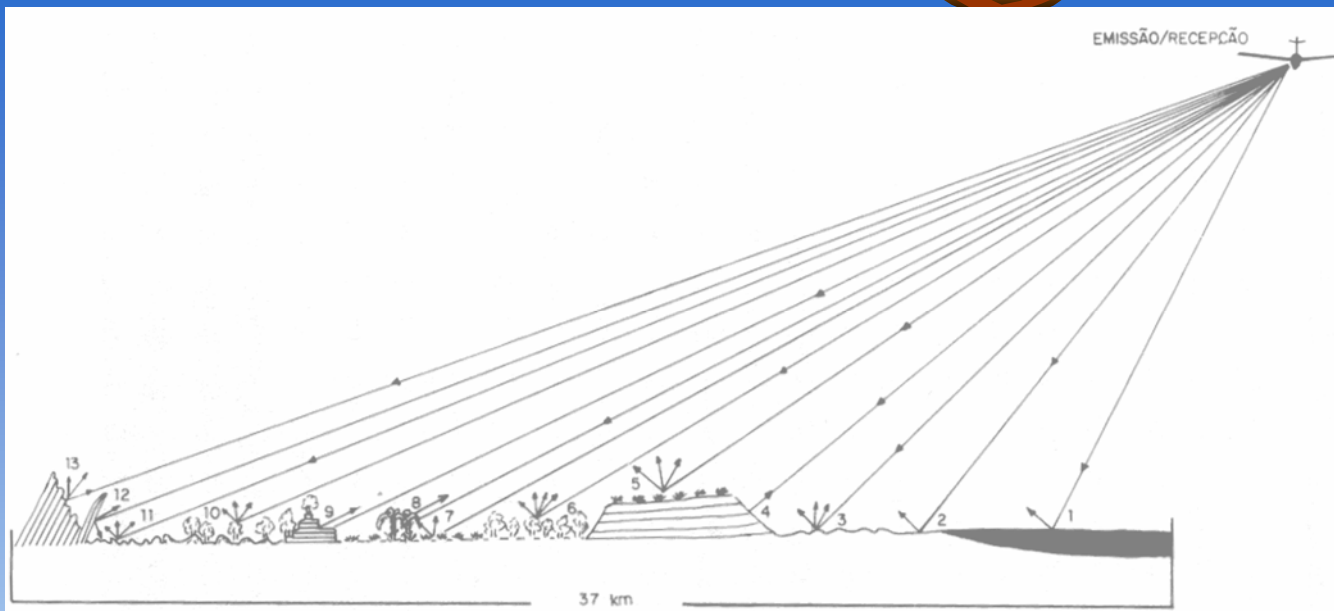


5 - GRAZING

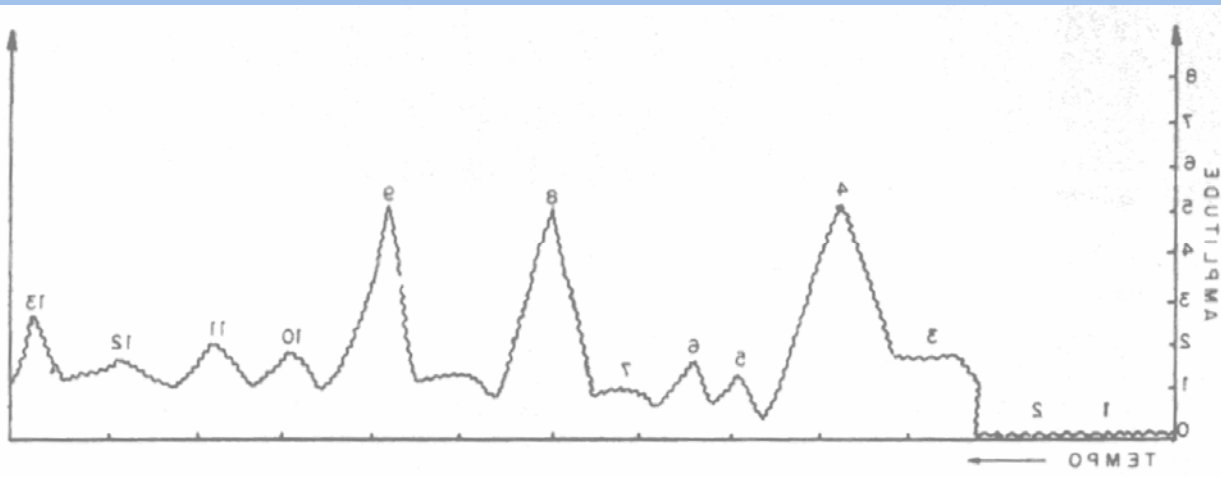


6 - FRONTAL AGUDA





Superfície lisa:
 $h < \lambda / 25 \text{ sen}\theta$;
 h = altura da rugosidade;
 λ = comprimento de onda;
 θ = ângulo de incidência.

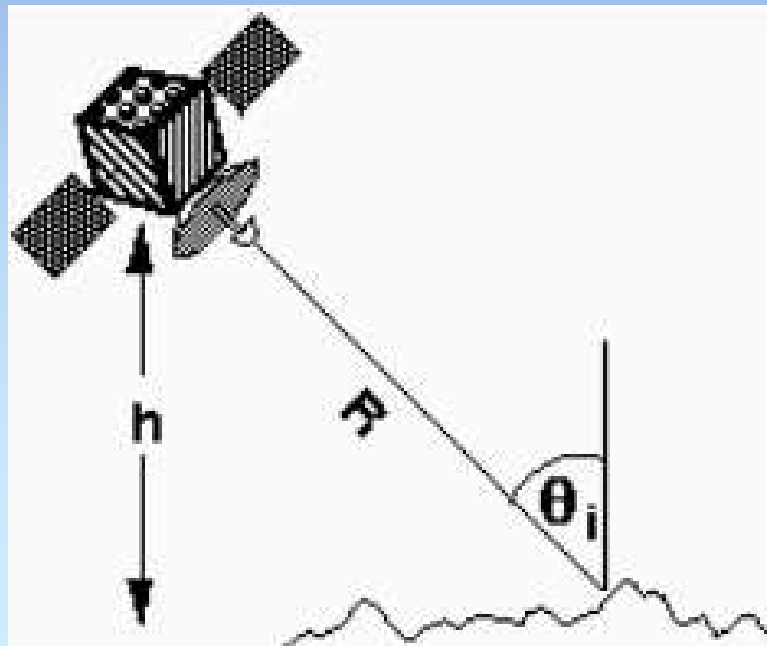


Direção e amplitude do sinal de retorno segundo a rugosidade e a topografia do terreno

Os alvos que se aproximam do tamanho do comprimento de onda, ou são maiores, aparecem brilhantes, já os alvos que são menores do que o comprimento de onda usado aparecem escuros na imagem.

11.2. Ângulo de incidência

- Ângulo formado entre onda Radar e a superfície terrestre.
- Ângulos de incidência baixos - próximos da vertical - sinais de retorno intensos.
- Ângulo de incidência aumenta, ou seja, fica mais inclinado, se aproximando da horizontal - sinais refletidos menos intensos.



θ_i = ângulo de incidência

11.3 Bandas de operação do RADAR

*Tabela 1 – Bandas de operação de sistemas RADAR e suas aplicações
(fonte:RADARSAT, 1997).*

| Banda | Comprimento de onda (cm) | Frequência (GHz) | Principal aplicação |
|-------|-----------------------------|---------------------|--|
| X | 2,4 - 3,8 | 8,0 - 12,5 | Reconhecimento militar, reconhecimento de terreno |
| C | 3,8 - 7,5 | 4,0 - 8,0 | Monitoramento de gelo e aplicações oceanográficas |
| S | 7,5 - 15,0 | 2,0 - 4,0 | Reconhecimento de terreno |
| L | 15,0 - 30,0 | 1,0 - 2,0 | Mapeamento de cobertura vegetal |
| P | 75,0 - 133,0 | 0,225 - 0,400 | Mapeamento de cobertura vegetal |

Transmissão da energia segundo comprimento de onda

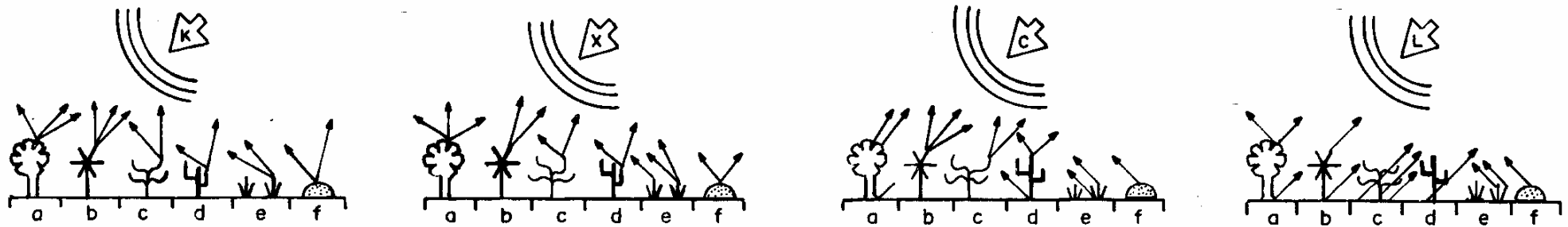


Figura 33 - Comprimentos de Onda e sua Penetração na Cobertura Vegetal.
 a- Floresta b- Palmeira c- Cerrado d- Caatinga e- Gramínea f- Morro sem vegetação

$$K = 1,18-2,4; X = 2,4-3,75; C = 3,75-7,5; L = 15-30 \text{ (cm)}$$

11.4 Interpretação de imagem de RADAR



| Parâmetro da Superfície | Resposta observada em imagens do RADARSAT |
|--------------------------|---|
| Rugosidade da superfície | A quantidade de energia retro-espalhada para o satélite é influenciada pela rugosidade da superfície. Isto permite distinguir diferenças de textura na imagem, as quais permitem diferenciar entre áreas desmatadas, áreas de cultivo, florestas, etc. |
| Topografia | O retorno do radar é maior para as vertentes perpendiculares à incidência da frente de onda. Isto faz com que o efeito de sombreado provocado pela topografia favoreça o mapeamento de feições de relevo, e a inferência de informações relevantes para a geologia e geomorfologia. |
| Limite terra/água | Superfícies líquidas lisas provocam a reflexão especular das microondas para fora do campo da antena do radar. Como resultado, os dados do RADARSAT são extremamente úteis para a discriminação de limites entre a terra e água. |
| Feições antrópicas | Feições antrópicas, tais como prédios, navios etc. refletem fortemente a radiação de microondas. Isto faz com que as imagens sejam extremamente úteis a aplicações que necessitam identificar alvos pontuais (aplicações militares, por exemplo) |
| Umidade | A quantidade de umidade do solo ou da vegetação afeta fortemente o retorno da radiação de microondas. Diferenças de umidade, portanto, podem ser avaliadas a partir de mudanças tonais nas imagens. |

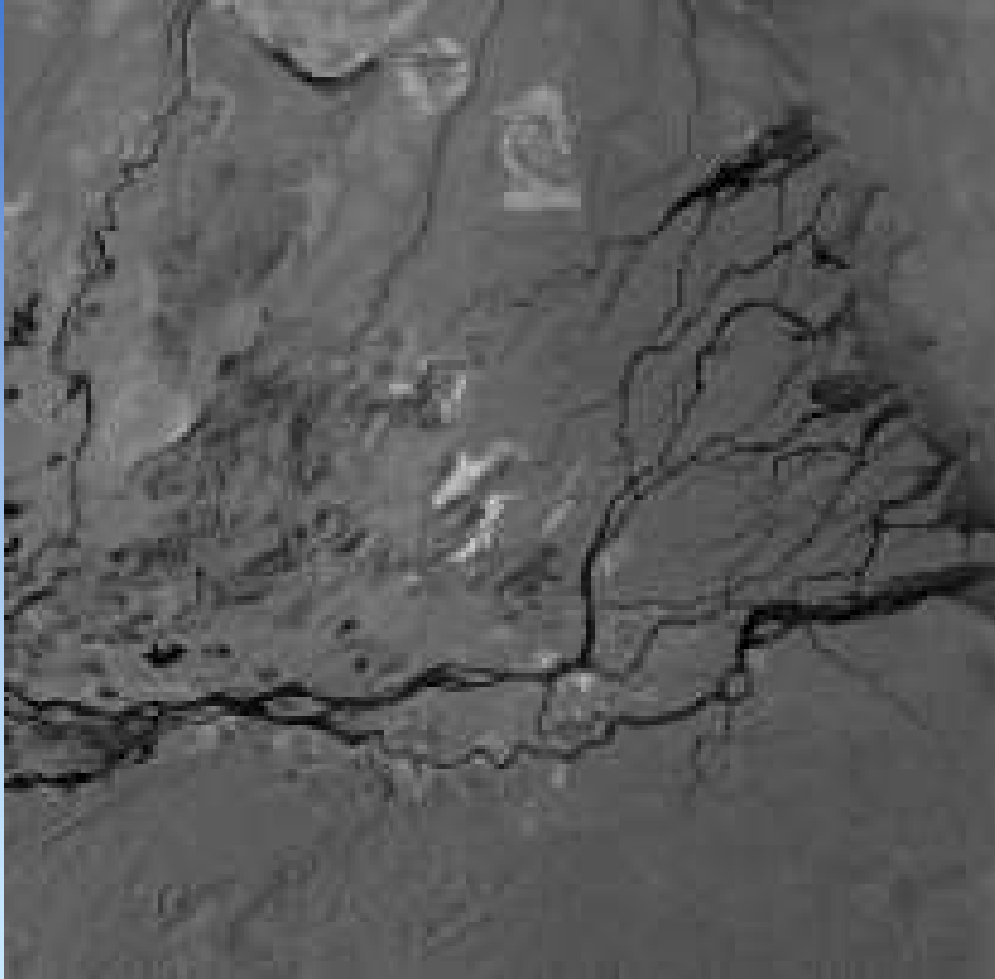
RADARSAT- Rio de Janeiro

11.5 Comparação entre sensores de RADAR e óptico

| Instrumento Radar | Instrumento Óptico |
|--|---|
| "Enxerga" através das nuvens | Não enxerga através das nuvens |
| Iluminação / energia própria | Iluminação / energia solar |
| Comprimento de onda usado: cm | Comprimento de onda usado: μm |
| "Enxerga" de acordo com a capacidade de refletir e penetrar nas estruturas. | "Enxerga" de acordo com as características físico-químicas dos alvos. |
| Penetra na estrutura do alvo, por exemplo, na camada de vegetação florestal. | Identifica diferenças no solo, por exemplo, no topo da vegetação florestal. |

RDAAR

Cristiane Nunes Francisco/UFF

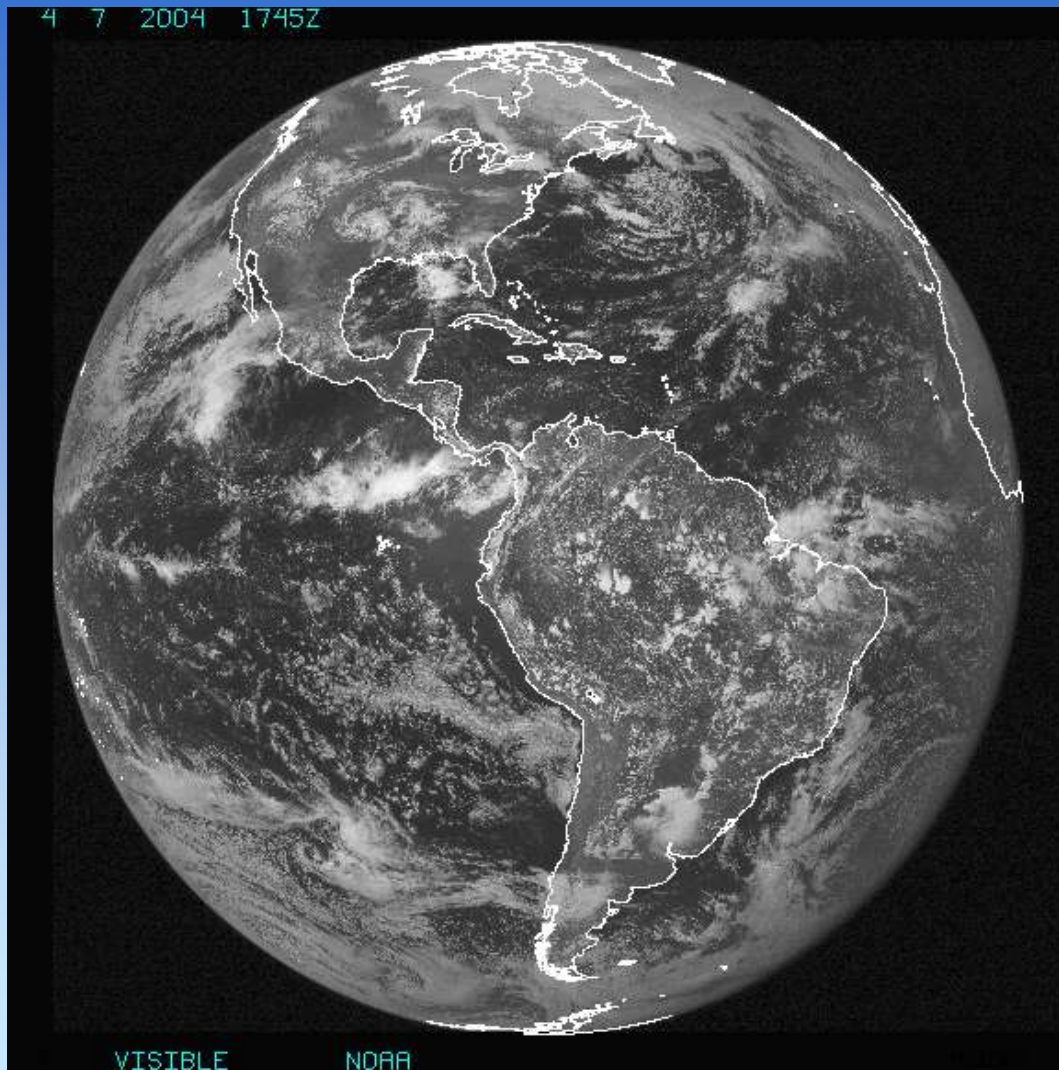


RADARSAT-1

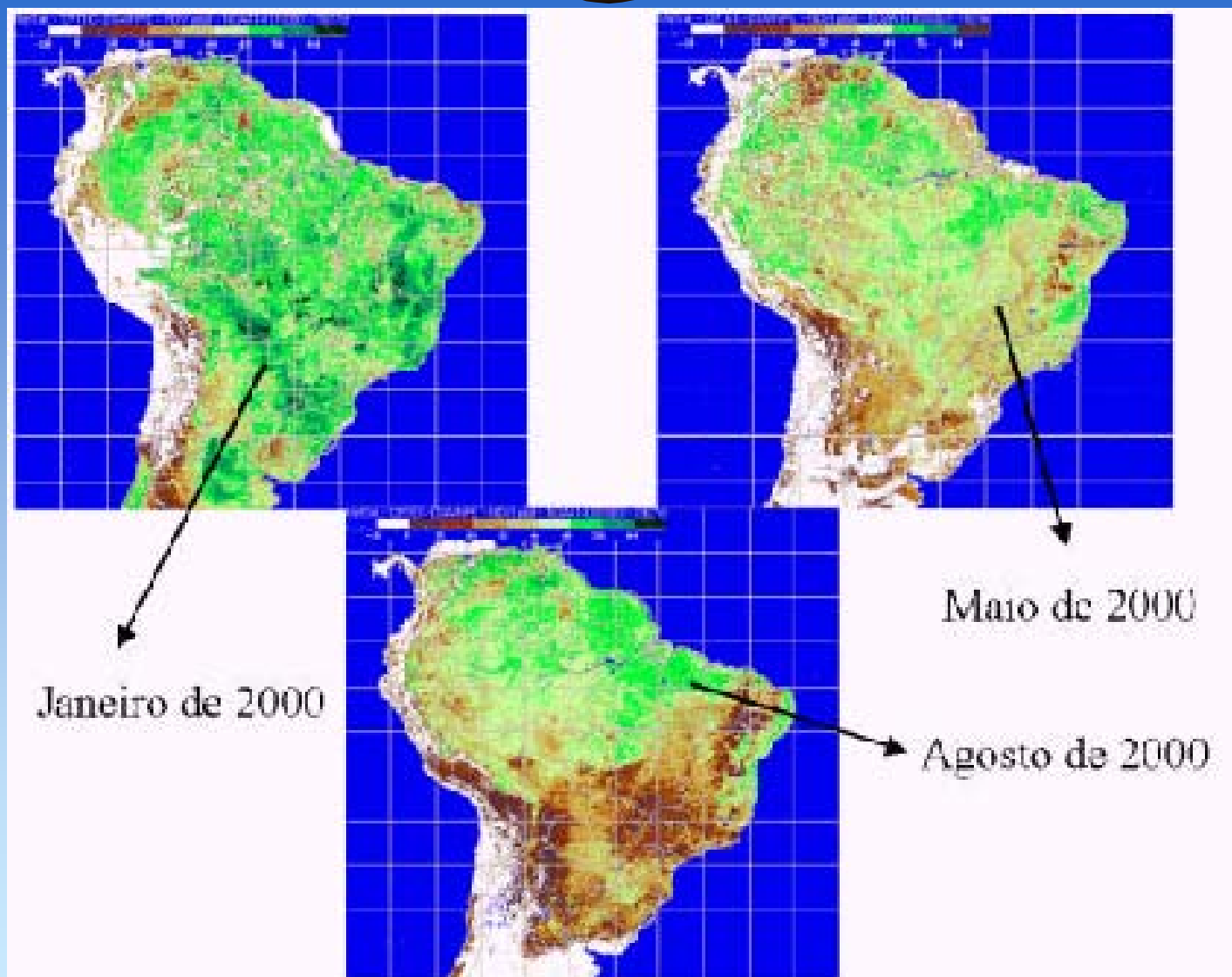
LANDSAT TM

12. Resolução Espacial

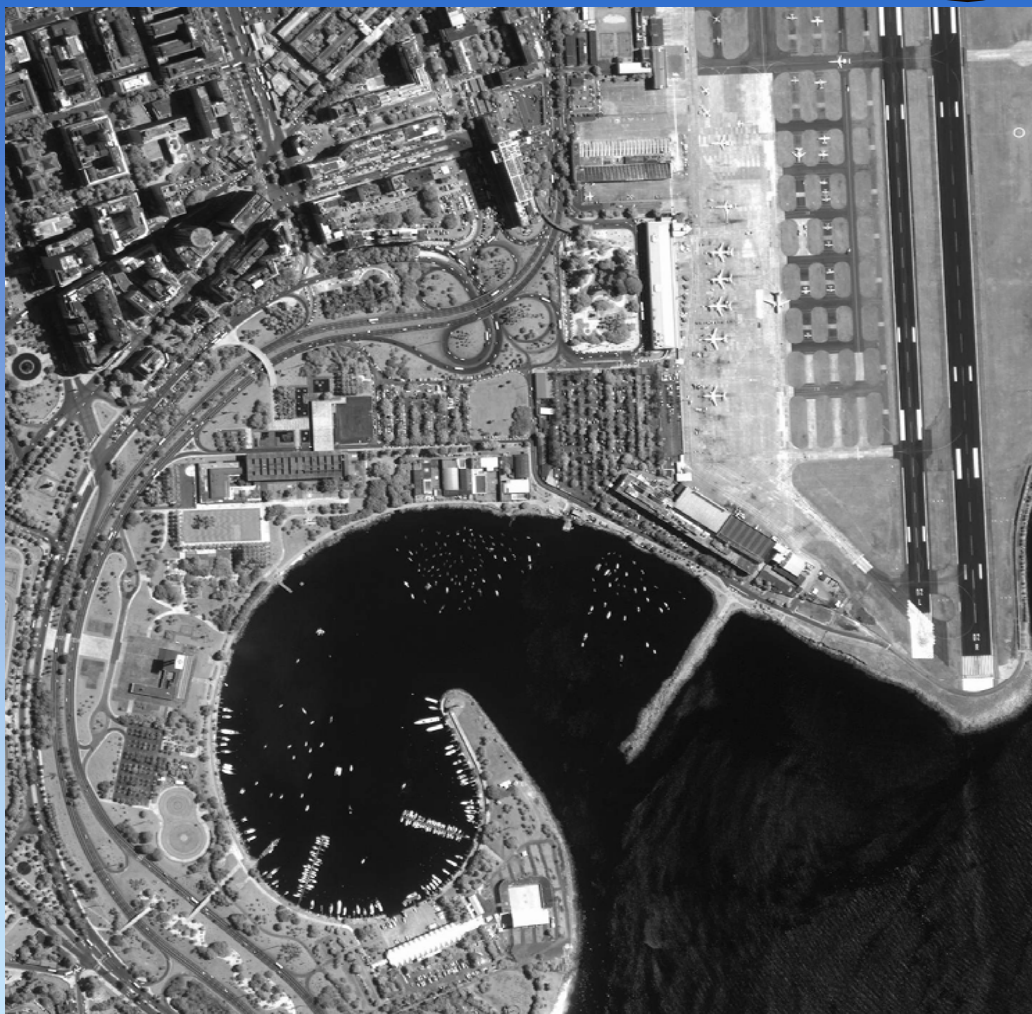
Capacidade do sistema sensor em detectar objetos na superfície terrestre. Quanto menor o objeto possível de ser definido, maior a resolução espacial.



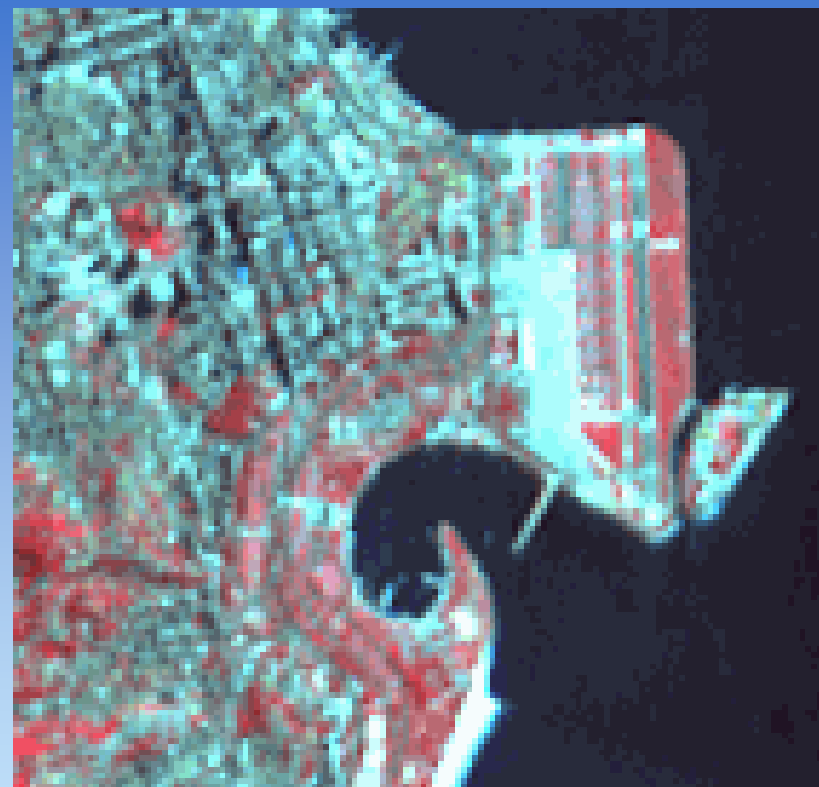
GOES - 8 km



NOAA/AVHRR – 1km



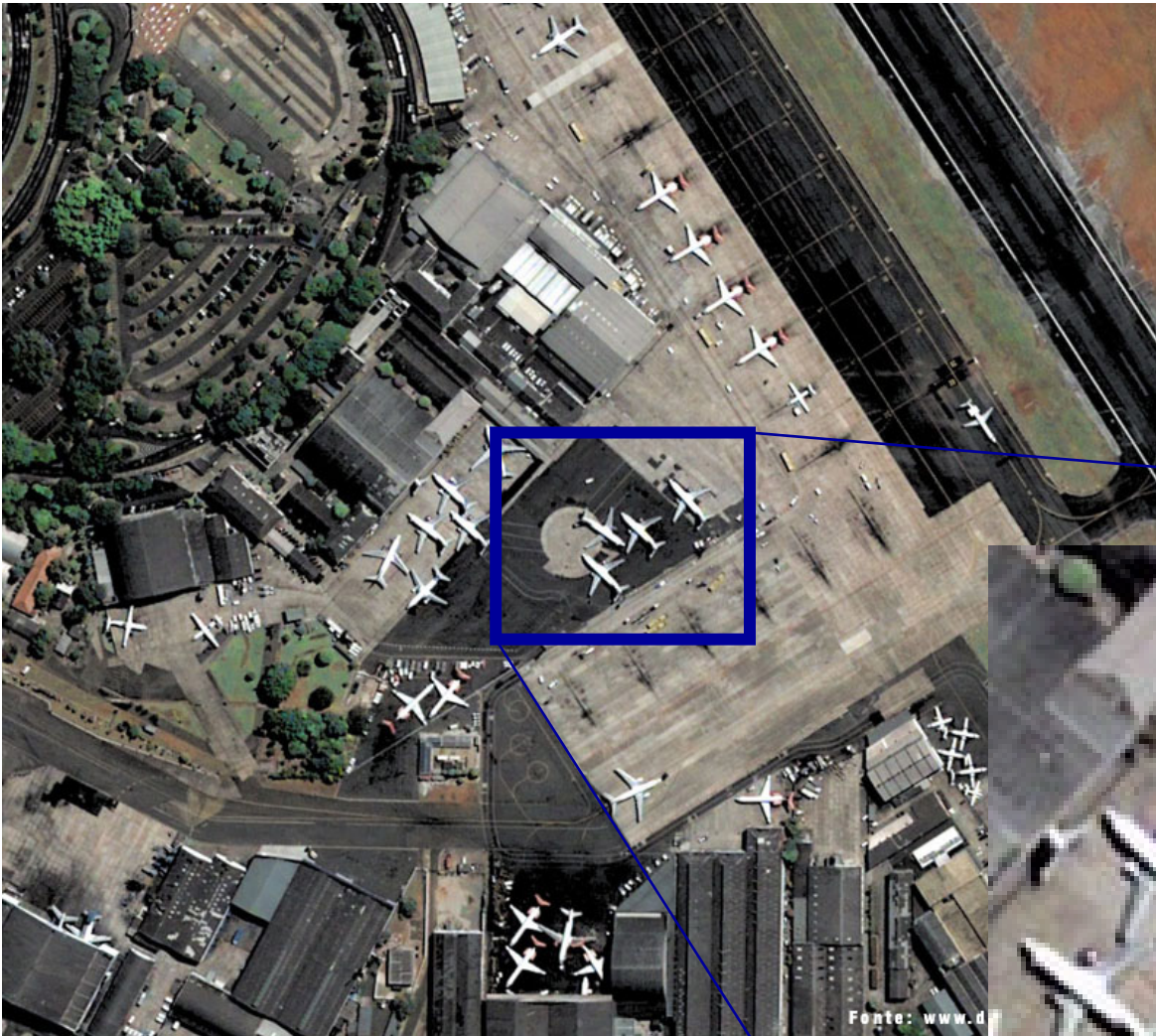
IKONOS - 1 m



SPOT 4 - 20 m

Cristiane Nunes Francisco/UFF

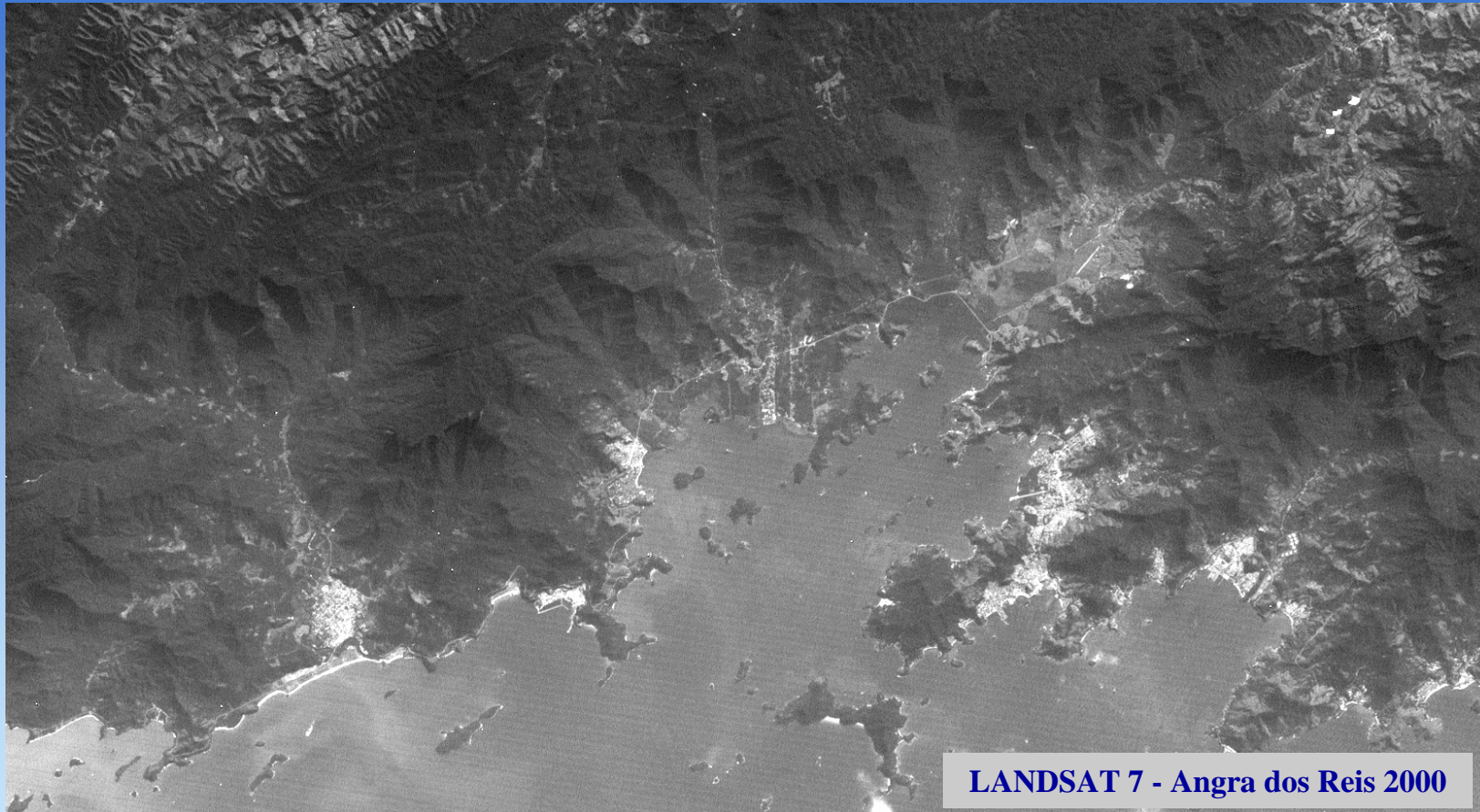
Quickbird - 0,61 m



13. Resolução Espectral

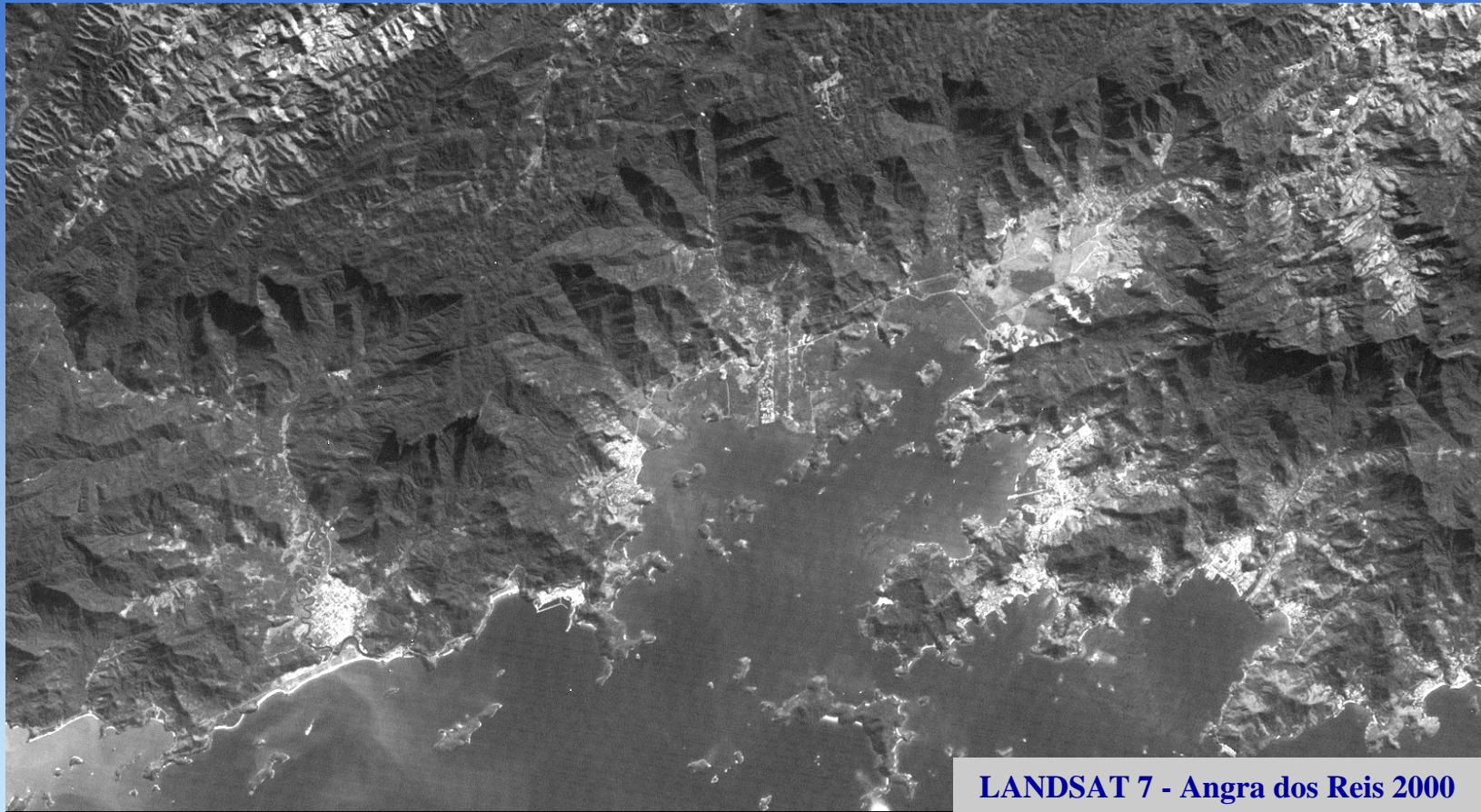
Definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela largura do intervalo do comprimento de onda. Quanto maior o número de bandas e menor a largura do intervalo, maior a resolução do sistema sensor.

Banda 1 – Azul (0,450 - 0,520 μm)



- *Mapeamento de águas costeiras, diferenciação entre solo e vegetação.*
- *Mapeamento de florestas e detecção de feições culturais (mancha urbana, rodovias, etc).*

Banda 2 – Verde (0,520 - 0,600 μm)



- *Detecção da presença de sedimentos em suspensão para análise quantitativa e qualitativa.*
- *Identificação de feições culturais.*

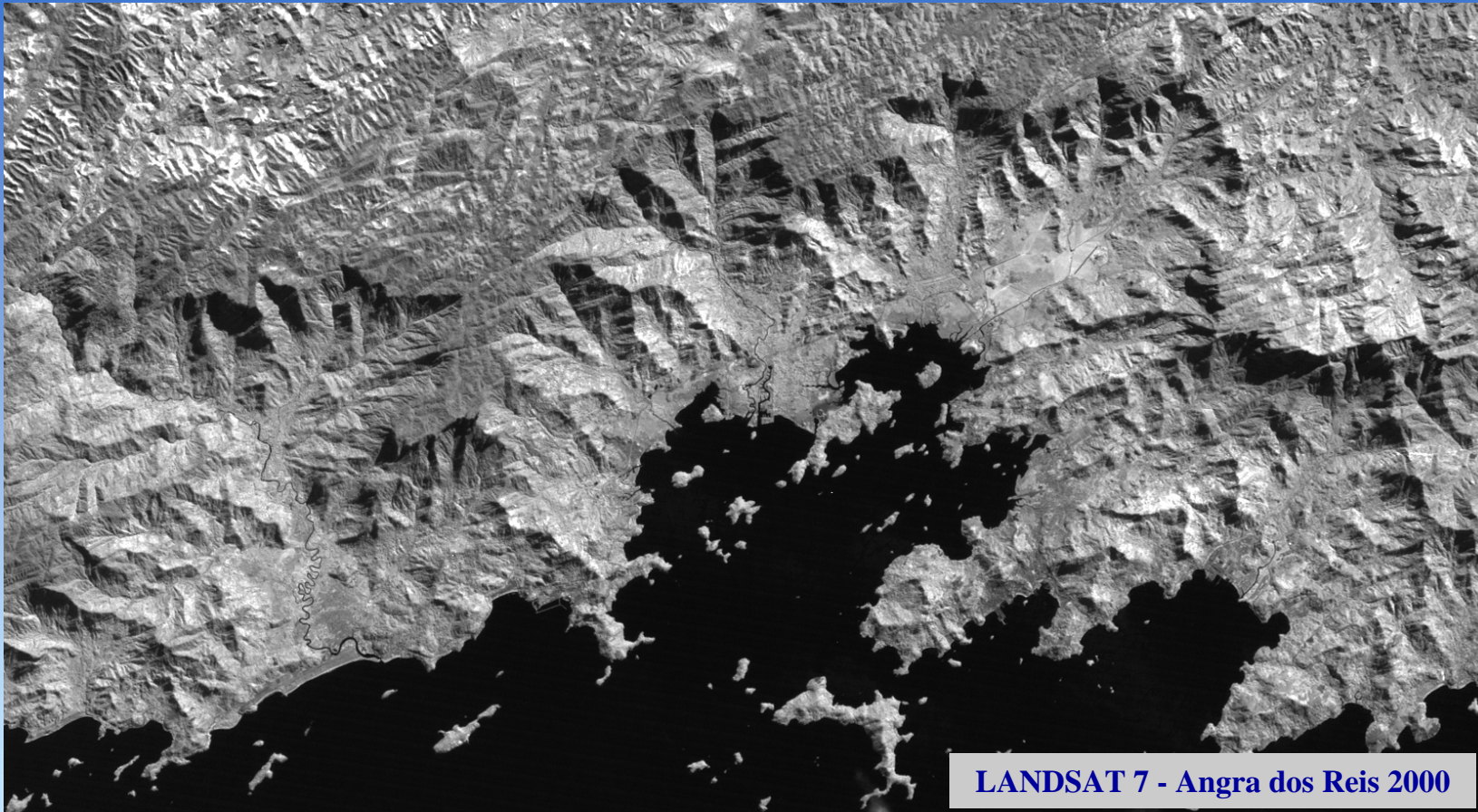
Banda 3 - Vermelho (0,630 - 0,690 μm)



LANDSAT 7 - Angra dos Reis 2000

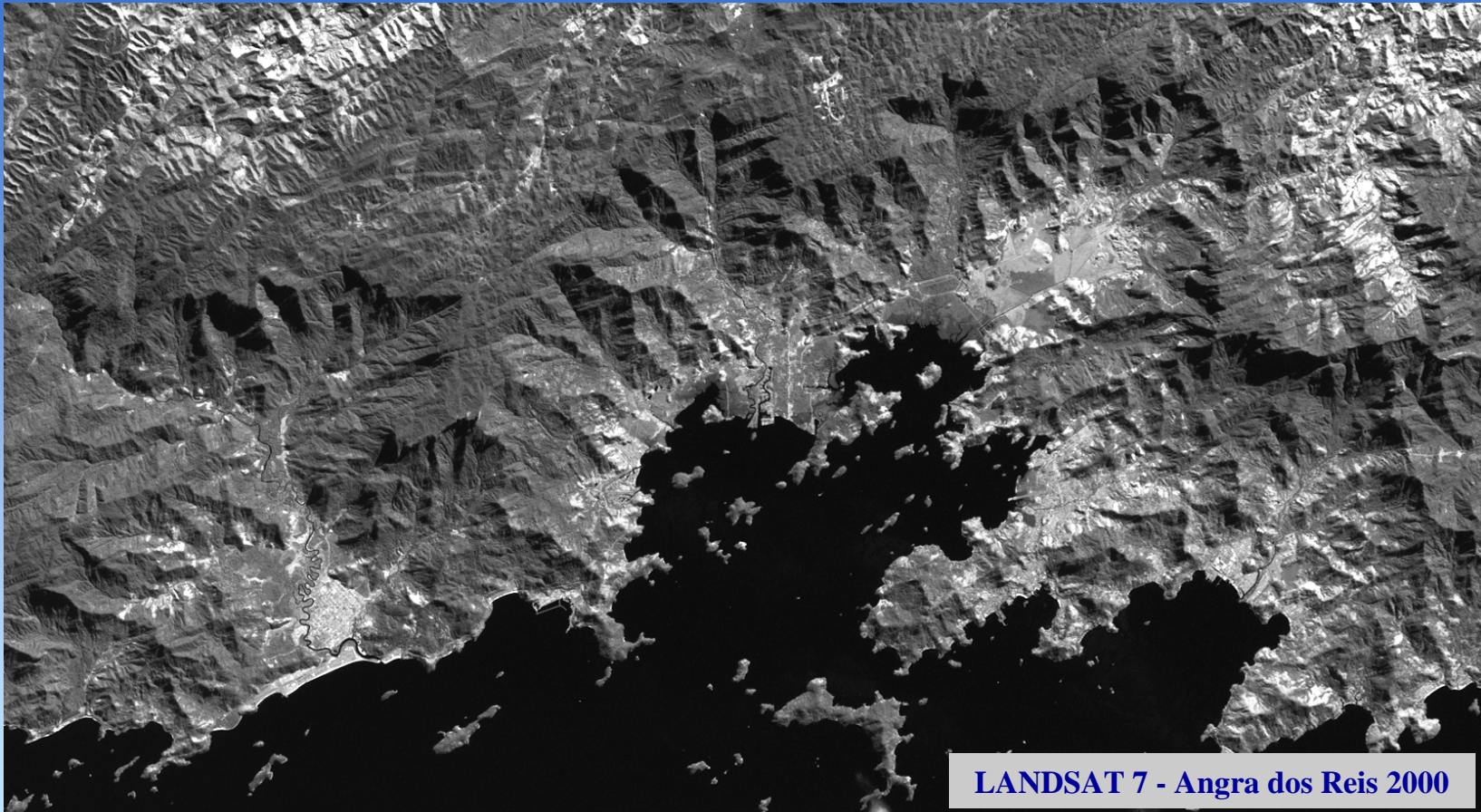
- *Discriminação entre diferentes tipos de cobertura vegetal.*
 - *Delineamento de solo e feições culturais.*
- *Contraste entre áreas ocupadas com vegetação e sem vegetação.*
- *Mapeamento da drenagem através da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios.*

Banda 4 - Infravermelho próximo (0,760 - 0,900 μm)



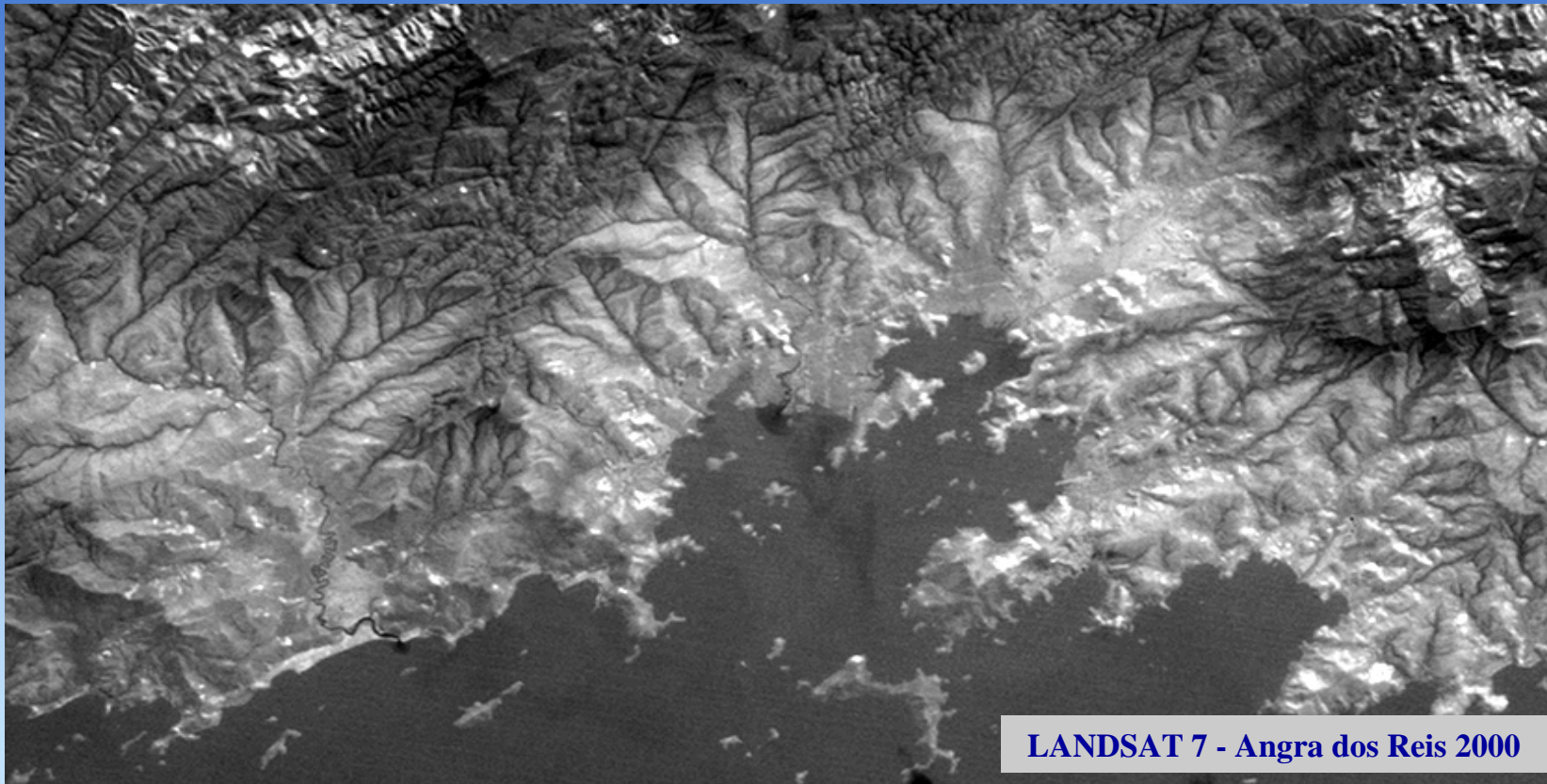
- *Obtenção de informações sobre geomorfologia, solos e geologia.*
 - *Mapeamento das feições geológicas e estruturais.*
- *Identificação de culturas agrícolas enfatizando a diferenciação solo/agricultura e água/solo.*

Banda 5 - Infravermelho médio (1,550 - 1,750 μm)



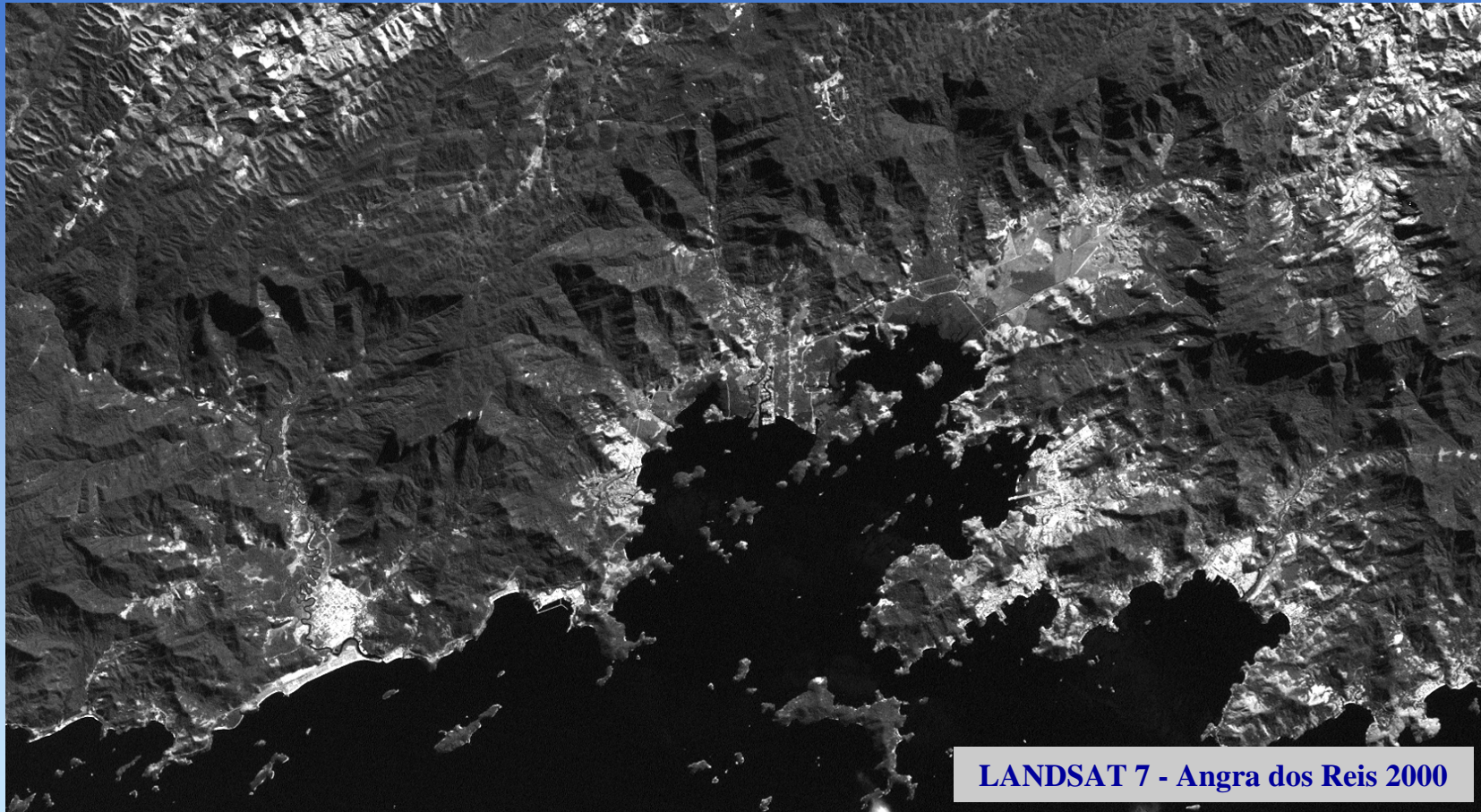
- *Deteção do teor de umidade das plantas, identificando o stress hídrico da vegetação.*
- *Em caso de excesso de chuva antes da obtenção da cena, esta banda pode sofrer perturbações.*
- *Discriminação entre nuvens, neve e gelo.*

Banda 6 - Infravermelho termal (10,40 - 12,50 μm)



- Identificação de fenômenos relativos a contrastes térmicos, como: propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água, stress em plantas, intensidade de calor, aplicações de inseticida e estudos de atividade geotermal.*

Banda 7 - Infravermelho médio (2,080 - 2,350 μm)



LANDSAT 7 - Angra dos Reis 2000

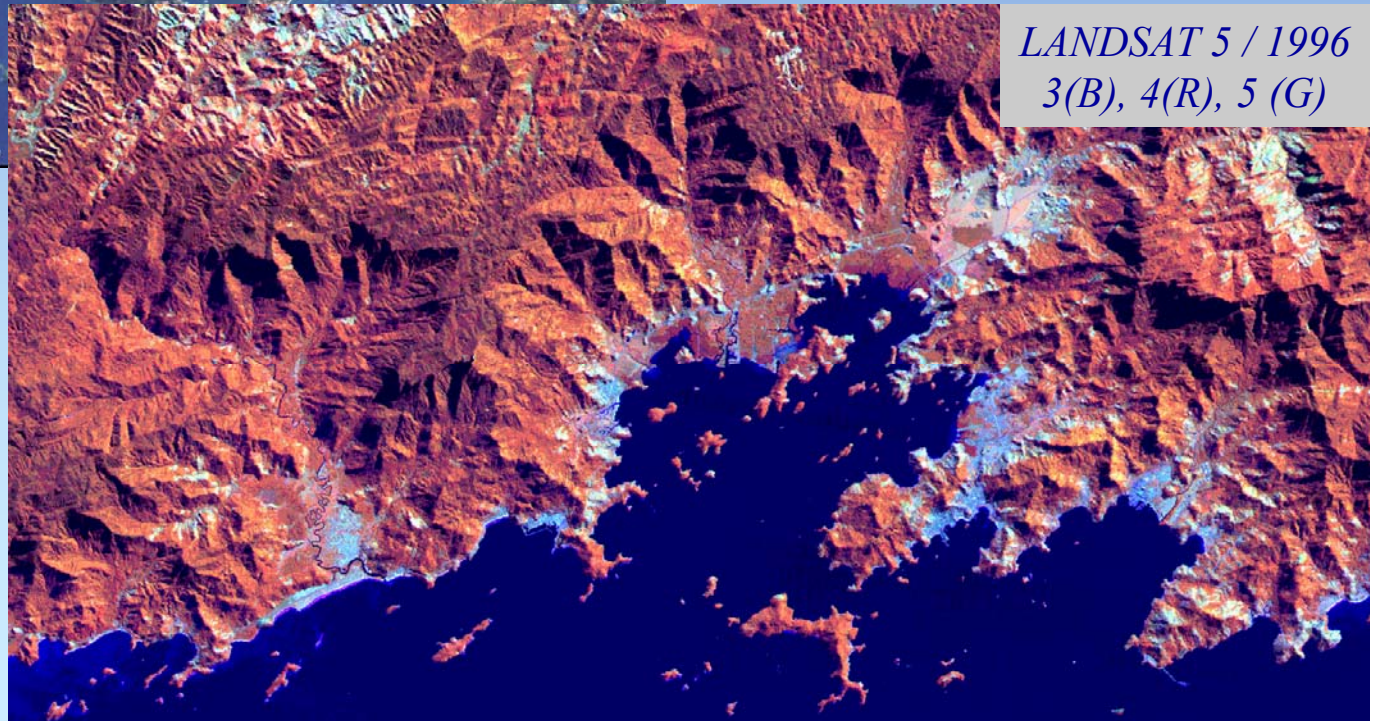
- *Obtenção de informações sobre geomorfologia, solos e geologia.*
 - *Discriminação de tipos de rochas e estudo de solos,*
 - *Estudo sobre conteúdo da umidade e da vegetação do solo.*

*LANDSAT 7 / 2000
1(B), 2(G), 3 (R)*

Composição Colorida



*LANDSAT 5 / 1996
3(B), 4(R), 5 (G)*

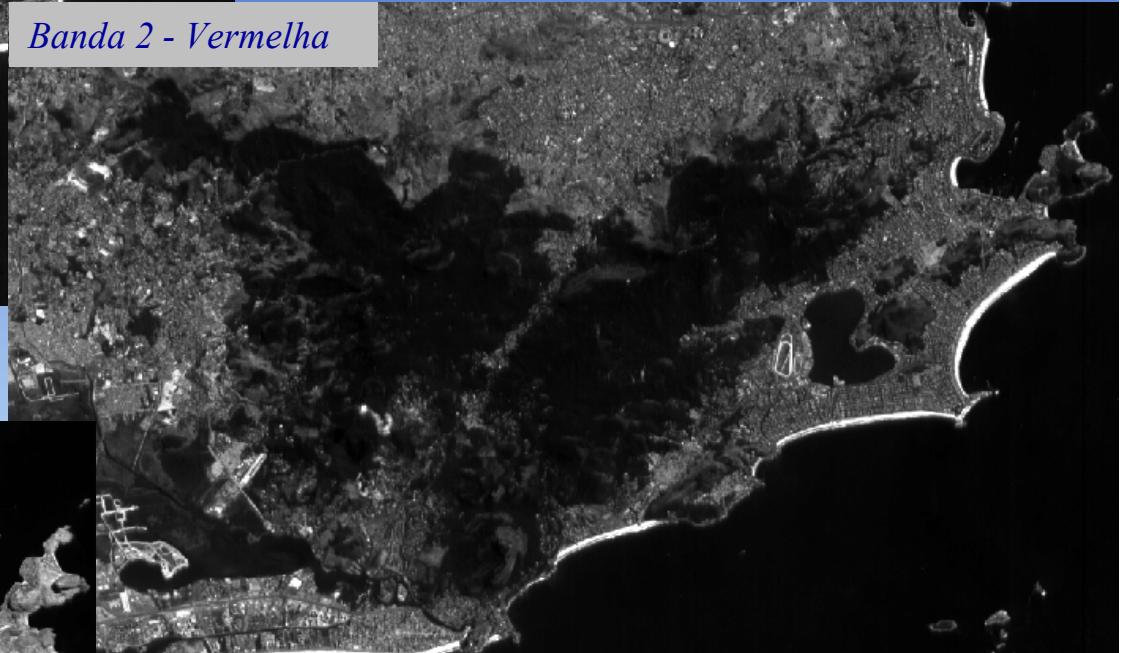


Banda 1 - Verde

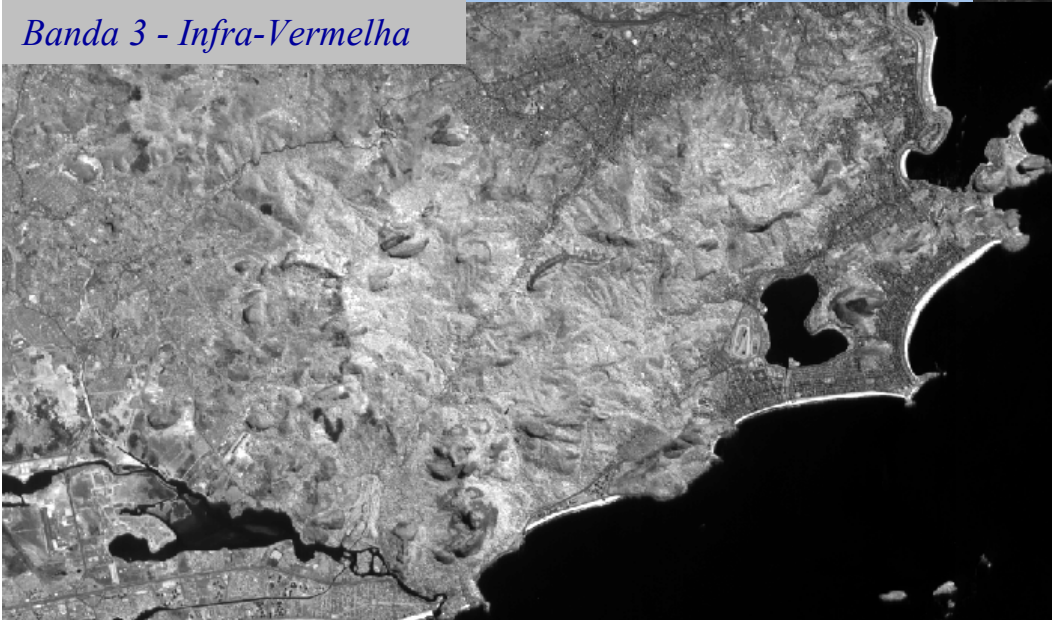


Cristiane Nunes Francisco/UFF

Banda 2 - Vermelha



Banda 3 - Infra-Vermelha

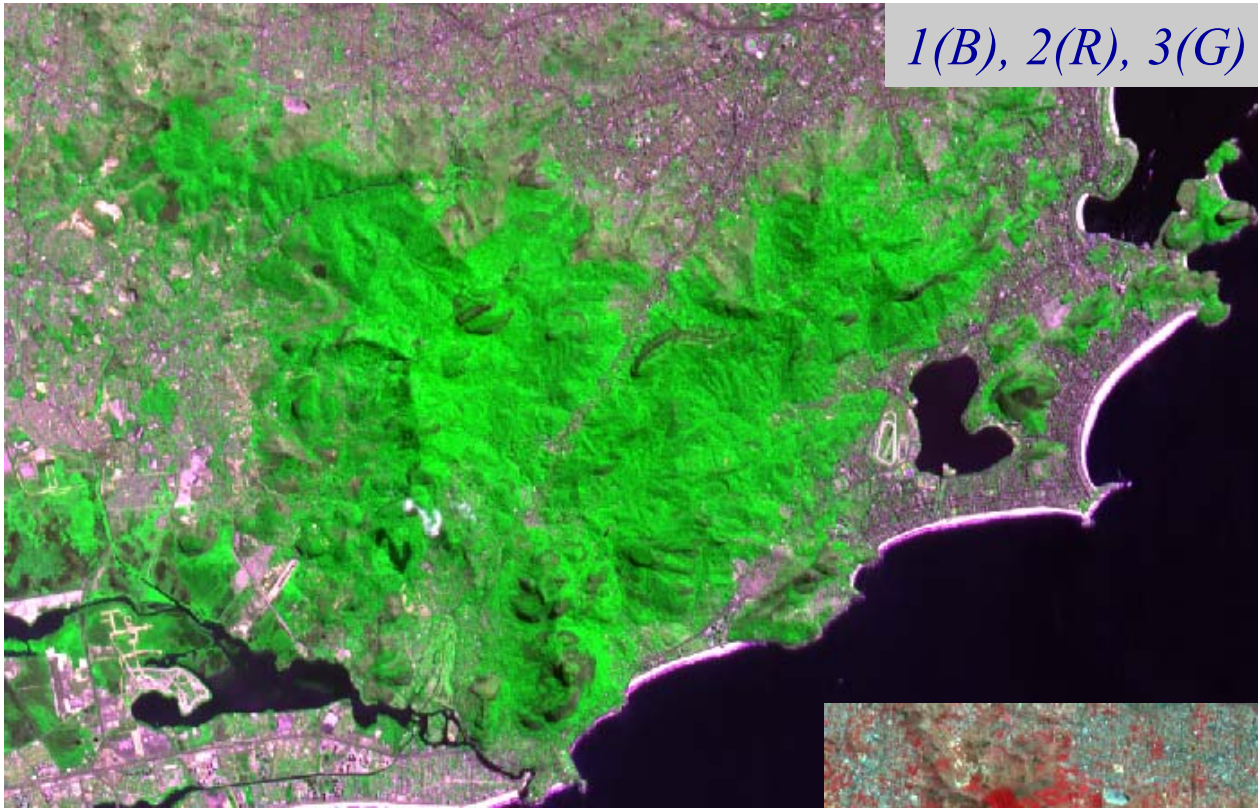


SPOT 4

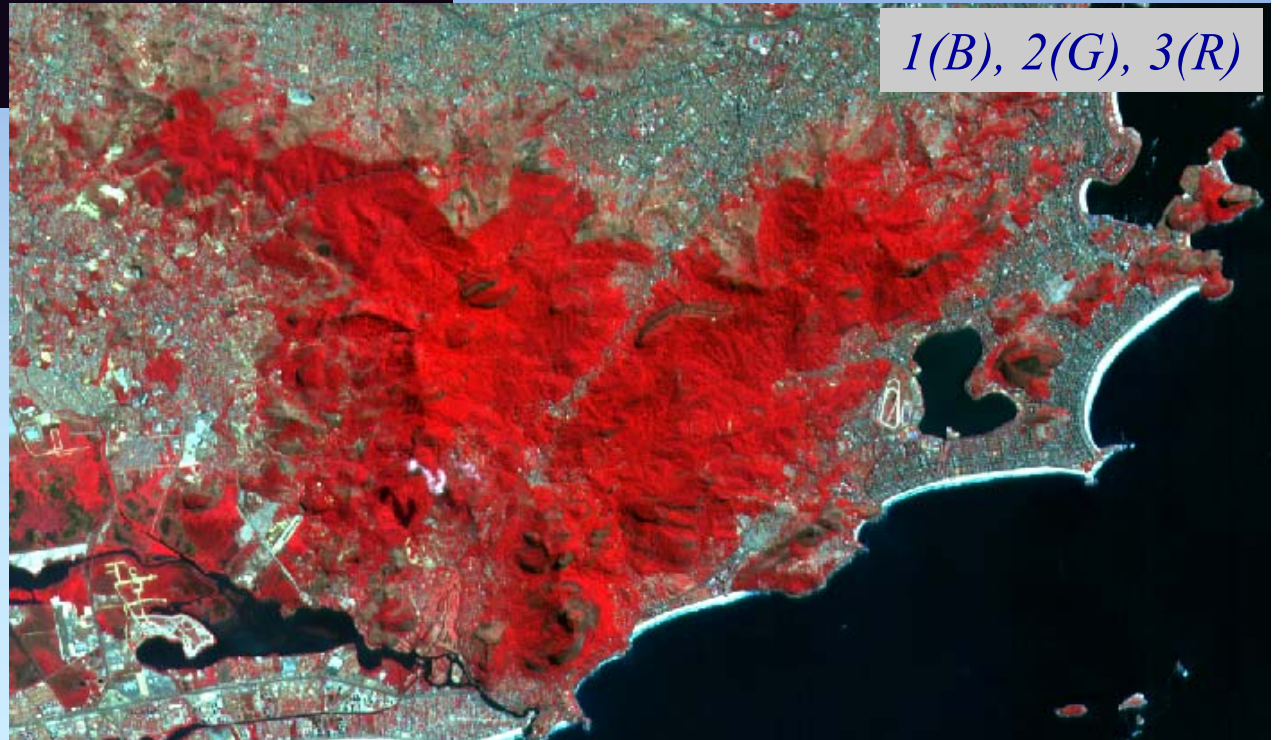
1(B), 2(R), 3(G)

Cristiane Nunes Francisco/UFF

Composição Colorida



1(B), 2(G), 3(R)

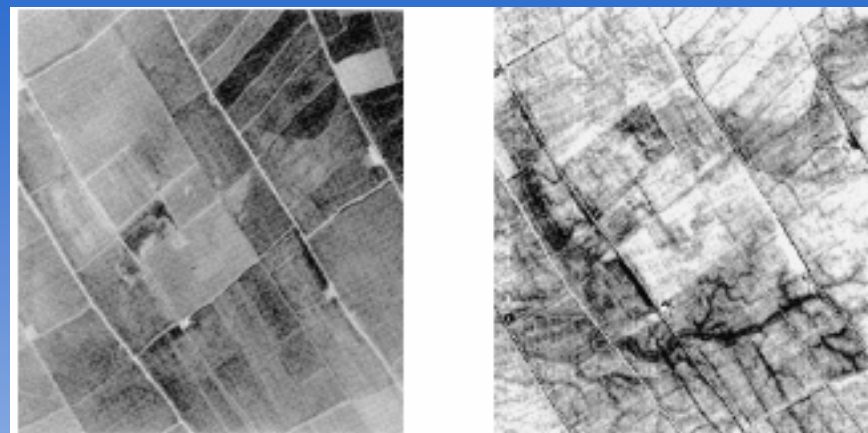


SPOT 4

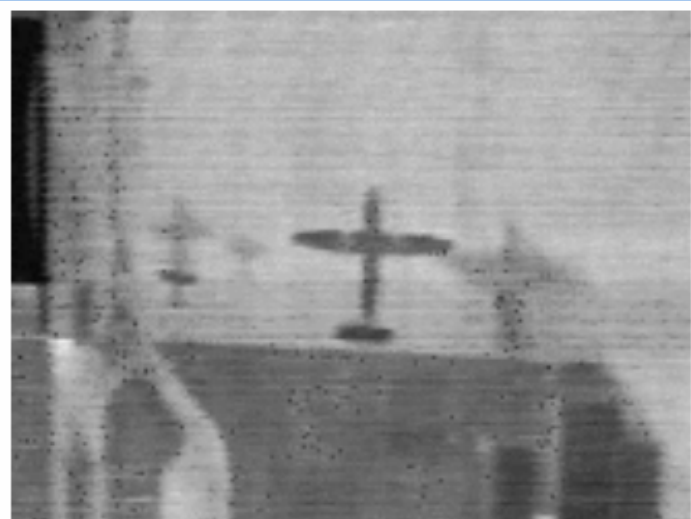
Infra-vermelho termal



Convergência de temperaturas no período noturno (imagem inferior).



Localização de cursos d'água subterrâneos através do imageamento termal: (a) imagem fotográfica e (b) imagem termal.



Evidência da passagem de alvos móveis numa localidade pelo sombriamento térmico



Efeito da transferência convectiva de calor associada ao voo na temperatura de uma aeronave recém-pousada.

13.1 Sensores hiperespectrais

Possuem centenas de bandas espectrais com uma resolução espectral inferior a 10 nm.

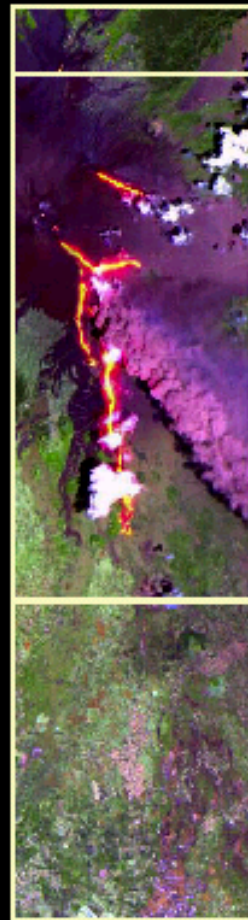
O LANDSAT ETM, por exemplo, possui 8 bandas, com resoluções espectrais de 70 nm ou maior.

Mount Etna - July 22, 2001

ALI Pan Enhanced
Bands 3-2-1



Hyperion
7-5-4 Equivalent



EO-1 ALI
Bands 7-5-5'



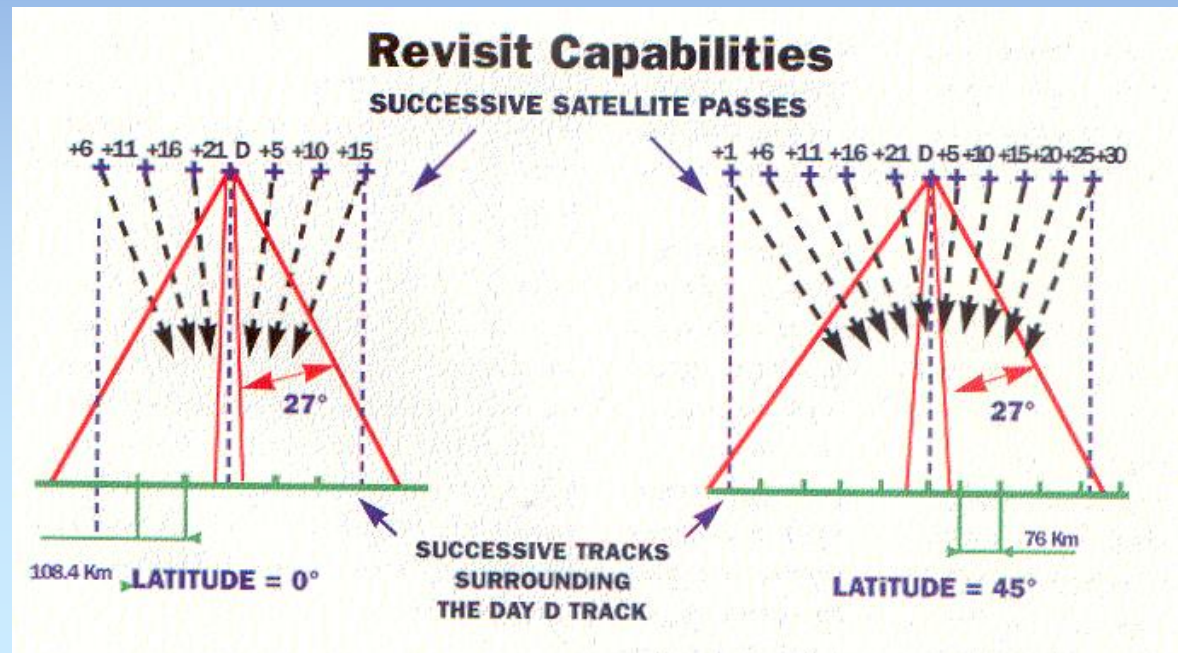
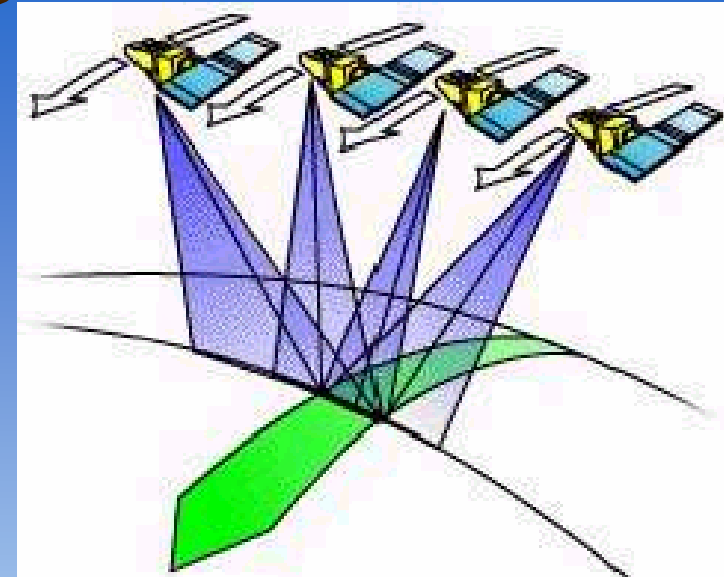
Hyperion é o primeiro imageador hiperespectral da NASA em órbita, lançado a bordo do satélite EO-1. Possui 220 bandas espectrais (de 0.4 a 2.5 μm) com uma resolução de 30 m.

14. Resolução temporal

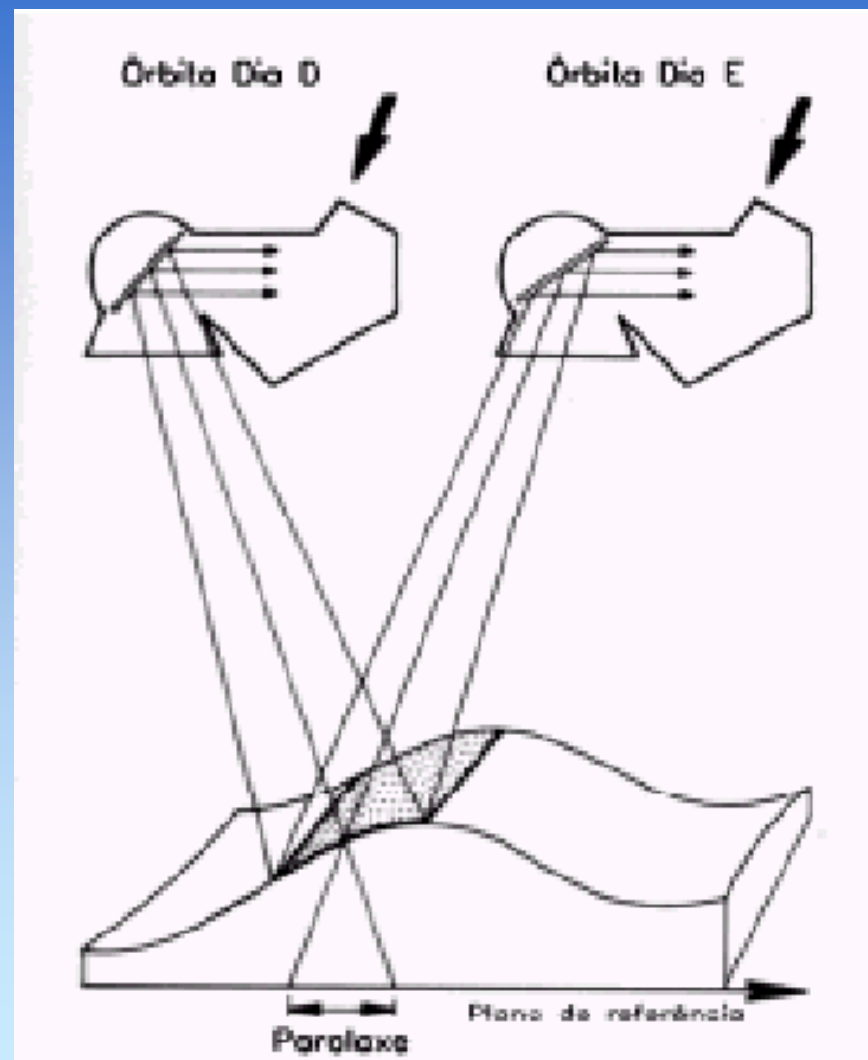
Intervalo de aquisição de dados do sistema sensor. Os sistemas orbitais passam sobre o mesmo local da superfície terrestre em um intervalo de dias constante, o que permite o monitoramento de fenômenos que tenham expressão espacial.

14.1 Visão off-nadir

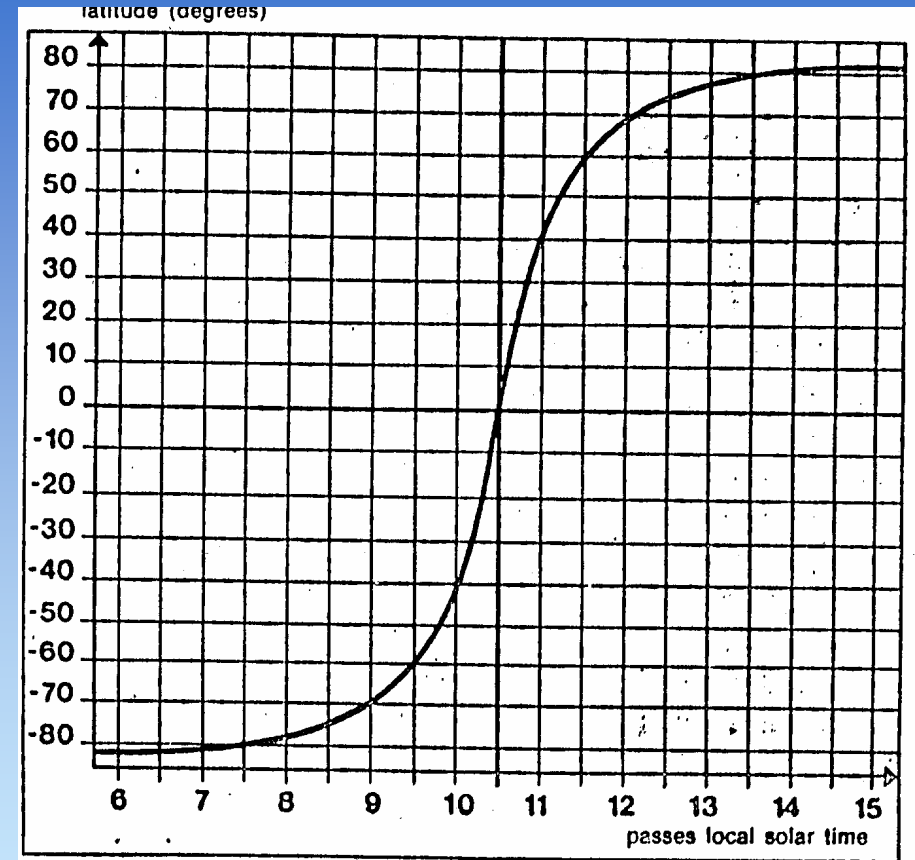
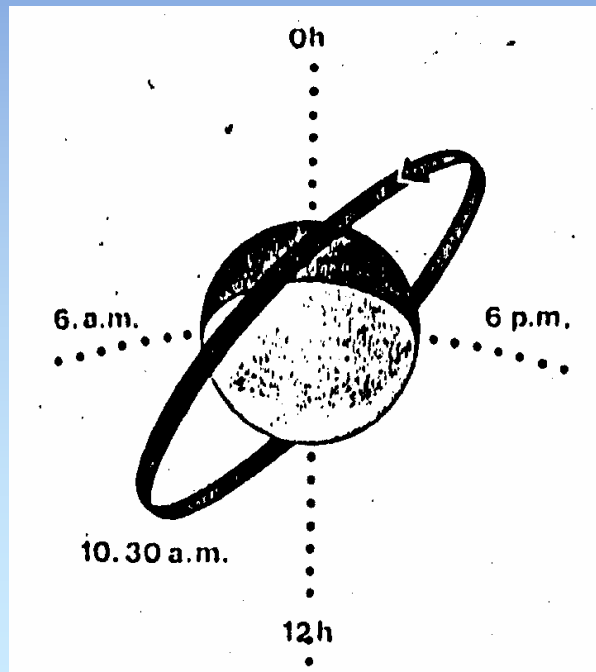
Aumenta a periodicidade de obtenção das imagens.



Possibilidade de gerar pares estereoscópicos.



O satélite passa sempre no mesmo horário sobre um determinado local.



15. Resolução radiométrica

Número de tons de cinza representado por uma imagem.



Resolução:

$$1 \text{ bit} = 2^1 = 2 \text{ tons}$$

$$2^8 = 8 \text{ bits} = 256 \text{ tons}$$

$$2^{11} = 11 \text{ bits} = 2.048 \text{ tons}$$

16. Sistemas sensores orbitais

| Satélite | Lançamento | Sensores | Resolução (m) | Revisita (dias) | Cena (km) | Off-nadir |
|---------------------------|------------|---|-------------------------|------------------------|-----------|-----------|
| LANDSAT 7 (EUA) | 1999 | 7 ME - 3V 3 IV 1IVT 1 PAN | 30; 60 termal 15 PAN | 16 | 185 | N N |
| SPOT 5 (França) | 2002 | HRG - 4 ME - 2V 2 IV 1 PAN HRS (High Resolution Stereoscopic) | 10 5 10 | | 60 | S |
| CBERS 2 (China -Brasil) | 2003 | CCD - 4 ME - 3 V 1 IV 1 PAN | 20 20 | 26; 3 off-nadir | 113 | S |
| | | IR-MSS - 3 ME - 2 IV 1 IVT 1 PAN | 80; 160 termal 80 | 26 | 120 | N |
| | | WFI - 2 ME - 1 V 1 IV | 260 | 3-5 | 890 | N |
| IKONOS II (EUA) | 1999 | 4 ME - 3 V 1IV 1PAN Obs. 11 bits | 4 1 PAN | 3,5-5 | 11 | S S |
| QUICKBIRD (EUA) | 2001 | 4 ME - 3 V 1 IV 1 PAN Obs. 11 bits | 2,44 0,61 | 1 -3.5 | 16.5 | S |
| IRS-P6 (Índia) | 2003 | LISS 3 - 2V 1IVP 1IVM | 23,6 | | 140 | |
| | | LISS 4 - 2V 1IVP | 5 | | 70 | |
| | | AWIFS - 2V 1IVP 1IVM | 56 | | 740 | |
| TERRA (EUA) | 1999 | Sensores: CERES, MOPITT, MISR, MODIS e ASTER (3V, 6IVP, 5IVT) | ASTER: 15, 30, 90 m | 16 | 60 km | |
| RADARSAT1 (Canadá) | 1995 | C - 5,6 cm | 8/100 | 3-35 | 50-500 | S |
| EO-1 | 2000 | Sensores: ALI, Atmospheric Corrector e Hyperion =220 bandas | ALI, Hyperion 30 | | | |
| GOES 12 (geoestacionário) | 2001 | 5 ME - 1 V 4 IV | 1.000 a 8.000 | 15 min (EUA) 30 min | | |
| NOAA-17 | 2002 | 1V 2IVP 1IVM 2IVT | 1.100 | Diária | 2.400 | |