

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL
Área de Topografia e Geoprocessamento

APONTAMENTOS DAS AULAS DE
GEOPROCESSAMENTO - LER 210

Prof. Dr. Rubens Angulo Filho

Piracicaba, SP
outubro de 2003

LER 210 - Geoprocessamento

Prof. Rubens Angulo Filho

SENSORIAMENTO REMOTO

1. DEFINIÇÕES E CONCEITOS

- ❖ Segundo COLWELL (1983): "Sensoriamento Remoto é a aquisição de informações sobre um objeto sem que haja um contato físico".
- ❖ CAMPBELL (1987) define Sensoriamento Remoto como a ciência que obtém informações da superfície terrestre a partir de imagens obtidas a distância. A obtenção dessas informações geralmente depende da energia eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos de interesse.
- ❖ **Conceito:** é o conjunto das atividades relacionadas com a aquisição e a análise de dados de sensores remotos.
- ❖ **Sensor remoto:** sistema capaz de detectar e registrar o fluxo de energia radiante refletido ou emitido pelos diferentes "alvos", sem contato físico com eles.
- ❖ **Análise:** as imagens de sensoriamento remoto têm características especiais que dependem das propriedades radiométricas dos "alvos" que compõem a cena, da atmosfera e da configuração do sistema sensor utilizado na aquisição. O analista de sensoriamento remoto deve complementar os seus conhecimentos específicos com as informações relativas aos elementos que interferem na formação das imagens.

2. HISTÓRICO

- ❖ HARRIS (1987) identifica 5 fases distintas no processo de evolução do sensoriamento remoto:
 - ❖ Fase 1 - Anterior a 1925
 - ❖ Fase 2 - 1925 a 1945
 - ❖ Fase 3 - 1945 a 1960
 - ❖ Fase 4 - 1960 a 1972
 - ❖ Fase 5 - 1972 a 1990
 - ❖ Fase 6 - 1990 até a presente data

3. ENERGIA RADIANTE

- ❖ A radiação solar se propaga no vácuo a uma velocidade de 300.000 km/s e sob a forma de onda eletromagnética.

$$C = \lambda \times f \quad \text{onde}$$

$C = 300.000 \text{ km/s}$

$\lambda = \text{comprimento da onda (}\text{\AA}\text{; nm; }\mu\text{m)}$

$f = \text{frequência (ciclos/s = Hz)}$

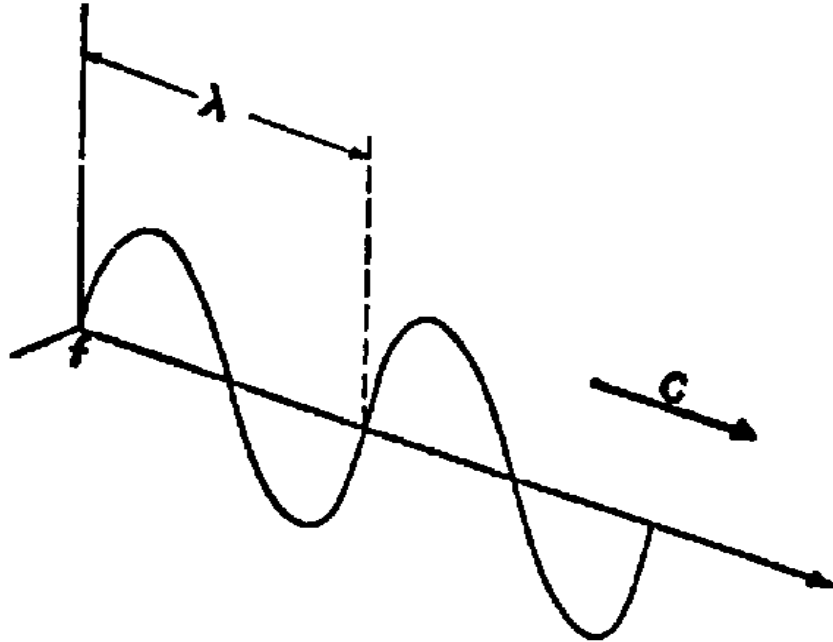
- ❖ Apesar de suas características ondulatórias de propagação, a energia radiante apresenta propriedades de natureza quântica.

$$Q = h \times f \quad \text{onde}$$

$Q = \text{quantidade de energia (J)}$

$h = \text{constante de Planck}$

$f = \text{frequência (ciclos/s = Hz)}$



3.1. O espectro eletromagnético de energia

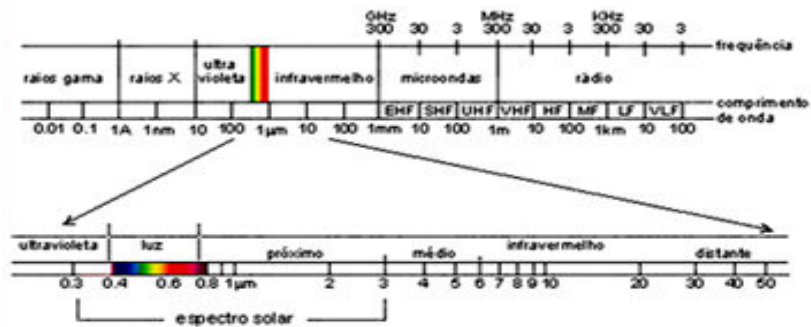


Figura 02 - Espectro eletromagnético

4. INTERAÇÃO RADIAÇÃO / OBJETO

- ❖ Quando um fluxo de REM irradia um objeto, 3 fenômenos podem ocorrer: parte do fluxo é refletido; parte penetra no objeto sendo progressivamente absorvido; e parte consegue atravessá-lo, emergindo novamente para o espaço. Considerando-se a lei de conservação da energia, pode-se escrever:

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

onde i, r, a e t indicam as naturezas dos fluxos envolvidos, isto é incidente, absorvido, refletido e transmitido.

- ❖ Dividindo-se os dois membros da equação anterior por ϕ_i , tem-se:

$$1 = \frac{\phi_r}{\phi_i} + \frac{\phi_a}{\phi_i} + \frac{\phi_t}{\phi_i}$$

- ❖ Nesta equação, as frações do segundo membro são denominadas reflectância, absortância, transmitância que são características do objeto:

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

4.1. Assinatura espectral

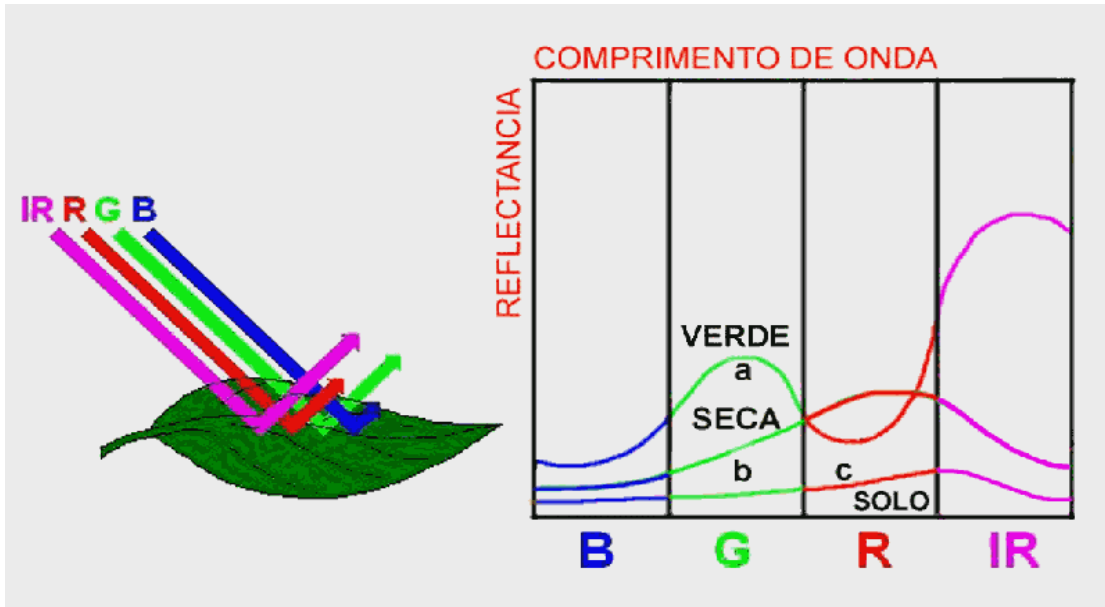


Figura 03 - Assinatura espectral

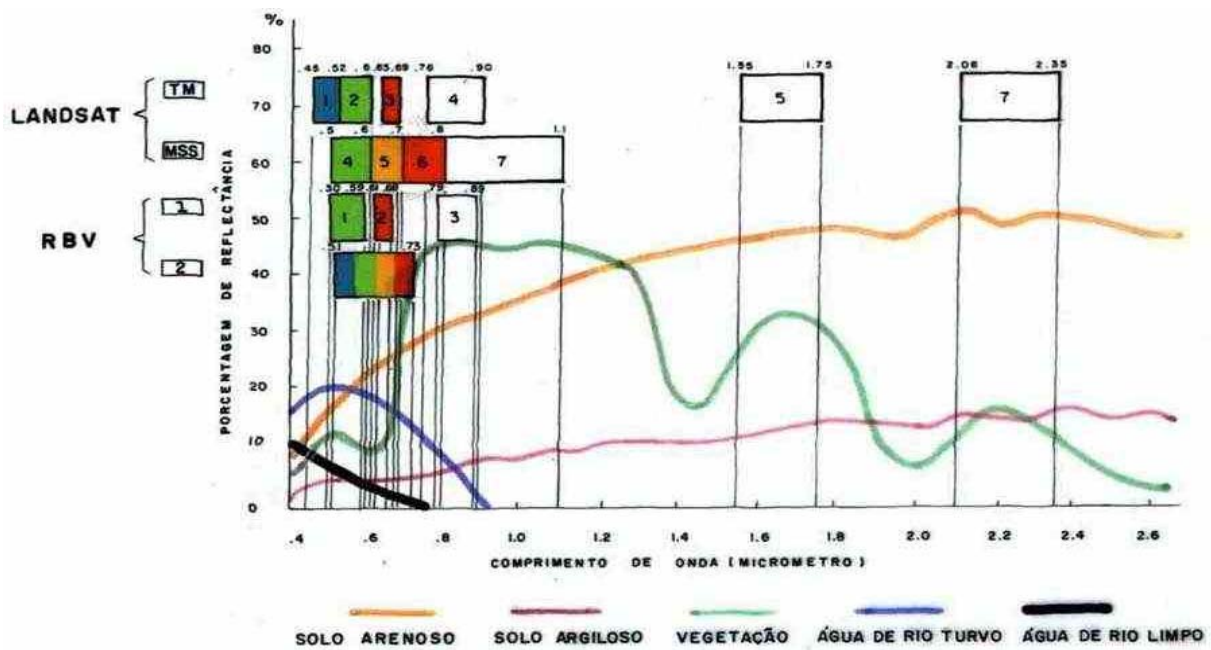


Figura 04 - Reflectância de diferentes alvos

5. EFEITOS ATMOSFÉRICOS NA PROPAGAÇÃO DA REM

❖ Os processos de atenuação atmosférica mais importantes que afetam a propagação da radiação eletromagnética são:

- ▶▶ Absorção: a REM ao se propagar pela atmosfera é absorvida seletivamente por seus constituintes.
- ▶ Principais janelas atmosféricas:
 - Ultravioleta e Visível: 0,30 - 0,75 μm e 0,77 - 0,91 μm
 - IV próximo: 1,0 - 1,12 μm ; 1,2 - 1,34 μm ; 1,55 - 1,75 μm ; 2,05 - 2,4 μm
 - IV médio: 3,50 - 4,16 μm ; 4,50 - 5,00 μm
 - IV termal: 8,0 - 9,2 μm ; 10,2 - 10,4 μm ; 17,0 - 22,0 μm
 - Microondas: 2,06 - 2,22 mm; 3,0 - 3,7 mm; 7,5 - 11,5 mm; 20,0 mm e >
- ▶▶ Espalhamento
 - ▶ Molecular ou Rayleigh ($\lambda > \phi$): é produzido pelas moléculas dos gases constituintes da atmosfera. Sua intensidade é inversamente proporcional à 4ª potência do comprimento de onda. (atmosfera limpa);
 - ▶ Mie ($\lambda \cong \phi$): partículas em suspensão como pó e água (névoa), conforme a concentração resultam em zonas de coloração diferentes, perceptíveis durante o nascer e por do sol;
 - ▶ Não seletivo ($\lambda < \phi$): a radiação dos diferentes comprimentos de onda será espalhada com igual intensidade, aparência esbranquiçada ao céu e nuvens.

6. SISTEMAS SENSORES

- ❖ Um sistema sensor pode ser definido como qualquer equipamento capaz de transformar alguma forma de energia em sinal passível de ser convertido em informação sobre o ambiente. No caso específico do sensoriamento remoto a energia utilizada é a radiação eletromagnética (NOVO, 1989).
- ❖ Segundo STEFFEN et alii (1981), sensor remoto é um dispositivo capaz de responder à radiação eletromagnética de determinada faixa do espectro eletromagnético, registrá-la e gerar um produto numa forma adequada à interpretação pelo usuário.
- ❖ Classificação dos sensores remotos:
 - ▶▶ Imageadores: quando fornecem uma imagem fotográfica da cena de interesse;
 - ▶▶ Não imageadores: quando o produto final é apresentado na forma de valores numéricos ou gráficos;

- ▶▶ Passivos: são aqueles que necessitam uma fonte externa de radiação eletromagnética para poderem operar;
- ▶▶ Ativos: possuem sua própria fonte de radiação eletromagnética.

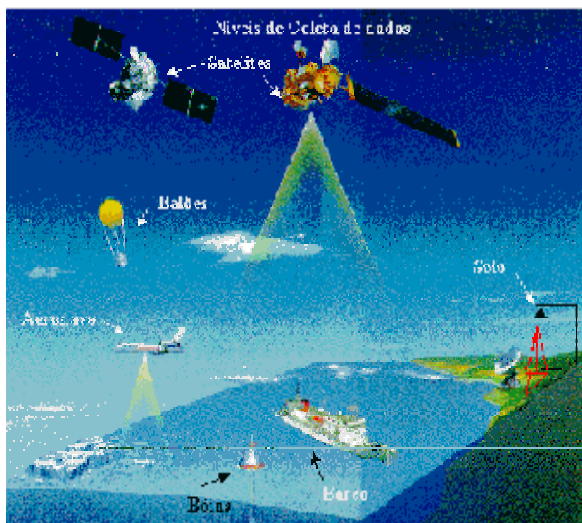


Figura 05 - Níveis de aquisição de dados

7. RESOLUÇÃO E PODER DE RESOLUÇÃO

- ❖ O termo poder de resolução aplica-se a um sistema sensor, enquanto que resolução aplica-se ao produto obtido por meio do sensor.
- ❖ O poder de resolução, segundo NOVO (1989), é uma medida da habilidade do que um sistema sensor possui de distinguir entre respostas que são semelhantes espectralmente ou próximas espacialmente.
 - ▶▶ Resolução espacial: identifica a menor separação angular ou linear de dois objetos na imagem.
 - ▶▶ Resolução espectral: é uma medida da amplitude das faixas espectrais às quais o sensor é sensível.
 - ▶▶ Resolução radiométrica: refere-se à sensibilidade do sistema sensor em detectar diferentes níveis de intensidade do sinal de retorno, traduzidos, por exemplo, por diferentes níveis de cinza que irão compor a imagem.



Figura 06 - Resolução X Pixel

8. SENSORES E PRODUTOS

8.1. Sistemas Não-Imageadores

- ❖ Segundo STEFFEN et al (1981), os sensores não- imageadores mais comuns são os radiômetros, que são capazes de medir a intensidade da energia radiante, proveniente de todos os pontos de uma superfície, dentro de seu campo de visada e em faixas de comprimento de ondas especificadas.
- ❖ De acordo com o poder de resolução espectral, os radiômetros podem ser classificados em: a) radiômetros de banda; b) espectrorradiômetros.
- ❖ Um aspecto importante nas medições com radiômetros é a calibração dos dados.

8.2. Sistemas Imageadores

- ❖ Os sistemas sensores imageadores podem ser classificados, de acordo com o processo de formação da imagem em: a) sistemas fotográficos; b) sistemas de imageamento eletro-óptico; c) sistemas de radar.

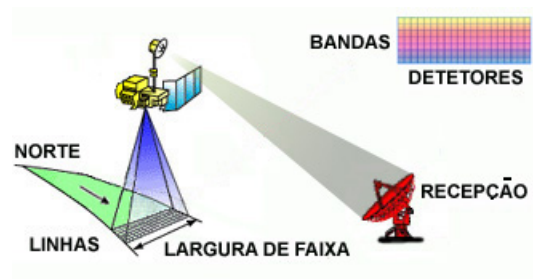


Figura 07 - Sistema de imageamento eletro-óptico

SISTEMAS FOTOGRÁFICOS

1. CÂMERAS FOTOGRÁFICAS

- 1.1. **Câmeras Métricas:** são geralmente utilizadas para fins carto-gráficos pelo alto grau de correção para as distorções geométricas. Com a melhor correção geométrica, o sistema perde em resolução, ou seja, em poder discriminar entre dois objetos definidos.
 - ▶ Pequena angular $< 50^\circ$: uso militar, vôos altos e áreas urbanas;
 - ▶ Angular normal - 50° a 75° : cartografia, grande precisão planimétrica;
 - ▶ Grande angular - 75° a 100° : cartografia, mapas com escalas grandes;
 - ▶ Super grande angular $> 100^\circ$: dobro da área da angular normal.
- 1.2. **Câmeras de Reconhecimento:** diferenciam-se quanto ao processo de formação de imagens.
- 1.3. **Câmeras Multiespectrais:** esta câmera permite o registro da radiação de uma mesma cena em um filme preto e branco, de tal forma que esta radiação seja decomposta em diferentes faixas espectrais por meio de filtros que se interpõem entre o filme e a objetiva.
- 1.4. **Câmeras Digitais:** diferentemente das câmeras fotográficas analógicas que usam filme para registrar uma imagem, as câmeras digitais usam um dispositivo de estado sólido chamado sensor de imagem. Estes "chips" de silicone do tamanho de uma unha, contêm centenas de milhares ou milhões de diodos fotossensíveis chamados "photosites". Cada um destes sensores registra a intensidade de luz (brilho) que incide sobre ele acumulando

uma carga de energia, que é armazenado como um jogo de números que irão determinar a cor e o brilho dos alvos (pixel).



Figura 08 - Câmera análogica X Câmera digital

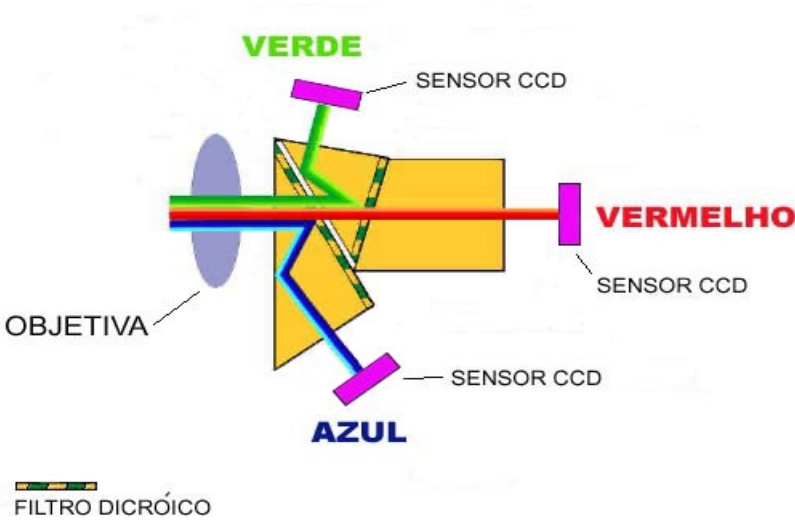


Figura 09 - Câmera digital colorida

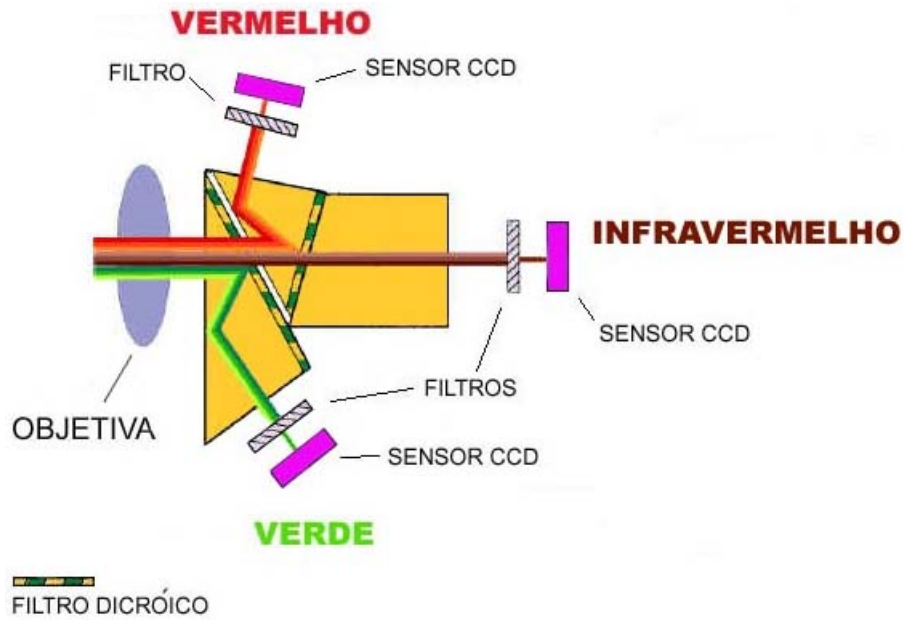


Figura 10 - Câmera digital IV

1.5. **Câmera Analógica X Câmera Digital:** Dentre os fatores importantes na escolha da tecnologia digital pode-se destacar:

- a eliminação dos processos químicos de revelação dos negativos.
 - a disponibilidade instantânea das imagens;
 - flexibilidade em termos espectrais; e
 - a possibilidade de obter produtos em quase tempo-real.
- ❖ Por outro lado fatores limitantes e que estão sendo pesquisados são:
- a resolução, ainda inferior à resolução das câmaras métricas convencionais;
 - a razão número de quadros/unidade de tempo, que deve ser alta o suficiente para aplicações em tempo real e que somente algumas câmaras de alto custo é que possuem esta relação aceitável;
 - a relação custo/área imageada que atualmente é menor para as imagens adquiridas com câmaras métricas convencionais.

2. FILTROS

- ❖ São importantes componentes dos sistemas fotográficos. Constituem-se de uma película de vidro ou gelatina com capacidade de absorver e transmitir a radiação eletromagnética de forma seletiva.
- ❖ No caso das fotografias aéreas os filtros são, geralmente, utilizados para remover radiação indesejada. Os mais comuns são aqueles para remoção de bruma (névoa), são os "haze-cutting filters". Nos filmes coloridos os filtros para remoção de névoa agem absorvendo o ultra-violeta, pois a camada azul destes filmes é sensível a este tipo de radiação.

Exemplos de filtros

COR DO FILTRO	COR DA LUZ ABSORVIDA
amarelo médio	violeta e maior parte do azul
amarelo escuro	violeta e todo azul
azul	vermelho e pouco amarelo e verde
verde	vermelho e pouco azul
vermelho	violeta, azul e maior parte do vermelho

3. FILMES

- 3.1. **Pancromático preto e branco:** são sensíveis ao espectro visível. O filme preto e branco consiste de uma base (acetato ou poliéster) sobre a qual se assenta uma emulsão de haleto de prata. Os cristais de haleto de prata têm tamanho variável entre 0,1 a 1,0 μm , estão imersos em material gelatinoso. Quando este material é exposto à luz ele libera prata metálica, de tal forma que quanto maior a quantidade de luz maior é a liberação de prata, assim as regiões com alta incidência de prata metálica aparecerão escuras e as com baixa incidência de prata aparecerão claras no negativo. Quanto maior o cristal mais sensível a luz será o filme fotográfico.
- 3.2. **Pancromático colorido:** sensível ao espectro visível
- 3.3. **Infravermelho (0,36 a 0,90 μm):** preto e branco e falsa cor

3.4. Formação das cores: processos aditivo e subtrativo

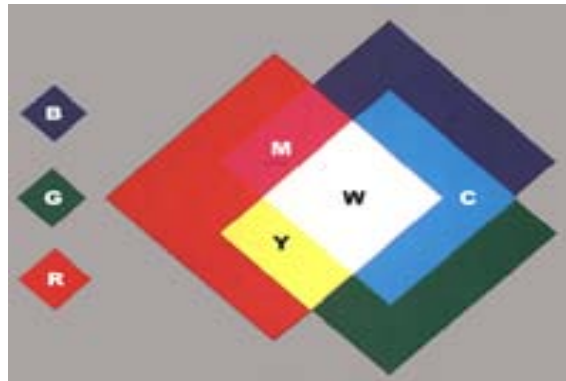


Figura 11 - Processo aditivo de formação das cores

4. FATORES FÍSICOS QUE AFETAM A AQUISIÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS

- ▶▶ Iluminação da cena
- ▶▶ Reflectância dos alvos
- ▶▶ Espalhamento
- ▶▶ Ângulo de elevação do Sol

PRINCÍPIOS DE FOTOGRAMETRIA

1. PLANO DE VÔO AEROFOTOGRAMÉTRICO

- ❖ O vôo aerofotogramétrico é realizado de forma a cobrir o terreno, ao longo de faixas longitudinais, na direção N-S (preferencial) ou E-W.
- ❖ Especificações:
 - ▶▶ Recobrimento longitudinal: 60 % + 5 %
 - ▶▶ Recobrimento lateral: 10 % a 30 %
 - ▶▶ Área a ser fotografada
 - ▶▶ Escala desejada para as fotografias
 - ▶▶ Distância focal da câmera fotogramétrica
 - ▶▶ Velocidade do avião

2. GEOMETRIA DA FOTOGRAFIA AÉREA VERTICAL

- ❖ É necessário que se conheça muito bem as relações entre a escala e a geometria básica das fotografias aéreas, para que se possa fazer medições sobre elas. Um aspecto importante é que a distância focal das câmeras métricas é fixa, porém em uma mesma área fotografada existem zonas de relevo diferente, desta forma a escala da fotografia aérea varia com a altitude de cada ponto no terreno.
- ❖ Outro ponto importante que deve ser considerado é que a projeção da fotografia aérea vertical é cônica, ou seja, possui um deslocamento radial da projeção em relação ao eixo vertical. Este deslocamento aumentará com a altura do objeto e com a distância entre o objeto e o ponto principal da fotografia.

3. ESTEREOSCOPIA

- ❖ A estereoscopia é um fenômeno natural que ocorre quando uma pessoa olha simultaneamente duas imagens que foram tiradas da mesma cena mas de pontos diferentes, fazendo com que cada imagem seja vista com um olho. O resultado é a percepção da profundidade, ou terceira dimensão.
- ❖ Portanto a visão estereoscópica é ocasionada pelo fato dos olhos humanos estarem separados um do outro em aproximadamente 65mm. Desta forma o olho direito recebe um imagem um pouco diferente da que recebe o olho esquerdo, quando observam o mesmo objeto. Da fusão das duas imagens no cérebro, resulta não só a imagem, mas também a sensação de profundidade.
- ❖ A sensação de profundidade pode ser obtida por dois tipos de visão:
 - ▶▶ Visão monocular ou monoscópica;
 - ▶▶ Visão binocular ou estereoscópica: a menor distância para se perceber profundidade é em média 25,4cm e a máxima distância é aproximadamente 600,0m.
- ❖ Processos para obter visão estereoscópica:
 - ▶▶ Estereoscopia
 - ▶▶ Visão anaglífica
 - ▶▶ Visão polaróide
 - ▶▶ Holografia

4. ESTEREOSCÓPIOS

- ❖ Estereoscópio de lente ou de bolso : consta de uma armação simples de metal suportando um par de lentes, de maneira a manter os olhos trabalhando independentemente e suas linhas de visão aproximadamente paralelas. Possuem as lentes com um poder de ampliação que varia de 1,25 a 4 X.
- ❖ Estereoscópio de espelhos : consiste fundamentalmente de dois espelhos, inclinados de 45° em relação ao plano horizontal das fotografias, em dois prismas de 45° ou dois espelhos menores e duas lentes que permitem acomodar a vista ao infinito. Os espelhos são as partes mais importantes do conjunto.

5. RESTITUIÇÃO AEROFOTOGRAMÉTRICA

- ❖ Os processos aerofotogramétricos comportam duas fases principais, bem distintas, que são: a) cobertura aerofotogramétrica; e b) restituição.
- ❖ A cobertura aerofotogramétrica, consiste nas operações para a obtenção das fotografias em número e condições convenientes.
- ❖ A restituição, por sua vez, consiste nas operações de transferência de informações, dos fotogramas, para a confecção de uma carta ou planta topográfica de uma região ou trecho dela.

5.1. Pontos de apoio

- ❖ O primeiro passo para se efetuar a restituição será o levantamento planialtimétrico (processos topográficos ou GPS) de uma rede, suficientemente densa, de pontos de controle (os chamados pontos de apoio), que sejam facilmente identificáveis nas fotografias aéreas. Estes pontos deverão estar, preferencialmente, ao nível do solo ou não muito acima dele.

5.2. Restituição

- ❖ As operações necessárias para se confeccionar uma mapa são:
 - ▶▶ eliminação dos deslocamentos da imagem devido ao relevo;
 - ▶▶ compensação da escala geral de cada fotografia em relação à escala do mapa. A escala não deverá ser muito diferente da escala aproximada das fotografias aéreas;
 - ▶▶ correções dos deslocamentos das imagens devidos à inclinação lateral e longitudinal;
 - ▶▶ determinação da orientação real das fotografias: rotação azimutal;

▶▶ ligação da área do mapa que será confeccionado a um sistema de coordenadas.

5.3. Restituição analógica

- ❖ Tem como função criar um modelo óptico, semelhante ao campo fotografado, por observação estereoscópica, e transformar esse modelo em desenho representativo (planta, carta ou mapa).
- ❖ O princípio utilizado é o de recriar condições semelhantes à tomada dos fotogramas, de forma a localizar por analogia, as posições reais (em planta e elevação) dos detalhes existentes no terreno.

▶▶ Restituidores ópticos; óptico-mecânicos; e mecânicos.

Sensoriamento Remoto Orbital

- ❖ As primeiras imagens fotográficas da superfície da Terra, a partir do espaço, foram feitas em 1961 de uma cápsula Mercury, em sua quarta missão. As missões Gemini e Apollo também seguiram obtendo fotografias da Terra, estas imagens que a princípio eram alvo apenas de curiosidade e publicidade; posteriormente, foram reconhecidas como um excelente produto para o estudo de recursos terrestres.
- ❖ A partir desta constatação a NASA, juntamente com o U.S. Geological Survey e o U.S. Department of Agriculture, desenvolveu um satélite, que foi lançado em julho de 1972, chamado "Earth Resources Technology Satellite - 1 (ERTS-1), posteriormente rebatizado como LANDSAT - 1.

1. O SISTEMA LANDSAT

- ▶▶ LANDSAT - 1: Lançado em 23 de julho de 1972 e desativado em 01 de junho de 1978
- ▶▶ LANDSAT - 2: Lançado em 22 de janeiro de 1975 e desativado em 05 de fevereiro de 1982.
- ▶▶ LANDSAT - 3: Lançado em 05 de março de 1978 e desativado em 31 de março de 1983.
- ▶▶ LANDSAT - 4: Lançado em 16 de julho de 1982 e sensores desativados em julho de 1987
- ▶▶ LANDSAT - 5: Lançado em março de 1984, ainda está operacional.

▶▶ LANDSAT - 6: Lançado em 05 de outubro de 1993, não atingiu a órbita e caiu no Oceano Pacífico.

▶▶ LANDSAT - 7: Lançado em 15 de abril de 1999, problemas em maio de 2003.

1.1. Características Orbitais

▶▶ Landsat 1-3

- altitude: 907-915 km
- inclinação: 99,2°
- órbita: polar, héliosincrona
- cruza o equador: 09:30h
- período de revolução: 103 minutos
- repetição da cobertura: 18 dias
- largura da faixa 185km

▶▶ Landsat 4-5

- altitude: 705 km
- inclinação: 98,2°
- órbita: polar, héliosincrona
- cruza o equador: 09:30h
- período de revolução: 99 minutos
- repetição da cobertura: 16 dias
- largura da faixa 185km

▶▶ Landsat 7

- altitude: 705 km
- inclinação: 98,2°
- órbita: polar, héliosincrona
- cruza o equador: 10:00h
- período de revolução: 99 minutos
- repetição da cobertura: 16 dias
- largura da faixa 183km

1.2. Principais Sensores

❖. Multi-Spectral Scanner (MSS) – tamanho da imagem 185 x 185 km

Bandas Landsat 1-3	Bandas Landsat 4 e 5	Comprimento de onda (µm)	Resolução (m)
4	1	0,5 - 0,6	80
5	2	0,6 - 0,7	80
6	3	0,7 - 0,8	80
7	4	0,8 - 1,1	80
8	-	10,41 – 12,6	237

❖ Thematic Mapper – tamanho da imagem 185 x 172 km

Bandas Landsat 4 e 5	Comprimento de onda (μm)	Resolução (m)
1	0,45 – 0,53	30
2	0,52 – 0,60	30
3	0,63 – 0,69	30
4	0,76 – 0,90	30
5	1,55 – 1,75	30
6	10,40 – 12,50	120
7	2,08 – 2,35	30

❖ Enhanced Thematic Mapper+ – tamanho da imagem 183 x 170 km

Bandas Landsat 7	Comprimento de onda (μm)	Resolução (m)
1	0,45 – 0,515	30
2	0,525 – 0,605	30
3	0,63 – 0,69	30
4	0,75 – 0,90	30
5	1,55 – 1,75	30
6	10,40 – 12,50	60
7	2,08 – 2,35	30
Pan	0,52 – 0,90	15

1.3. Principais Características das Bandas

❖ BANDA 1 (0,45 - 0,52 μm)

- ▶ Apresenta grande penetração em corpos d'água com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos.
- ▶ Sofre grande absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides).
- ▶ Apresenta sensibilidade à presença a plumas de fumaça oriundas de queimadas e ou atividade industrial.
- ▶ Pode apresentar atenuação pela atmosfera.

❖ BANDA 2 (0,52 - 0,60 μm)

- ▶ Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos quantitativos e qualitativos.

❖ BANDA 3 (0,63 - 0,69 μm)

- ▶ Devido à grande absorção da radiação dessa faixa espectral pela vegetação verde, densa e uniforme, esta aparece escura nas imagens.

- Permite a discriminação entre diferentes tipos de vegetação.
- Permite a análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal.
- Permite o mapeamento da rede de drenagem através da visualização da mata ciliar e entalhe dos cursos d'água com pouca cobertura vegetal.
- É a banda mais utilizada para delimitar manchas urbanas, incluindo identificação de novos loteamentos.

❖ BANDA 4 (0,76 - 0,90 μm)

- Os corpos d'água absorvem muita energia nesta banda e aparecem escuros nas imagens, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento dos corpos d'água.
- A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nesta banda.
- Apresenta sensibilidade à rugosidade do dossel florestal.
- Apresenta sensibilidade á morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações geológicas, geomorfológicas e pedológicas.
- Permite a discriminação entre diferentes tipos de vegetação (ex.: pinus x eucalipto).
- Permite a identificação de áreas agrícolas queimadas.
- Permite a visualização de macrófitas aquáticas (ex.: aguapé)

❖ BANDA 5 (1,55 - 1,75 μm)

- Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação causado por desequilíbrio hídrico.
- Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.

❖ BANDA 6 (10,4 - 12,5 μm)

- Sensibilidade aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.

❖ BANDA 7 (2,08 - 2,35 μm)

- ❖ Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno permitindo obter informações sobre geomorfologia, solos e geologia.
- ❖ Permite a identificação de minerais com íons hidroxilas.
- ❖ Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

2. O PROGRAMA SPOT

- ❖ O programa SPOT foi planejado e projetado desde o início como um sistema operacional e comercial de observação da Terra (SPOT – Satellite Pour l'Observation de la Terre).

Estabelecido por iniciativa do governo francês em 1978, com a participação da Suécia e Bélgica, o programa é gerenciado pelo Centro Nacional de Estudos Espaciais - CNES, que é o responsável pelo desenvolvimento do programa e operação dos satélites. Já foram lançados com sucesso os SPOT 1, 2 e 3 e 4. O SPOT 5, com novas especificações incluindo resolução espacial de 2,5m numa faixa de 60 km, está operacional desde abril de 2002, assegurando assim a continuidade dos serviços, e incluindo notáveis evoluções técnicas e comerciais.

A estrutura e o funcionamento do programa SPOT distingue claramente de um lado as funções do gerenciamento técnico do sistema , executadas pelo CNES, e de outro lado a responsabilidade das operações, atribuída à SPOT IMAGE, uma empresa de vocação genuinamente comercial, no tocante ao relacionamento com a comunidade de usuários e na distribuição de dados, além da missão permanente de divulgar a "imagem" da tecnologia francesa no mundo.

A SPOT IMAGE tem por missão assegurar o eficiente gerenciamento das capacidades de aquisição de imagens pelo satélite e transmissão de dados à 21 estações receptoras equipadas e conveniadas em todo o mundo, sendo 3 na América do Sul , bem como desenvolver as normas e circuitos de distribuição e comercialização das imagens SPOT.

2.1. As características técnicas gerais dos satélites SPOT

- ❖ Datas de lançamento:

SPOT 1	22 de Fevereiro de 1986, operacional
SPOT 2	22 de Janeiro de 1990, operacional
SPOT 3	26 de Setembro de 1993, perdido em 14 de Novembro de 97
SPOT 4	24 de Março de 1998
SPOT 5	Abril de 2002

❖ Características orbitais do SPOT 1-2-3

Spot 1, 2, 3	Características
Altitude média no Equador	822 km
Duração da Vida Útil Prevista	> a 3 anos
Ciclo Orbital	26 dias
Duração de uma órbita (nominal)	101,4 min
Inclinação da Órbita	98.7 Graus
Nó Descendente	10:39 Horas
Órbita	Circular e Heliosincronizada

❖ Características orbitais do SPOT 4

Spot 4 -5	Características
Altitude média no Equador	822 km
Duração da Vida Útil Prevista	> a 5 anos
Ciclo Orbital	26 dias
Duração de uma órbita (nominal)	101,4 min
Inclinação da Órbita	98.7 Graus
Nó Descendente	10:39 Horas
Órbita	Circular e Heliosincronizada

2.2. Sensores

Sensores	Bandas Espectrais	Resolução
HRV-XS : Multiespectral: 3 bandas no SPOT 1-2-3	Banda-1 : 0.50 ~ 0.59 μm Verde	20m
	Banda 2 : 0.61 ~ 0.68 μm Vermelho	
	Banda 3 : 0.79 ~ 0.89 μm Infra Vermelho Próximo	
HRVIR-XI : Multiespectral: 4 bandas no SPOT 4-5	Banda 4 : 1.58 ~ 1.75 μm Infra Vermelho Médio	(10m no SPOT 5)
HRV-PAN : Pancromático no SPOT 1-2-3	Banda única: 0.51 ~ 0.73 μm Visível menos Azul	10m
HRVIR-M : Monospectral No SPOT 4-5	Banda única: 0,61 ~ 0,68 μm Igual a Banda 2	(5m no SPOT 5)

3. OUTROS SATÉLITES

3.1. Missão Espacial Completa Brasileira - MECB

- ❖ A MECB tem por objetivo promover o avanço da tecnologia espacial no Brasil. O programa compreende o desenvolvimento e operação de 6 satélites, com aplicação direcionada às necessidades do país, sendo 3 satélites de coleta de dados, 2 de sensoriamento remoto e 1 de comunicações. Prevê também a construção de um veículo lançador de satélite (VLS). O programa englobou, na sua fase inicial, a construção e manutenção de infra-estruturas de uso geral como o Laboratório de Integração e Testes (LIT) e o Centro de Rastreamento e Controle (CRC).

3.2. Satélites de Coleta de Dados

- ❖ Os satélites SCD1, SCD2 e SCD3 fazem parte da Missão de Coleta de Dados, que visa fornecer ao país um sistema de coleta de dados ambientais baseado nas informações obtidas pelas plataformas de coleta de dados (PCD) distribuídas pelo território nacional. Os dados adquiridos pelas PCDs são enviados aos satélites que retransmitem para as estações receptoras do INPE.
- ❖ Os dados coletados pelos SCDs são usados para alimentar modelos de previsão do tempo, estudos sobre correntes oceânicas, marés, química da atmosfera, planejamento agrícola e monitoramento das bacias hidrográficas através de dados fluvio e pluviométricos.

3.2.1. Os Satélites SCD1, SCD2 e SCD3

- ❖ Os satélites SCD1 e SCD2 foram lançados, respectivamente, em 09/02/1993 e 22/10/1998 pelo foguete *Pegasus* e possuem as seguintes características técnicas:
 - Forma: prisma de base octogonal
 - Dimensões: 1,0m de diâmetro x 1,45m de altura
 - Massa total: 115,0kg
 - Potência elétrica: 110/120W

- Estrutura: painéis colméias de alumínio
 - Estabilização de atitude: rotação
 - Órbita: circular de 750km de altitude e 25° de inclinação
- ❖ O satélite SCD2-A deveria ter sido lançado dia 02/11/1997 mas uma falha nos propulsores do VLS impediu que a missão se completasse.
- ❖ O SCD3 visa dar continuidade e melhorar o desempenho do sistema de coleta de dados, prover um sistema de comunicação de mensagens bidirecional para a região equatorial, e realizar experimentos de comunicação de dados. A região de cobertura do sistema compreende a faixa de latitudes 15° N e 15° S. O SCD3 apresenta, também, a vantagem de ter repetitividade de 2 horas.

3.3. Os Satélites SSR1 e SSR2

- ❖ Os satélites SSR1 e SSR2 são satélites de observação da Terra cujo objetivo será o monitoramento da Região Amazônica, que se estende do paralelo 5° N ao 15° S. Os principais estudos a serem realizados com os dados destes satélites são: desmatamento, queimadas, enchentes, exploração mineral, desertificação etc.
- ❖ O satélite SSR é caracterizado pela arquitetura modular, sendo composto de um módulo de carga útil, onde estão instalados os instrumentos imageadores e de uma plataforma multimissão de serviços que provê as funções básicas do satélite: geração de energia elétrica, controle térmico, comunicações etc.
- ❖ As características gerais do SSR são:
- Massa: 290kg
 - Potência: 250W
 - Órbita: circular, equatorial a 900km de altitude
 - Repetitividade: 2 horas
 - Três bandas na faixa do visível com resolução espacial de 100 a 200m
 - Banda IR com resolução espacial de 300 a 400m para monitoramento de incêndios florestais
 - Irradiação de dados de imagem direta aos usuários finais com estações receptoras portáteis

- Vida útil estimada de 4 anos

3.4. China Brazil Earth Resources Satellite - CBERS

- ❖ O programa CBERS (início em julho de 1988) agrega a capacidade técnica e os recursos financeiros da China e do Brasil para estabelecer um sistema completo de sensoriamento remoto competitivo e compatível com as necessidades internacionais atuais.
- ❖ O programa orçado originalmente em US\$ 150 milhões, dos quais o Brasil deveria participar com 30%, prevê a construção de dois satélites idênticos e seus lançamentos através de veículos da série Longa Marcha 4. Em 14/10/1999, foi lançado o CBERS-1 e em 21/10/2003 o CBERS-2.
- ❖ O satélite CBERS é composto de dois módulos: o módulo de carga útil acomoda os sistemas ópticos (CCD - High resolution CCD cameras, IRMSS - Infra-red multispectral scanner e Wfi - Wide field imager) e os eletrônicos usados para observação da Terra e coleta de dados; o módulo de serviço contém todos os equipamentos necessários para o funcionamento do satélite.
- ❖ As principais características do satélite são:
 - Massa total: 1450kg
 - Potência gerada: 1100W
 - Dimensões: 1,8m x 2,0m x 2,2m
 - Painel solar: 2,6m x 6,3m
 - Órbita: heliosíncrona a 778km de altitude; 98,5° de inclinação em relação ao Equador; período de 100,26min (aprox. 14 revoluções/dia)
 - Vida útil: 2 anos

❖ Sensores:

a) WFi - Wide Field Imager:

- . Bandas espectrais: 0,63 - 0,69 μ m (vermelho)
0,77 - 0,89 μ m (infravermelho)
- . Resolução espacial: 260 x 260m
- . Largura da faixa imageada: 890km
- . Resolução temporal: 5 dias

b) CCD - High Resolution CCD Camera:

- . Bandas espectrais: 0,51 - 0,73 μ m (pan)
 - 0,45 - 0,52 μ m (azul)
 - 0,52 - 0,59 μ m (verde)
 - 0,63 - 0,69 μ m (vermelho)
 - 0,77 - 0,89 μ m (infravermelho)
- . Resolução espacial: 20 x 20m
- . Largura da faixa imageada: 113km
- . Capacidade de apontamento do espelho: $\pm 32^\circ$
- . Resolução temporal: 26 dias vertical e 3 dias com visada lateral

c) IR-MMS - Infrared Multispectral Scanner:

- . Bandas espectrais: 0,50 - 1,10 μ m (pan)
 - 1,55 - 1,75 μ m (infravermelho médio)
 - 2,08 - 12,5 μ m (infravermelho médio)
 - 10,4 - 0,69 μ m (infravermelho termal)
- . Resolução espacial: 80 x 80m (160 x 160m termal)
- . Largura da faixa imageada: 120km
- . Resolução temporal: 26 dias

3.5. Satélites NOAA

- ❖ O sistema operacional de satélites meteorológicos do NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) é composto por dois tipos de satélites: GOES (geostationary operational environmental satellites) e satélites de órbita polar sendo que o principal é o NOAA-15.
- ❖ Os Estados Unidos opera hoje dois satélites de órbita geoestacionária (35.786km de altitude) sobre o Equador (GOES-8 e 10) um posicionado a leste e outro a oeste, cobrindo uma extensão, aproximada, que vai da longitude 20°W até a 165°E. A missão principal destes satélites é executada pelos sensores: a) *Imager* que é um instrumento multicanal sensível a energia solar radiante refletida pela superfície terrestre e pela atmosfera; e b) *Sounder* que obtém dados para determinar as temperaturas e teor de umidade da atmosfera, temperatura da superfície e topo das nuvens e distribuição da camada de ozônio.

- ❖ O NOAA-15 foi lançado dia 13 de maio de 1998, possui órbita heliosincrona a uma altitude de 833km, inclinação em relação ao Equador de 98,7° e período de revolução de 101,2 minutos. O seu principal sensor é o AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer).
- ❖ O AVHRR é um imageador detector da radiação que pode ser usado para determinar remotamente a cobertura de nuvens e temperatura das superfícies da Terra, nuvens e corpos d'água, suas principais características são:

Canal	Resolução Espacial	Comprimento de Onda (μm)	Aplicação
1	1,09km	0,58 - 0,68	mapeamento de nuvens e da superfície terrestre
2	1,09km	0,72 - 1,00	mapeamento dos limites de água e terra
3A	1,09km	1,58 - 1,64	detecção de gelo e neve
3B	1,09km	3,55 - 3,93	mapeamento noturno de nuvens, temperatura da superfície do mar
4	1,09km	10,3 - 11,3	mapeamento noturno de nuvens, temperatura da superfície do mar
5	1,09km	11,5 - 12,5	temperatura da superfície do mar

3.6. Sistema RADARSAT

- ❖ RADARSAT é um avançado sistema de satélite de observação da Terra, desenvolvido pelo Canadá, para monitorar mudanças ambientais e os recursos naturais sustentáveis. O RADARSAT-1 foi lançado em novembro de 1995, com uma vida útil estimada de 5 anos, o RADARSAT-2 está programado para estar operacional em 2001.
- ❖ As principais características do RADARSAT-1 e seu sensor de microondas o SAR (Synthetic Aperture Radar) são:
 - Massa total: 2750kg
 - Potência gerada: 2500W
 - Antena: 15,0m x 1,5m - Polarização HH

- Órbita: heliosíncrona a 793-821km de altitude; 98,6° de inclinação em relação ao Equador; período de 101min (14 revoluções/dia)
- SAR: opera na banda C de radar com frequência de 5,3GHz e comprimento de onda de 5,6cm
- Vida útil: 5 anos

❖ Sistemas de imageamento:

Modo	Resolução Espacial (m)	Largura da Faixa (km)	Ângulo de Incidência
Fine	8	45	37° - 47°
Standard	30	100	20° - 49°
Wide	30	150	20° - 45°
ScanSAR Narrow	50	300	20° - 49°
ScanSAR Wide	100	500	20° - 49°
Extended (H)	18-27	75	52° - 58°
Extended (L)	30	170	10° - 22°

3.7. Satélites ERS-1, ERS-2 e JERS-1

❖ Os satélites ERS-1 e ERS-2 da Agência Espacial Européia foram lançados em 17/07/1991 e 21/04/1995 respectivamente e possuem as seguintes características principais:

- Massa total: 2516kg
- Dimensões: 12,0m x 12,0m x 2,5m
- Potência gerada: 2000W
- Antena: 10,0m x 1,0m
- Órbita: polar / heliosíncrona a 780km de altitude período de 101min (14 revoluções/dia)
- SAR: opera na banda C de radar com frequência de 5,3GHz e comprimento de onda de 5,6cm

❖ O satélite JERS-1 da Agência Nacional de Desenvolvimento Espacial do Japão foi lançado em 11/02/1992 e possui as seguintes características principais:

- Órbita: polar / heliosíncrona a 568km de altitude
- Opera também um sistema SAR e um sensor óptico (OPS) de 7 bandas do visível ao infravermelho próximo, capaz de fazer visada lateral de 15,3°

3.8. IKONOS-II

❖ O IKONOS-II foi lançado em 24 de setembro de 1999 e possui as seguintes características:

- . Massa total: 720kg
 - . Órbita: polar / heliosíncrona a 680km de altitude período de 98min (14 revoluções/dia)
 - . Bandas espectrais: 0,45 - 0,90 μ m (pan)
 - 0,45 - 0,52 μ m (azul)
 - 0,52 - 0,60 μ m (verde)
 - 0,63 - 0,69 μ m (vermelho)
 - 0,76 - 0,90 μ m (infravermelho)
 - . Resolução espacial: 1,0m pan e 4,0m multiespectral
 - . Largura da faixa imageada: 11,0km
- ❖ Possibilidade de combinação de imagens adquiridas no modo PANCROMÁTICO, P&B, com 1 m de resolução, com imagens multiespectrais coloridas de 4 m de resolução, para a geração de imagens coloridas com 1m de resolução, combinando então as vantagens dos dois tipos de imagens. Como o satélite adquire sistematicamente as imagens no modo PAN e MS para todas as áreas, esta fusão e o produto PSM pode ser gerado para todas as imagens adquiridas pelo **IKONOS**
- ❖ Aquisição das imagens com profundidade radiométrica de 11 bits (2048 níveis de cinza) aumentando o poder de contraste e de discriminação das imagens, inclusive nas áreas de sombra. Antes do **IKONOS**, as imagens de satélites eram geralmente adquiridas com 8 bits (1 byte) ou 256 níveis de cinza.

4. SISTEMA BRASILEIRO DE RECEPÇÃO DE DADOS DE SATÉLITE

- ❖ Compõe-se de uma estação de recepção, instalada em Cuiabá (centro geográfico da América do Sul) e operando desde 1973. Em Cuiabá, os dados são recebidos através de uma antena parabólica e gravados em fitas HDDMT. Estas fitas são enviadas posteriormente para o laboratório de processamento eletrônico e fotográfico localizado em Cachoeira Paulista-SP.

Este laboratório tem a função de transformar os dados recebidos pela estação de recepção em imagens fotográficas ou fitas CCT.

INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS

1. DEFINIÇÃO / FILOSOFIA

- ❖ "Fotointerpretação é o exame de imagens fotográficas, com a finalidade de identificar objetos e avaliar seus significados." (Manual of Photographic Interpretation - ASP / 1960)
- ❖ A fotointerpretação não possui um campo de atuação exclusivo e deve ser considerada uma técnica e não uma ciência.

2. FASES DA FOTOINTERPRETAÇÃO

- ❖ Alguns autores como Luerder (1959) e Vinck (1964), citam a existência de uma escala de complexidade nas técnicas fotointerpretativas:
 - ▶ fotoidentificação - uso do estereoscópio pode ser dispensado. A quantidade e qualidade das informações depende: a. complexidade da região imageada; b. escala e qualidade da imagem; c. natureza do objeto de estudo; d. experiência e conhecimento do fotointérprete;
 - ▶ fotoanálise - técnica mais complexa que a anterior, o uso do estereoscópio é indispensável. Nesta fase são feitas comparações, medições e classificação dos alvos;
 - ▶ fotointerpretação - inclui as fases anteriores, é aplicável tanto para alvos que aparecem nas imagens fotográficas, como para aqueles que não são visíveis, mas que podem ser estudados por meio de indícios indiretos. Nesta fase utiliza-se o princípio da "convergência de evidências."
- ❖ Deve ficar claro que apesar do trabalho de campo ficar grandemente reduzido com a fotointerpretação, ele não é totalmente eliminado e serve principalmente para eliminação de dúvidas.

3. ASPECTOS BÁSICOS DA FOTOINTERPRETAÇÃO

- ❖ Tonalidade: níveis de cinza e cor;

- ❖ Forma: a forma que aparece em uma imagem fotográfica aérea ou orbital é uma vista aérea, é o elemento de reconhecimento de mais fácil percepção;
- ❖ Padrão: também chamado de modelo, se caracteriza pela união e extensão das formas;
- ❖ Densidade: repetição de formas ou padrões por unidade de área. A densidade deve ser quantificada em relação à área real na superfície terrestre;
- ❖ Declividade: é o único elemento de reconhecimento totalmente dependente da visão estereoscópica;
- ❖ Textura: a textura fotográfica é devida ao arranjo de muitos elementos iguais ou similares que estão em uma mesma área ou que, em conjunto, compõem um alvo. Depende da escala da imagem fotográfica;
- ❖ Tamanho: conhecendo a escala da imagem podemos medir o tamanho de qualquer objeto, essas medições auxiliam a fotointerpretação;
- ❖ Sombra: as sombras estão relacionadas com o horário de imageamento, latitude do local e a época do ano. Podem auxiliar ou prejudicar o trabalho de fotointerpretação;
- ❖ Posição: a localização geográfica está relacionada ao entendimento ou familiarização com a região estudada (clima, vegetação, uso da terra, etc);
- ❖ Adjacências: "*convergência de evidências*."

4. APLICAÇÕES

4.1. Fotointerpretação aplicada ao levantamento de solos

FOTOINTERPRETAÇÃO APLICADA AO LEVANTAMENTO DE SOLOS

Escala do Mapa	Tipo de Levantamento	Número médio de observações / km ²		Escala da FAV
		S/ fotointerpretação	C/ fotointerpretação	
1: 2.500	Muito Detalhado	500 - 4.000	500 - 4.000	1:10.000
1:10.000	Detalhado	100 - 500	100 - 500	1:10.000
1:25.000	Detalhado a Semid.	+ - 100	10 - 50	1:20.000
1:50.000	Semidetalhado	12 - 25	1 - 3	1:20.000
1:100.000	Reconhecimento	2 - 45	+ - 1	1:20.000
1:200.000	Generalizado	+ - 1	+ - 1	1:50.000

4.2. Fotointerpretação aplicada ao estudo da vegetação e uso da terra

- ❖ A fotointerpretação aplicada ao estudo da vegetação e uso da terra é fundamental para o planejamento regional, baseia-se principalmente no estudo da tonalidade, textura, sombra, forma e dimensão, além do conhecimento das relações da vegetação com o meio ambiente. Baseados nestes aspectos pode ser feita uma correlação entre fotografia e campo para a elaboração de chaves de classificação.
- ❖ Principais tipos de uso da terra
 - ▶▶ Culturas Temporárias
 - ▶▶ Culturas Perenes
 - ▶▶ Pastagem
 - ▶▶ Reflorestamento
 - ▶▶ Vegetação Natural
 - ▶▶ Outros Usos

5. METODOLOGIA DE INTERPRETAÇÃO VISUAL DE IMAGENS FOTOGRÁFICAS

- ❖ Não existe uma "metodologia de interpretação visual" que possa ser utilizada em todos os tipos de estudo. Para cada aplicação há particularidades que devem ser observadas no decorrer do trabalho.
- ❖ O sucesso da interpretação visual está relacionado com dois fatores básicos: □
 - ▶▶ a) escolha adequada das imagens de satélite, considerando-se a época de obtenção, o tipo de produto, os canais, a escala, etc;
 - ▶▶ b) habilidade do fotointérprete.

5.1. Habilidade do Fotointérprete

- ▶▶ Fotintérprete com conhecimento de campo
 - ▶▶ Fotointérprete sem conhecimento de campo
 - ▶▶ Fotointérprete sem conhecimento de campo, porém possuindo dados auxiliares de campo
- ▶▶ Para as três condições acima, a interpretação visual requer conhecimento das características espectrais, espaciais e temporais das imagens fotográficas. É também importante a checagem de campo, a fim de eliminar possíveis dúvidas.

5.2. Interpretação Visual de Imagens Fotográficas

- ▶▶ Primeiro passo: levantamento dos dados ambientais e agronômicos da região de estudo, para em seguida se escolher as imagens.
- ▶▶ Segundo passo: preparo do "overlay", onde serão registrados os dados extraídos das imagens.
- ▶▶ Terceiro passo: identificação dos alvos sobre a imagem de satélite, nesta fase é importante o conhecimento das características espectrais do alvo bem como sua variação temporal.
- ▶▶ Estabelecimento de uma chave de interpretação.

5.3. Critérios de classificação

❖ Um sistema de classificação de uso da terra e revestimento do solo, que possa utilizar com eficiência dados de sensores remotos orbitais e de grande altitude, deve atender aos seguintes critérios (Anderson, 1971):

1. o nível mínimo de precisão para interpretar e identificar as categorias de uso da terra e revestimento do solo, a partir de dados de sensoriamento remoto deverá ser de, pelo menos 85 por cento;
2. a precisão de interpretação para as diferentes categorias de verá ser aproximadamente a mesma;
3. resultados repetitíveis ou repetitivos devem ser capazes de se obter de um intérprete para outro e de um sensoriamento para outro;
4. o sistema de classificação deve ser aplicável em áreas extensas;
5. a categorização deve permitir que a vegetação e outros tipos de revestimento do solo sejam utilizados como substitutos da atividade;
6. o sistema de classificação deve ser passível de utilização com dados de sensoriamento remoto obtidos em diferentes épocas do ano;
7. deve ser possível o uso eficaz de subcategoria a serem obtidas de levantamentos no campo ou a partir da utilização de maior escala ou de dados ampliados de sensores remotos;
8. deve ser possível a agregação de categorias;
9. deve ser possível a comparação com dados de uso da terra a serem obtidos posteriormente;
10. os usos múltiplos da terra devem ser identificados, quando possível.

5.4. Exemplo de interpretação visual

- ❖ Definição dos objetivos
- ❖ Escolha da área de estudo

- ❖ Solicitação de imagens
- ❖ Revisão bibliográfica
- ❖ Levantamento de dados auxiliares
- ❖ Reconhecimento de campo
- ❖ Interpretação preliminar
- ❖ Trabalho de campo
- ❖ Interpretação final
- ❖ Relatórios e mapas

<i>Nível de Classificação</i>	<i>Características Típicas dos Dados</i>
I	Tipo de dados LANDSAT (anteriormente ERTS)
II	Dados de grande altitude, a 12.400m ou mais (escala menor que 1:80.000)
III	Dados de altitude média tomados entre 3.100 e 12.400m (escala 1:20.000 a 1:80.000)
IV	Dados de baixa altitude tomados a menos de 3.100m (escala mais que 1:20.000)

Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto

1. **Pré-processamento**: conjunto de programas que permitem a transformação de dados digitais brutos em dados corrigidos radiométrica e geometricamente.
 - 1.a. **Correção Radiométrica**: tem por finalidade minimizar diferenças entre os níveis de cinza registrados por uma matriz de detetores. Estas diferenças são decorrentes de problemas de calibração dos detetores em função da não linearidade da resposta destes à radiância da cena. Estes programas também fazem a remoção de ruídos lineares.
 - 1.b. **Correção Geométrica**: tem por finalidade reorganizar os "pixels" da imagem em relação a determinado sistema de projeção cartográfica. Para a reformatação da cena

são necessários pontos de controle no terreno, facilmente identificáveis na base cartográfica e na cena a ser corrigida geometricamente.

- 1.c. Correção Atmosférica: tem por objetivo reduzir o efeito da interferência da atmosfera sobre os valores de nível de cinza registrados em uma dada cena. Os métodos mais sofisticados de correção atmosférica baseiam-se na teoria da transferência radiativa e usam programas para o cálculo da transmitância atmosférica.

2. **Técnicas de Realce de Imagens**: as técnicas de realce visam melhorar a qualidade "visual" da imagem. As imagens realçadas podem, posteriormente, ser submetidas à interpretação visual ou podem integrar um conjunto de canais a serem utilizados num processo de classificação.
 - 2.a. Manipulação de Contraste: visa facilitar a discriminação visual de características da cena com baixo contraste. O primeiro passo na utilização de técnicas de manipulação de contraste deve ser análise dos histogramas com a frequência dos níveis de cinza de cada canal espectral. Os histogramas de imagem descrevem a distribuição estatística dos níveis de cinza em uma cena em termos da frequência de ocorrência de "pixels" para cada valor digital entre 0 e 255. A manipulação do contraste consiste, portanto, em procedimentos que, através da modificação da forma do histograma, ampliam o contraste da imagem. Um exemplo da técnica de manipulação de contraste é oferecido pela *Ampliação de Contraste* (Contrast Stretch).

 - 2.b. Filtragem Espacial: as técnicas de filtragem, da mesma forma que as manipulações de contraste, são transformações da imagem "pixel" a "pixel". Entretanto, a modificação da imagem filtrada não depende neste caso, apenas do nível de cinza de um determinado "pixel" da imagem original, mas também do valor dos níveis de cinza dos "pixels" vizinhos. Os filtros digitais podem ser classificados em dois grandes grupos: filtros passa-baixa e filtros passa-alta. Os filtros passa-baixa são utilizados, geralmente, para atenuar os ruídos existentes numa cena imageada (ruídos devidos a diferenças de sensibilidade dos detetores e erros na transmissão do sinal). O resultado de uma filtragem passa-baixa é a redução da variabilidade dos níveis de cinza da cena. Os filtros passa-alta são utilizados para realçar regiões de transição dentro de uma cena

(realce de bordas), tais como os limites de um campo de cultivo, lineamentos geológicos etc. Portanto podemos concluir que as filtragens espaciais também alteram o contraste das imagens.

2.c. Realces Espectrais: o realce espectral está relacionado a imagens multiespectrais sobre uma mesma cena. O objetivo é obter novas imagens que reflitam, de alguma maneira, as relações existentes entre essas imagens a cada pixel, uma vez que a posição destes nas diferentes imagens multiespectrais é a mesma.

2.c.1. Composições coloridas: este tipo de realce espectral é uma maneira conveniente e rápida de se mostrar, de uma só vez, as variações espectrais dos alvos contidos em uma cena, sem prejuízo das suas relações espaciais. Consiste na associação de uma das cores primárias ou das suas cores complementares a cada uma das imagens relativos a um determinado intervalo do espectro eletromagnético, até no máximo de três imagens.

2.c.2. Divisão (razão) entre canais: as razões entre canais são feitas dividindo-se o nível de cinza de um pixel, em um canal, pelo seu nível de cinza em outro canal, para cada pixel da imagem gerando uma imagem de tons escuros correspondente a alvos para os quais o denominador é maior que o numerador. As vantagens e desvantagens da técnica de divisão de canais são:

- a atenuação de efeitos atmosféricos e topográficos, pois se supõe que ambos influenciam igualmente os dois canais;
- permite a diferenciação de alvos, dentro das cenas, com valores de nível de cinza não proporcionais;
- permite a redução da dimensionalidade dos dados, uma vez que as informações mais importantes de dois canais estarão representadas em uma única imagem;
- a perda de informação sobre os efeitos do relevo pode ser uma das desvantagens, em aplicações nas quais essa característica seja subsídio para a interpretação.

2.c.3. Componentes principais: a técnica de transformação por componentes principais é utilizada como um artifício para reduzir a dimensionalidade dos dados, ou seja, concentrar as informações contidas em diferentes canais em um menor número de dimensões.

2.c.4. Transformação canônica: como na transformação por componentes principais, esta também é uma transformação dos canais originais, gerando novas imagens

independentes entre si e ordenadas pela variância. Entretanto ela é efetuada a partir de parâmetros espectrais obtidos através de amostragem nas imagens originais, representando as classes (ou alvos) de interesse do usuário, exige portanto um conhecimento prévio dos alvos ou classes que se quer estudar.

2.c.5. Transformação IHS: é uma transformação particular do sistema RGB onde IHS (intensity, hue and saturation) descrevem as sensações subjetivas de brilho, cor e saturação respectivamente para cada cor do sistema RGB. A implementação dessa transformação exige, além da mudança do RGB para IHS, uma outra transformação inversa para RGB, a fim de que se possa visualizar os resultados obtidos. A vantagem de se fazer o realçamento pelo IHS é poder modificar cada componente, independentemente dos outros, sem alterar a média de cada componente. Além disso, como essa componentes estão na forma em que as cores são processadas pelo cérebro humano, a interpretação visual das imagens resultantes fica facilitada.

2.d. Considerações Finais: é importante salientar que certas técnicas de realce são utilizadas para melhorar o aspecto visual da imagem alterando substancialmente o valor original dos níveis de cinza existentes em uma imagem. Por isto, o usuário deve ter em mente que, se o seu interesse for conhecer as variações da radiância de alvos naturais, tais técnicas de realce não devem ser aplicadas aos dados. Algumas técnicas de realce (ampliação de contraste, transformação por componentes principais e razões multiespectrais), muitas vezes são utilizadas como processamentos anteriores ao processo de classificação digital aumentado, em alguns casos, a precisão de classificação em relação aos canais originais da cena.

3. **Técnicas de Classificação Digital**: as técnicas de classificação digital implicam na implementação de um processo de decisão para que o computador possa atribuir certo conjunto de pontos de imagem (pixels) a uma determinada classe. Assim sendo estas técnicas têm como objetivo tornar o mapeamento ou reconhecimento de características da superfície terrestre menos subjetiva e com maior potencial de repetição em situações subsequentes. As técnicas de classificação podem ser divididas em: a) unidimensionais: quando aplicadas a apenas um canal espectral; e b) multiespectrais:

quando o critério de decisão depende da distribuição de níveis de cinza em vários canais espectrais.

- 3.a. Classificação Unidimensional: a técnica mais simples de classificação unidimensional é o fatiamento (slicer). Esta técnica consiste na divisão do intervalo total de níveis de cinza de uma dada faixa espectral em um certo número de classes. Os algoritmos de fatiamento existentes partem, geralmente, da aquisição do histograma do canal a ser utilizado para classificação. Com base neste histograma são criados intervalos de níveis de cinza a partir de certos critérios. Aos pixels correspondentes a um certo intervalo de nível de cinza é então atribuída uma determinada legenda, correspondente a uma dada classe temática.
- 3.b. Classificação Multiespectral: as técnicas de classificação multiespectral podem ser divididas em três grandes conjuntos: classificação supervisionada, classificação não-supervisionada e classificação híbrida.

3.b.1. Nas classificações supervisionadas, o analista está em constante interação com o sistema de análise de imagens digitais. Além disto, ele dispõe de informações sobre a cena, que servem de “treinamento” para o sistema. Essas informações são conhecidas pelo nome de “amostras de treinamento” e representam o “comportamento” médio das classes que deverão ser mapeadas automaticamente. É importante, portanto, que a amostra de treinamento seja homogênea e representativa da classe, a seleção destas amostras é feita a partir do conhecimento (teórico e prático) que o analista tem da cena. Os principais problemas que ocorrem na seleção das amostras são: falta de um comportamento espectral homogêneo em toda extensão; duas classes distintas apresentarem comportamento espectral semelhante.

3.b.2. No caso das classificações não-supervisionadas, o analista tem pouco controle sobre a separação entre as classes. Além disso, ele não precisa preocupar-se com a homogeneidade das amostras, podendo-se dizer que, quanto maior a heterogeneidade das amostras, maior a certeza de que todas as classes possíveis estarão representados. Os pixels nas áreas de treinamento são, então, submetidos a algoritmos de agrupamento (clustering), que determinam o agrupamento natural dos dados, considerando sua distribuição num espaço de N dimensões (canais). Cada grupo formado é, então,

considerado como representativo da distribuição de probabilidade para uma classe. Neste caso o analista não precisa ter um conhecimento prévio da área.

3.b.3. As classificações híbridas são aquelas em que o analista utiliza uma classificação não-supervisionada como base para a seleção de amostras de treinamento para realizar uma classificação supervisionada.

3.c. Análise digital de dados multitemporais: Da mesma forma que podemos manipular o conjunto de imagens em diferentes canais espectrais, utilizando um sistema de análise de dados digitais, podemos manipular imagens de um mesmo canal em diferentes datas.

3.d. Considerações finais: A aplicação de técnicas de processamento digital aumenta em muito a capacidade do analista de extrair informações sobre alvos da superfície, a partir de dados de Sensoriamento Remoto. Entretanto estas técnicas devem ser utilizadas de forma consciente.

Bibliografia:

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. **Manual of Photographic Interpretation**. Falls Church, Va. 1960.

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. **Manual of Color Aerial Photographic** - Falls Church, Va. 1968.

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. **Manual of Remote Sensing**. - Falls Church, Va. 1975.

ANDERSON, P.S. **Fundamentos para Fotointerpretação**. Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia e Sensoriamento Remoto. Rio de Janeiro, 1982.

AVERY, T.E.; BERLIN, G.L.. **Interpretation of Aerial Photographs**. Minneapolis, Burgess Publishing Company, 4ª ed, 1985.

CROSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, UNICAMP. 1992.

DISPERATI, A.A. **Obtenção e Uso de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato**. Curitiba. Universidade Federal do Paraná e FUDEP. 1991.

GARCIA, G.J. **Sensoriamento Remoto - Princípios e Interpretação de Imagens**. São Paulo. Ed. Nobel. 1992.

GOOSEN, D. **Aerial Photo Interpretation in Soil Survey**. Roma, FAO (Soils Bulletin No. 6). 1967.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.N. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 3a. ed. New York, John Wiley and Sons. 1994.

MARCHETTI, D.A.B.; GARCIA, G.J. **Princípios de Fotogrametria e Fotointerpretação**. São Paulo, Ed. Nobel, 1977.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2ª ed. São Paulo, Edgard Blucher. 1992.

SABINS, F.F. **Remote Sensing - Principles and Interpretation**. New York, W.H. Freeman and Company. 3^{ed} - 1996.