

Aula 1

DEFINIÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO:

Ciência de observação à distância (Barret & Curtis (1992))

Medida à distância da assinatura espectral da superfície da Terra e da atmosfera (Mather (1987))

Sensoriamento remoto é o uso de sensores de radiação eletromagnética para registrar imagens do meio físico que possam ser interpretadas de modo a gerar informações úteis (Curran (1995))

É a arte e a ciência de estudar a matéria sem ter contacto físico com a mesma baseando-se somente na interação da radiação eletromagnética com a matéria (Lillesand & Kieffer (1994))

BREVE HISTÓRICO

1826 - invenção da fotografia

1839 - primeiras fotografias exibidas - câmeras no peito de pombos, à bordo de balões

1909 - primeiras fotografias tiradas de avião (Wilbur Wright, 24.04.1909)

1914 - uso militar de fotografias aéreas - no decorrer da década de 40, diversas aplicações militares em todo o mundo em guerra.

1920 - uso de fotografias aéreas em prospecção geológica

1931 - início do desenvolvimento de filmes sensíveis ao infravermelho próximo.

1960 - NASA - computadores - dados digital - técnicas interpretativas.

1972 - ERTS-1 (Lansat-1) - técnicas de processamento de imagens

Após 1972

- Sensores ópticos e passivos:

- LANDSATs
- AVHRR
- SPOT
- CBERS
- Muitos outros

-Sensores ativos:

- ERS-1
- JERS-1
- Radarsat
- outros

Aula 2

ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

Conjunto de radiações eletromagnética arranjadas por ordem decrescente de Energia ou frequência ou por ordem crescente do comprimento de onda.

As faixas espectrais são grupamentos de energias, frequências ou comprimentos de onda com propriedades físicas semelhantes.

FAIXAS DO VISÍVEL: de 380 a 720 nm

Cor	comprimento de onda	
violeta	380 a 420 nm	
azul	420 a 490 nm	
verde	490 a 560 nm	(detector
amarelo	560 a 585 nm	Silício - Si)
laranja	585 a 650 nm	
vermelho	650 a 720 nm	

FAIXAS DO INFRAVERMELHO: de 700 nm a 14000 nm

Faixa	comprimento de onda	
- infravermelho próximo	720 a 1100 nm	(detector Silício - Si)
- infravermelho médio	1250 a 2500 nm	(detector Antimoneto de índio - InSb)
- infravermelho termal	3000 a 14000 nm	(detector Telureto de Mercúrio HgCdTe)

FAIXAS DAS MICROONDAS:

Faixa	frequência (GHz)	comprimento de onda (cm)
P	0,2 a 0,6	130 a 50
L	0,6 a 1,0	50 a 30
S	1,5 a 5,0	20 a 6
C	4,0 a 6,0	7,5 a 5
X	5,0 a 11,0	6 a 2,7
K	12,0 a 38,0	2,5 a 0,8
V	65,0 a 75,0	0,5 a 0,4
F	90,0 a 120,0	0,33 a 0,25

FONTES DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA:

- Todos os corpos com temperatura acima do ZERO ABSOLUTO (270° K)
- Principal fonte conhecida pelo homem = SOL
 - no topo da atmosfera se registra $3,9 \times 10^{22}$ MW dos quais:
 - 35% é refletida pela Terra
 - 17% é absorvida pela atmosfera
 - 47% é absorvida pelos materiais da superfície da Terra destes, 46% são das faixas do visível.

PROCESSOS DE INTERAÇÃO

ATENUAÇÃO ATMOSFÉRICA:

- depende do comprimento de onda
- depende do material em suspensão
- podem sofrer dois tipos de atenuação:
 - espalhamento - sem transferência de energia
 - absorção - com transferência de energia

absorção + espalhamento = atenuação atmosférica (que resulta em perda de contraste)

INTERAÇÃO COM A SUPERFÍCIE DA TERRA:

- | | |
|----------------------------|----------------------------------|
| - Mecanismos de interação: | - Resultando em mudanças na: |
| Espalhamento | Intensidade refletida ou emitida |
| Absorção | Direção |
| Reflexão | Comprimento de onda |
| Refração | Polarização (V ou H) |
| Transmissão | |
| Emissão | |

ASSINATURA ou COMPORTAMENTO ESPECTRAL

Cada objeto apresenta uma reflectância de acordo com:

- composição mineral ou química
- tamanho das partículas
- tamanho das células ou dos espaços intercelulares
- teor de umidade
- rugosidade

ASSINATURA DA ÁGUA

- REFLECTÂNCIA NO VISÍVEL DEPENDENTE DA NATUREZA E DA QUALIDADE DAS PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO NA ÁGUA.
- FORTE ABSORTÂNCIA NAS FAIXAS:

Infravermelho próximo
Infravermelho médio
Microondas

ASSINATURA DO SOLO NÚ

- Reflectância aumentando com o comprimento de onda
- Redução da reflectância - Água, Matéria Orgânica, Ferro, Argila
- Aumento da reflectância - Silte, Areia, Quartzo

ASSINATURA DA VEGETAÇÃO

DEPENDE DA FORMA, DA ARQUITETURA E DO VIGOR DAS FOLHAS:

- FORTE ABSORTÂNCIA NO VISÍVEL
- FORTE REFLECTÂNCIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO
- FORTE ABSORTÂNCIA NO INFRAVERMELHO MÉDIO

SENSORIAMENTO REMOTO

Óptico - é regido por leis ópticas

Não óptico - não é regido por leis ópticas

Passivo - se utiliza da radiação proveniente do Sol

Ativo - que possui sua própria fonte de radiação eletromagnética

RESOLUÇÃO ESPACIAL

Tamanho da área mínima no terreno correspondente a cada cela na imagem. Pode variar de 0,5m a 1,1 Km - conforme o sistema sensor.

RESOLUÇÃO ESPECTRAL

Número de faixas espectrais de cada sistema sensor à bordo da plataforma. Pode variar de 1 a mais de 100 faixas do espectro eletromagnético - depende também da plataforma.

RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA

Número de níveis de Energia que o sistema é capaz de distinguir. O Número Digital (ND) pode variar de 6 bits ($2^6 = 64$) até 12 bits ($2^{12} = 4096$) - conforme o sistema sensor.

RESOLUÇÃO TEMPORAL

O tempo entre uma tomada de dados e outra. Pode ser repetitivo ou não, conforme a plataforma - aviões ou satélites.

EFEITOS INDESEJÁVEIS PARA O SENSORIAMENTO REMOTO

- Plataforma Aérea
- Turbulência atmosférica
 - Mudanças de Altitude
 - Mudanças de Atitude
 - Efeito nas condições de iluminação (sistema passivo)
 - Efeitos geométricos
 - Dificuldades na repetitividade
- Plataforma Orbital
- Efeito de condições de iluminação (sistema passivo)
 - Espalhamento atmosférico
 - Absorção atmosférico
 - Presença de nuvens (sistema passivo)
 - Efeitos geométricos

O QUE O SENSOR REGISTRA É A RADIÂNCIA (R)

$$R_{\text{alvo}} = (H(\rho \tau + B) / \pi) \text{seno } \alpha$$

ρ = Reflectância do Alvo ($\rho = R / H$)

H = Energia Solar que chega no Alvo

τ = Transmitância da Atmosfera

α = Ângulo de Elevação Solar

B = Efeito atmosférico do tipo aditivo

O QUE O SENSOR ORBITAL REGISTRA É

$$R_{\text{total}} = R_{\text{alvo}} + R_{\text{trajetória}} \text{ (W.m}^{-2} \text{ sr)}$$

EFEITOS INDESEJÁVEIS SOBRE A RADIÂNCIA

- LINEARIZAÇÃO Radiância (R) → Número Digital (ND)
- EFEITO MULTIPLICATIVO Ângulo de elevação solar
- EFEITO ADITIVO Radiância da trajetória

RELAÇÃO ENTRE R e ND

$$R = [(R_{\text{max}} - R_{\text{min}})/\text{resolução radiométrica}] \text{ND} + R_{\text{min}}$$

Resolução Radiométrica: 8 bits = de 0 a 255 níveis de Energia

10 bits = de 0 a 1023 níveis de Energia

R = M ou emitância que obedece a lei de Stephen & Boltzman, em que:
(W.m⁻²)

$$M_{\text{do corpo negro}} = \sigma T^4 \quad \text{e} \quad M_{\text{do corpo real}} = E \sigma T^4$$

Sendo: σ = constante de Stephen & Boltzman (5,67.10⁻⁸)

Corpo negro = radiador perfeito

E = Emissividade (varia de alvo para alvo vegetação = 0,98; solo molhado = 0,96; e solo seco = 0,92)

$$T_{\text{brilho}} = \sqrt[4]{(R \pi / \sigma)} \quad T_{\text{real}} = \sqrt[4]{(R \pi / E \sigma)} \quad \text{logo}$$

$$T_{\text{brilho}} \cdot E = T_{\text{real}}$$

RADIÂNCIA DE ENERGIA REFLETIDA	RADIÂNCIA DE ENERGIA EMITIDA
$R_{\text{alvo}} = (H(\rho \tau + B) / \pi) \text{ seno } \alpha$ Onde ρ = reflectância do alvo	$R_{\text{alvo}} = M / \pi$ Onde M = emitância do alvo

Aula 4

SENSORIAMENTO REMOTO E A VEGETAÇÃO

- espacialização da cobertura vegetal – distribuição paisagem
- densidade da cobertura vegetal - identificação de comunidades
- algumas variáveis ecofisiológicas - identificação de indivíduos
- ação antrópica sobre a cobertura vegetal - uso e ocupação

COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO

<p>As propriedades físicas da FOLHA</p> <ul style="list-style-type: none">- no VIS -> Pigmentos- no IVP -> arranjo espacial do mesofilo- no IVM -> moléculas de água	<p>Interação da REM e a FOLHA</p> <p>no VIS -> absorção pelos cloroplastos</p> <p>no IVP -> retroespalhamento - variação de coeficiente de refração entre os espaços intercelulares e os espaços aéreos</p> <p>o IVM -> absorção pelas moléculas de H₂O presente nas células</p>
<p>Fatores que interferem nesta interação</p> <ul style="list-style-type: none">- idade das folhas- outras variáveis fenológicas- arquitetura dos indivíduos- porcentagem de solo exposto- porcentagem de necromassa	<p>A Reflectância tem relação:</p> <ul style="list-style-type: none">- DIRETA com:<ul style="list-style-type: none">- Índice de Área Foliar- Fitomassa foliar verde- INDIRETA com:<ul style="list-style-type: none">- Pigmentos na célula- Teor de água na célula

O que pode **MASCARAR** a reflectância da vegetação:

- Presença de solo e necromassa
- Efeitos atmosféricos
- Efeitos de iluminação
- Nuvens

O **USO** e **OCUPAÇÃO** é indicado pela:

- forma
- tamanho
- textura
- relação com aspectos do meio físico
- relação com a ocupação Humana
- temporalidade

ESCALA ecológica:

Biomassas - usa-se NOAA

Populações - usa-se LANDSAT ou SPOT

Indivíduos - usa-se radiometria de campo

Resumo:

- a) A partir da resposta espectral no Vermelho e nos Infravermelho próximo e médio, é possível ESTIMAR A DENSIDADE DE VEGETAÇÃO POR ÁREA a partir de 300 g/m² de fitomassa aérea fresca;

SENSORIAMENTO REMOTO E A ÁGUA

- espacialização dos corpos d'água
- quantificação da qualidade da água
- identificação de particulados em suspensão
- identificação e quantificação de macrófitas aquáticas
- quantificação de áreas de inundação

COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA ÁGUA

Em todas as faixas do espectro eletromagnético a água absorve muito.

Somente os elementos capazes de alterar as propriedades ópticas da água poderão ser monitorados por sensores remotos.

Os particulados em suspensão são capazes de alterar a turbidez da água provocando, um espalhamento da radiação incidente, que resulta em radiação emergente do corpo d'água.

Esta turbidez depende:

- do tipo,
- da quantidade e
- da qualidade do particulado em suspensão.

A Radiação emergente é o resultado do espalhamento da radiação na zona eufótica. Vale portanto, a lei de Beer, que diz que a irradiância decresce com a profundidade exponencialmente:

$$I_z = I_0 \exp^{-Kz}$$

z = energia no limite máximo da zona eufótica

o = energia ao nível da lâmina d'água

K = coeficiente de atenuação vertical (> K > atenuação)

TIPOS DE PARTICULADOS

- Mineral (silte e argila)
- Plâncton (zoo e fitoplâncton)

O particulado mineral provoca forte espalhamento da radiação do Vermelho.

O Plâncton provoca um espalhamento médio nas faixas do VIS dependendo do pigmento do zoo ou fitoplâncton.

As substâncias dissolvidas capazes de escurecer a água aumentam a capacidade de absorção em todas as faixas do VIS

No IVP, IVM e Microondas, fortíssima absorção.

Profundidade de Disco de Secchi diretamente proporcional ao espalhamento do Vermelho.

Índice de Eutrofização de Carlson utilizando a radiância registrada no Vermelho.

$$IEC = 10 [6 - (\ln TM-3)/(\ln 2)]$$

Índice diretamente proporcional ao estado trófico relacionado com a turbidez da água. Escala de 0 a 100, sendo que 50 corresponde ao estado mesotrófico. À medida que se aproxima de zero, vai ficando oligotrófico e à medida que se aproxima de 100 vai ficando eutrófico.

A presença de macrófitas submersas, podem ser detectadas nas respostas espectrais do VIS, dependendo do pigmento predominante.

A presença de macrófitas emersas, podem ser detectadas utilizando os mesmos métodos utilizados para vegetação terrestre.

Em caso de misturas vegetação - água (mangue e zonas de inundação) IVP.

Resumo:

A Partir da resposta espectral nas faixas do Visível, é possível ESTIMAR: CONCENTRAÇÃO DE PARTICULADO MINERAL EM SUSPENSÃO a partir de 50 ppm; CONCENTRAÇÃO DE PIGMENTOS EM SUSPENSÃO a partir de 20 mg/ml; e IDENTIFICAR MACRÓFITAS AQUÁTICAS SUBMERSAS.

KIRK, J.T.O. - 1983 - Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge Univ. Press.

SENSORIAMENTO REMOTO E A GEOLOGIA

Desde 1930 que se usa aerolevantamentos em estudos geológicos.

Inicialmente para: litologia e estruturas como falhas, dobramentos e junções.

A litologia é medida indiretamente
teor de ferro aumenta a absorção no Vermelho
quartzo aumenta reflectâncias em todas as faixas do VIS e IVP

Nas faixas do IVM o que comanda são os radicais de hidroxila.

Em caso de solos ou rochas nuas temos que:

- quanto mais arenoso mais reflete
- quanto mais seco mais reflete

- quanto mais argiloso menos reflete
- quanto mais húmido menos reflete

Como as microondas são sensíveis a rugosidade e a condutividade o sensoriamento remoto nestas faixas encontraram mais aplicação em geologia do que em ecologia.

Nos estudos pedológicos, existe uma relação bem estudada entre resposta espectral no VIS e cor de solo segundo a Tabela de Munsell.

CROSTA, A. - 1992 - Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. UNICAMP, Campinas.

Aula 5

VISUALIZAÇÃO DAS IMAGENS

Utilizando software adequado, converte-se o número digital encontrado em cada PIXEL (ND) em cor ou em nível de cinza - a partir de tabelas de conversão (LUT).

Para representar uma única faixa espectral usa-se um canal com uma das três cores primárias (vermelho (R), verde (G) e azul (B)) ou com a variação de preto até branco. Se a imagem a ser convertida tiver resolução radiométrica de 8 bits, teremos ND variando de 0 a 255.

Para entender a representação dos tons de cada cor ou da soma de cor, devemos recordar as leis da colorimetria, associando a cada cor primária, o valor máximo do ND:

	(R)	(G)	(B)
Vermelho (puro)	(R) = 255,	0,	0
Verde (puro) (G) =	0,	255,	0
Azul (puro) (B) =	0,	0,	255

As cores secundárias entretanto, são formadas de duas cores primárias:

	(R)	(G)	(B)
Cian = G + B =	0,	255,	255
Magenta = R + B =	255,	0,	255
Amarelo = R + G =	255,	255,	0

	(R)	(G)	(B)
Preto = soma das secundárias =	0,	0,	0

Branco = soma das primárias = 255, 255, 255

A composição colorida imitando cor natural ou falsa-cor, é um recurso utilizado para análises qualitativas do uso e ocupação, na qual apenas a posição e a forma são quantificáveis.

Assim, atribuindo-se artificialmente uma das três cores primárias (azul, verde e vermelho) a cada uma das três imagens espectrais de interesse teremos: **(B)** ao TM-2, **(G)** ao TM-3 e **(R)** ao TM-4, **infravermelho falsa-cor**, na qual quanto mais denso o vermelho mais densa é a vegetação viva.

(B) ao TM-2, **(G)** ao TM-4 e **(R)** ao TM-3, **colorida real**, na qual quanto mais denso verde mais densa é a vegetação viva.

(B) ao TM-3, **(G)** ao TM-4 e **(R)** ao TM-5, **colorida natural**, na qual quanto mais denso o verde mais densa é a vegetação viva.

SENSORIAMENTO REMOTO & SIG (Sistema de Informações Geográficas)

Sistemas de Informações Geográficas ou SIG

Na prática os SIGs são **softwares** designados a armazenar, integrar, analisar, combinar e reproduzir dados espacialmente referenciados, ou seja, informações que possam ser relacionadas de certa forma com mapas. Os pacotes geralmente incluem programas gráficos sofisticados para se manipular dados cartográficos digitalizados, incluem interface com um sistema de gerenciamento de banco de dados para estocar e manipular as informações associadas a um mapa específico. No todo, constitui-se de um sistema altamente adaptado para mapas que podem facilmente lidar com uma ampla gama de conjuntos de dados geográficos, ecológicos e biológicos.

Tecnologicamente o SIG tem se desenvolvido em duas linhas de pensamento associadas a dois modos no qual dados espaciais podem ser representados por computador:

- **Sistema matricial** que registra informações espaciais como pontos de uma matriz de celas formando imagens;
- **Sistema vetorial** que usa padrão de pontos, linhas e áreas para representar os dados ou as informações.

Até recentemente estes dois meios de apresentar dados eram considerados mutuamente exclusivos mas agora se observa uma inter-conversão considerável.

Com o auxílio de um SIG pode-se produzir um número infinito de imagens temáticas através de operações aritméticas com imagens de variadas fontes.

Tanto as fotografias aéreas como as imagens obtidas por sensores remotos são armazenadas na forma digital em uma matriz (colunas e linhas), com seus valores mínimos no canto superior esquerdo.

Para utilizar as informações extraídas das imagens de satélite em SIG é necessário geo-referenciar estas imagens em relação a algum sistema de referencia geográfica.

Usualmente, o geo-referenciamento é feito em relação às cartas disponíveis da área. Para isso basta construir uma tabela com as coordenadas da imagem (coluna; linha) e coordenadas da carta (x;y), de pontos nitidamente visíveis **em ambos** arquivos de dados. Considerar os pares retirados da imagem como sendo os valores VELHOS e os pares retirados da carta como sendo os valores NOVOS.

Execute a função de re-amostragem do sistema de coordenadas. A Imagem resultante terá as coordenadas em colunas e linhas, assim como as coordenadas cartesianas da carta, sejam elas em coordenadas geodésica ou plana, em alguma projeção (preferencialmente UTM).

Faça então o processamento de imagens de seu interesse.

SISTEMAS DE PROGRESSAMENTO DE IMAGENS

Os **sistemas de processamento de imagens** tratam de qualquer produto matricial ou imagem. Estas imagens se original de cartas, de foto-interpretação ou de interpretação de mapas temáticos e ainda de imagens espectrais obtidas por sensores remotos.

Dentre os processamentos de imagens pode-se destacar três grandes áreas de aplicação:

- 1) Retificação e restauração
- 2) Visualização e quantificação
- 3) Classificação

1) Retificação

O que o satélite registra é a radiância (R) que é diretamente relacionada com a reflectância (o). Para facilitar o armazenamento dos dados a R é convertida de número digital (ND) da seguinte forma:

$$ND = [(R - R_{min}) / (R_{max} - R_{min})] \cdot ND_{max}$$

Estes valores max e min são fornecidos pelos operadores do satélite uma vez que variam de faixa para faixa, de satélite para satélite e de tempos em tempos.

2) Restauração:

- Correções radiométricas:

Existem algoritmos capazes de corrigir efeitos atmosféricos não só do tipo aditivo (espalhamento por exemplo) mas também os efeitos multiplicativos (ângulo de elevação solar por exemplo). Contudo, nem sempre estes programas podem ser corretamente alimentados por falta de dados para aquele local. Por esta razão, aí vão alguns meios de compensar os efeitos mais gritantes, cuidados estes que deverão ser tomados quando se usa dados espectrais de datas diferentes para se fazer qualquer análise quantitativa.

A imagens são tomadas sempre no início da manhã o que, em alguns lugares, pode significar presença de névoa. Se quiser apenas melhorar a visualização basta fazer um contraste do tipo "stretch" que a névoa é removida em grande parte, fazendo uma enorme diferença. É importante lembrar que este tratamento modifica o ND original comprometendo as transformações em grandezas físicas como por exemplo a transformação de ND do termal em temperatura.

O efeito do ângulo de elevação solar é também muito significativo uma vez que pode variar de 30 a 60 graus aqui nos trópicos por exemplo como é o exemplo do Vale do Paraíba. O seno deste ângulo está multiplicado a radiância registrada pelos sistemas sensores a bordo de satélites alterando em muito o ND. O ângulo de elevação solar é medido partindo-se do chão até encontrar o nadir. Assim, quanto menor o ângulo de elevação solar mais longa é a trajetória que a luz tem que fazer deste o sol até o alvo e depois até o sistema orbital. Deste modo, para compensar, mesmo que parcialmente, o efeito da iluminação basta encontrar o fator F e multiplicá-lo a imagem toda:

$$F = \frac{\text{seno } \alpha \text{ médio das imagens usadas}}{\text{seno } \alpha \text{ de cada data}}$$

- Correções geométricas

As imagens são geradas em linhas e colunas (sistema matricial). Contudo, para operar em SIG é necessário que se transforme a imagem esteja georeferenciada, ou seja, em coordenadas planas ou geodésicas (como estão nos mapas cartográficos). No passado foram criados vários sistemas de projeção. Infelizmente, ainda hoje existem diferentes projeções embora Mercator seja o mais usado. Deste modo, é necessário que as fontes cartográficas tenham uma projeção e, quando não tiverem, que se descubra como converter. Há que se lembrar também que existe variações de uma carta para outra, mesmo quando a projeção é a mesma. Isso se deve ao fato de estas cartas terem sido geradas a partir de foto-interpretação.

3) Classificações.

O principal objetivo desta operação é gerar mapas temáticos além de agilizar a análise que, sem estes algoritmos, se faria visualmente. Deste modo, por meios refinados ou grosseiros, reuni-se *pixels* com aspectos semelhantes em classes.

Os métodos grosseiros são basicamente o segmentação e o método do paralelepípedo que classificam uma faixa espectral de cada vez. Os métodos mais refinados usam modelos estatísticos para reunir *pixels* com aspectos semelhantes. Estes algoritmos têm a habilidade de executar classificação multiespectral (mínimo de três faixas de cada vez) e usa alguma regra de decisão para agrupar *pixels* semelhantes. Os métodos mais usados são "cluster" e máxima verossimilhança.

Cluster é uma classificação não supervisionada que se baseia na regra de vizinho mais próximo. Serve também para classificar composições coloridas com base na cor resultante.

O classificador MAXVER ou MAXLIKE, classifica várias faixas espectrais simultaneamente baseando-se na função densidade de probabilidade, associada a um treinamento prévio do classificador. Este treinamento consiste em se dizer a que classe pertence uma determinada assinatura espectral. Este classificador tem como critério de decisão a máxima verossimilhança. Este processo de classificação é muito demorado e requer algum conhecimento prévio da área. Pode gerar bons produtos dependendo desta fase de treinamento. É importante notar que o resultado é uma **classificação multiespectral**.

Uma outra grande ajuda que os SIGs podem dar é o **cálculo da área** feito a partir dos polígonos e o **cálculo do perímetro** feito a partir das linhas.

Aula 6

CLASSIFICAÇÃO (Dar Significado à Imagem)

UNIDIMENSIONAL (uma imagem)

a) Não-determinística ----> SEGMENTAÇÃO: - Intervalos Iguais
- Intervalos Variados

- Basta examinar Histograma
- Estabelecer os Intervalos com Significado

b) Determinística -----> PARALELEPÍPEDO

- Estabelece uma Janela
- Classifica o que estiver dentro da janela

c) Estatística -----> AGRUPAMENTO

- Examinar o Histograma numérico
- Examinar os Gráficos de Distribuição (histograma gráfico)
- Critério de decisão - Distância Mínima entre classes.

MULTIESPECTRAL (mais de duas imagens)

a) Estatística -----> MAXVER

- Examinar Histogramas
- Fazer Treinamento do classificador
- Examinar Diagrama de Dispersão (Banda A x Banda B)
- Examinar Diagrama de Confusão
- Checar Veracidade no Campo
- Critério de decisão - densidade de probabilidade de um ponto pertencer a uma dada classe.

PARA UMA BOA CLASSIFICAÇÃO:

- a) Antes de iniciar classificação, escolher faixas espectrais o menos correlatas possível (vendo histogramas)
- b) Na fase de treinamento, coletar amostras, o mais variadas possível, para cada classe (ver diagrama de dispersão de cada duas faixas)
- c) Após classificação, examinar o diagrama de confusão ou coeficientes de correlação de Pearson para detectar se a separação está satisfatória
- d) Checar no campo as classes confusas e reclassificar, se for o caso.

CLASSIFICAÇÕES MAIS USADAS:

- **FATIAMENTO** - produzir **MAPAS TEMÁTICOS** de imagens de origens diversas - para usar funções de SIG matricial.
- **MAXVER** - para produzir **MAPAS TEMÁTICOS** a partir de imagens obtidas por sensores remotos.

SENSORIAMENTO REMOTO COM RADAR

Resolução espectral:

Faixa	λ (cm)	f (Mhz ou 10^6 ciclos por segundo)
Ka	0.75 - 1.1	40000 - 26500
K	1.1 - 1.67	26500 - 18000
Ku	1.67 - 2.4	18000 - 12500
X	2.4 - 3.75	12500 - 8000
C	3.75 - 7.5	8000 - 4000
S	7.5 - 15	4000 - 2000
L	15 - 30	2000 - 1000
P	30 - 100	1000 - 300

λ = 1 mm até 1 metro

- 1) Penetram a atmosfera sob quase qualquer condição, dependendo do λ envolvido, se há névoa, chuva leve, neve leve, nuvens ou fumaça.
- 2) A energia pode ser refletida ou emitida; pode produzir imagem ou não; pode estar no chão, em plataforma aérea ou orbital.
- 3) Diversos sistemas:
 - medir velocidade de veículos em movimento
 - fazer batimetria
 - sensoriamento remoto
- 4) Mesmo sem saber como o sinal de radar interage com os diversos alvos do ambiente natural, inúmeras aplicações já ganhou lugar de destaque no sensoriamento remoto de recursos naturais.

RADAR - *Radio Detection And Ranging*

RADAR pode ou não produzir imagens. Podem estar no chão ou em plataformas aéreas ou orbitais.

Nos **sistemas passivos** se mede a rotação molecular causada pela Temperatura de brilho, que varia de um alvo para outro.

Nos **sistema ativos** consiste em transmitir pulsos de energia de λ conhecidos (microondas) na direção do alvo de interesse e esperar pelo eco ou reflexão que pode ser recepcionado por antenas.

Baseia-se no efeito Doppler (desvio de frequência entre a transmissão e o retorno do sinal enviado). Sistema SLAR (*side looking radar*) consiste de um

antena fixa abaixo da plataforma, com visada lateral --> produz tiras contínuas de imagens.

A interação é devida a constante dielétrica e a rugosidade. Uma antena ou calha alterna o papel de emissor e o de receptor.

O que determina o retorno ou não dos raios de microondas são as características geométricas e as características elétricas, isoladas ou em conjunto.

Características geométricas: rugosidade da superfície – relevo por exemplo.

Características elétricas: reflectividade e condutividade dos materiais que compõem a superfície, representada pela constante dielétrica (**E**).

A maior parte dos materiais têm **E** entre 3 e 8, quando secos. A água tem **E** semelhante a 80. Assim, a presença de umidade, tanto do SOLO como na VEGETAÇÃO, pode significar aumento na reflectividade. A vegetação é bom refletor assim como os metais.

RESPOSTA DO SOLO:

Porque a **E** da água é cerca de 10 vezes maior que a do solo seco, é possível detectar a presença de umidade à poucos centímetros da superfície. A faixa L é particularmente boa quando o solo está muito seco.

RESPOSTA DA VEGETAÇÃO:

As microondas interagem com o dossel de conformidade com seus componentes (folhas, galhos, troncos). O fato de a vegetação estar rodeada de solo pode resultar no espalhamento da energia que penetra do dossel.

Quando o λ se aproxima do tamanho dos componentes da planta, o volume de espalhamento é forte: se o dossel for denso, verifica-se um retroespalhamento forte partindo da vegetação.

Em geral, λ menores (de 2 a 6 cm) são bons para sensoriar plantações herbáceas e folhas de árvores.

Os λ maiores (de 10 a 30 cm) são bons para sensoriar troncos.

Com relação a umidade, quanto mais úmida a vegetação mais reflete microondas.

RESPOSTA DA ÁGUA E DO GELO:

Quando a superfície de água está completamente LISA, tem-se um reflector especular. Se a superfície estiver rugosa, haverá espalhamento maior ou menor conforme o tipo de rugosidade.

A faixa X é boa para detectar gelo

A faixa L é boa para mostrar a extensão do gelo

Nos sistema ativos existe a possibilidade de as ondas serem polarizadas. Esta polarização amplia o espectro de observação: HH ou VV penetram mais que VH ou HV.

De um modo geral, o sensoriamento remoto na faixa das microondas (SLAR) relaciona a distância do objeto ao sensor com o tempo de retorno do pulso enviado:

$$SR = \frac{c \cdot t}{2}$$

SR = Distância do sensor ao objeto
c = Velocidade da luz
t = duração do pulso

RESOLUÇÃO ESPACIAL DO SISTEMA SLAR

A resolução no terreno é controlada pelo comprimento do pulso (PL) e pelo comprimento da antena (b). Esses dois elementos controlam a resolução espacial separadamente: resolução de distância (Rr) e resolução de azimute (Ra). A **resolução de distância** (Rr) depende da duração do pulso e do ângulo de depressão da antena:

$$R_r = \frac{c \cdot t}{2 \cdot \cos \theta}$$

t = duração do pulso
 θ = ângulo de depressão

A **resolução de azimute** (Ra) depende da distância, projetada no terreno, da distância entre antena e objeto e do comprimento de onda:

$$R_a = G_r \cdot b$$

G_r = distância projetada no terreno entre o objeto e o sensor
b = Comprimento da Antena (λ / PL)

HISTÓRICO:

Plataformas aéreas:

- 1950 os militares desenvolveram o SLAR (*side looking airborne radar*)
- 1967 mapeamento do Panama (20.000 km²)
- 1971 mapeamento da Venezuela (500.000 km²)
- 1971/76 Projeto Radam Brasil – mapeou 8.500.000 km²)

Plataformas orbitais:

- 1978 SEASAT
- 1980 SIR & COSMOS
- 1990's
 - Almaz-1 (russo)
 - ERS-1 (consórcio europeu)
 - JERS-1 (japonês)
 - RADARSAT (canadense)

SLAR – A energia é transmitida em pulsos muito pequenos, num período de tempo “t” da ordem de microsegundos (10^{-6} Seg)

A propagação de um pulso pode ser representados por frentes de onda à cada incremento de tempo sucessivo. Após um certo número de “t” o pulso alcança o alvo e uma onda refletida atinge a antena e é registrada (tempo de emissão e tempo de recepção é comparado). A diferença é dada pelas diferentes reações dos diferentes alvos (as árvores refletem menos que a casa). Pela altura do sensor sabe-se quantos pulsos ou frentes de onda há.

As imagens são criadas da seguinte maneira:

- À medida que a plataforma avança, a antena é constantemente reposicionada na direção do vôo, a uma velocidade constante.
- A antena é mudada do modo transmissor para o modo receptor por um sincronizador.
- Cada pulso transmitido retorna dos alvos. Este eco é recebido pela mesma antena e é processado para produzir um sinal de vídeo de amplitude/tempo.
- Este sinal é usado para gerar um produto de imagens num filme.
- O sinal modula a intensidade de um tubo de raios catódicos de linha única expondo um filme à cada linha de imagem. Cada linha na imagem produzida é a representação tonal do vigor do sinal retornado para cada pulso de radar.
- Entre as linhas o filme é avançado a uma velocidade proporcional à velocidade da plataforma.
- Desta maneira as respostas combinadas de muitos pulsos resultam num produto 2D.

A **antena** deve ter o tamanho proporcional ao λ que vai registrar, da seguinte maneira:

a) largura da calha tem que ser proporcional ao λ ;

b) comprimento da antena:

- Para atingir a resolução de 10 mrad com $\lambda = 5$ cm seria necessário uma antena de 5 m.

- Para atingir resolução de 2 mrad com $\lambda = 5$ cm seria necessário uma antena de 25 m.

SAR (*synthetic aperture radar*) - Usa-se antenas fisicamente pequenas, que tomam várias sucessivas posições eletronicamente sincronizadas (mudando de registrar para processar) com tal velocidade e sincronismo que várias pequenas antenas têm o desempenho de uma antena muito longa (uma antena de 2m pode ser tão eficiente como se tivesse 600m de comprimento).