
APOSTILA INTRODUTÓRIA DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO

Depto. de Agronomia
Prof. Getúlio Batista



SENSORIAMENTO REMOTO

1 O que é Sensoriamento Remoto?

*Sensor = equipamento capaz de detectar sinais; vem de "sentir".
Remoto = longínquo, distante.*

Portanto, sensoriamento remoto é a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos da superfície terrestre, utilizando sensores, sem que haja contato direto entre eles, ou seja, à distância.

2 Que informação os sensores detectam?

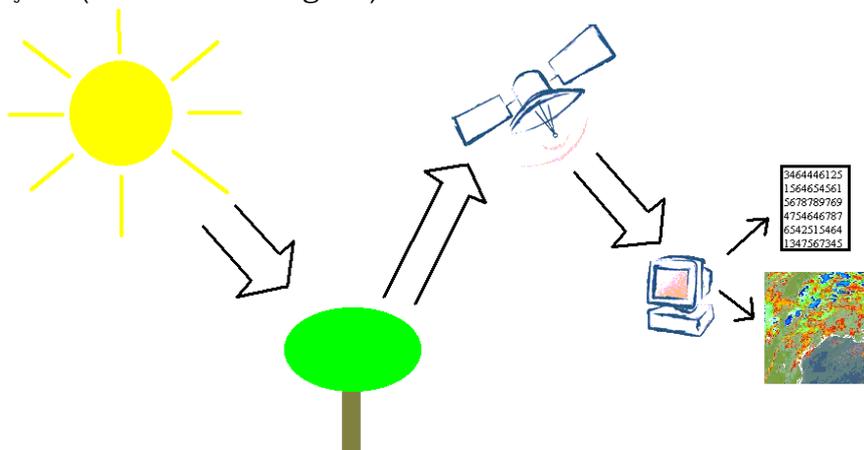
A informação que os sensores detectam é a energia ou radiação eletromagnética emitida, refletida ou transmitida pelos objetos.

3 De onde vem esta radiação eletromagnética?

Toda matéria a uma temperatura superior a zero absoluto (0K ou -273° C) emite radiação eletromagnética, como resultado de suas oscilações atômicas e moleculares. Porém, o principal corpo emissor de radiação eletromagnética é o Sol. Após incidir sobre a superfície terrestre, a radiação emitida pelo Sol poderá ser absorvida, refletida ou transmitida. Quando refletida ou transmitida, pode ser imediatamente detectada pelos sensores. Quando absorvida, a energia geralmente é reemitida em diferentes comprimentos de onda e só então detectada pelos sensores. Os processos de emissão, absorção, reflexão e transmissão serão detalhados mais adiante.

4 Como os sensores funcionam?

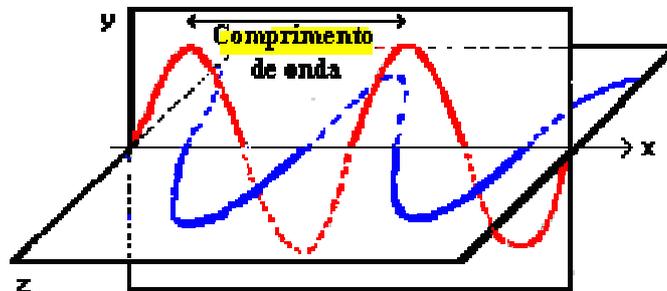
A radiação eletromagnética detectada pelos sensores é convertida em um sinal passível de ser registrado e é apresentado de forma adequada à extração de informações (valores ou imagens).



5 O que é radiação eletromagnética?

Radiação é aquilo que irradia, que sai em raios de algum lugar. A radiação eletromagnética é a transmissão de energia produzida pela aceleração de uma carga elétrica em um campo magnético. Por se propagar de forma ondulatória, também é chamada de onda eletromagnética. Porém, a absorção e a emissão da radiação eletromagnética pela matéria dá-se na forma de *quanta* (plural de *quantum*; "pacote" em grego) de energia. Esta é a *dualidade onda-partícula* que caracteriza a radiação eletromagnética, ora contínua, ora discreta. Assim, a

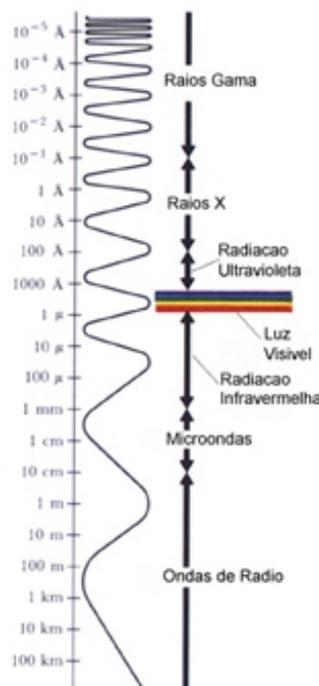
radiação eletromagnética é constituída de um campo elétrico e um campo magnético, perpendiculares entre si e que oscilam perpendicularmente à direção de propagação da onda (figura abaixo), onde em vermelho (eixo Y) tem-se o campo elétrico; em azul (eixo Z), o campo magnético e no eixo X, a direção de propagação da onda.



A energia eletromagnética é caracterizada pelo seu comprimento de onda (λ) e pela sua frequência (f). A velocidade de propagação da radiação eletromagnética (c) num dado meio é sempre constante, atingindo seu valor máximo no vácuo (cerca de 300.000 km/s (ou 3×10^8 m/s) = velocidade da luz). O número de ondas que passa por um ponto do espaço num determinado tempo define a frequência (f) da radiação. O comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência para uma determinada velocidade fixa, de forma que ao diminuirmos o comprimento de onda, aumenta-se o número de ondas que passam num determinado ponto:

$$\lambda = c / f \text{ ou } c = \lambda \times f$$

A radiação eletromagnética pode ser representada por uma escala crescente de comprimento de onda e decrescente de frequência, chamada espectro eletromagnético.



O espectro da radiação eletromagnética engloba a luz visível, os raios gama, as ondas de rádio, as microondas, os raios x, ultravioleta e infravermelho. Esses nomes indicam regiões do espectro, utilizadas para fins didáticos e práticos, pois o espectro é contínuo e não há diferenças abruptas entre as formas de radiação e todas constituem o mesmo fenômeno físico. Todas se irradiam pelo espaço com a mesma velocidade (300.000 mil km/s). As diferenças estão no comprimento das ondas e na frequência da radiação, que fazem com que tenham diferentes características, como o poder de penetração dos raios X ou o aquecimento do infravermelho. Uma fonte de radiação, como o Sol, pode emitir luz dentro de um espectro variado. Por exemplo, decompondo-se a luz solar com um prisma é possível ver um espectro de cores, como as do arco-íris. Outras são invisíveis ao olho humano, mas detectáveis por instrumentos. Vale a pena observar na figura acima como é pequena a faixa espectral do visível em relação ao espectro eletromagnético. Este fato reforça a importância do Sensoriamento Remoto pela capacidade dessa técnica ampliar a detecção para outras faixas espectrais além do visível.

As principais faixas do espectro eletromagnético são descritas a seguir:

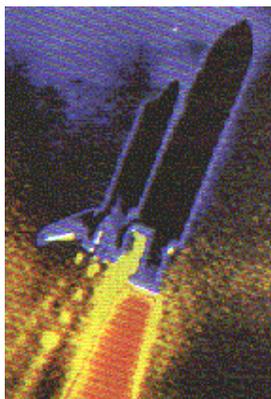
Ondas de rádio: Foram descobertas em 1887 por Heinrich Hertz, que conseguiu gerar e detectar ondas de 1 metro de comprimento. Possuem as mais baixas frequências (até 10^9 Hz) e grandes comprimentos de onda, que vão de 30 cm até muitos quilômetros. São utilizadas para comunicação a longa distância, emissão de rádio e televisão e radares de velocidade.



Microondas: Localizam-se entre 1mm a 30cm (λ) ou entre 3×10^9 a 3×10^{11} Hz (f). Dado que o comprimento de onda capaz de penetrar a atmosfera terrestre varia de 1cm a 30m, as microondas são interessantes para radio astronomia e para comunicação com veículos espaciais. Outras aplicações são os eletrodomésticos, orientação de aeronaves, estudos sobre origem do universo, entre outros. Feixes de radiação eletromagnética altamente concentrados podem ser gerados, criando os chamados radares.



Infravermelho: Foi detectado a primeira vez por William Herschel em 1800. Qualquer corpo com temperatura acima do zero absoluto (0K ou -273° C) emite radiação infravermelha e a maioria das substâncias absorve facilmente a radiação infravermelha, criando um efeito de aquecimento. Assim, qualquer aparelho que reaja a alterações de temperatura pode medir radiação infravermelha. Estende-se de 3×10^{11} a 4×10^{14} Hz. Informalmente, é subdividido em 3 regiões: próximo (0,78 a $1,1 \mu\text{m}$), médio (2,5 a $5,0 \mu\text{m}$) e distante ($5,0 \mu\text{m}$ a 1mm). Grande importância para o Sensoriamento Remoto por fornecer informações a respeito da vegetação. É utilizado em controles remotos, em algumas câmeras fotográficas e em tratamentos fisioterapêuticos.



Visível: Foi Newton quem descobriu que a luz branca é constituída por todas as cores do espectro e que o prisma não altera a luz branca, mas sim a dispersa nas suas cores constituintes. O sensor humano (olho-cérebro) é sensível apenas a esta região do espectro, não sendo capaz de detectar as demais. Pequena variação de comprimento de onda ($0,38 \mu\text{m}$ para o violeta até $0,78 \mu\text{m}$ para o vermelho). Em termos de frequência, vai de 384×10^{12} até 769×10^{12} Hz. Importante para o Sensoriamento Remoto, pois imagens obtidas nesta faixa, geralmente, apresentam excelente correlação com a experiência visual do intérprete.



Ultravioleta: Descoberto por Johann Wilhelm Ritter no início do século 19. Possui efeito nocivo à pele humana, porém é absorvido pela camada de ozônio da atmosfera. O olho humano não consegue percebê-lo, no entanto alguns insetos e aves sim. Engloba extensa faixa do espectro (de 10 nm a $0,38 \mu\text{m}$). Algumas substâncias, chamadas fluorescentes e fosforescentes, sujeitas à radiação ultravioleta emitem luz visível. Os vaga-lumes e alguns relógios

digitais possuem estas substâncias. Utilidade como bactericida pela grande atividade química e na detecção de minerais por luminescência.



Raios X: Descobertos por William Roentgen em 1895, teve grande impacto pelas suas propriedades. Localiza-se na faixa de 10nm a 1A° ($1\text{A}^\circ = 10^{-10}\text{m}$) e de $2,4 \times 10^{16}$ a $5 \times 10^{19}\text{Hz}$. São gerados pela rápida desaceleração ou freada de elétrons em alta velocidade. Pelo seu alto poder penetrante, são utilizados no exame de ossos e dentes, na inspeção de bagagens em aeroportos, na detecção de pequenos defeitos metalúrgicos e na datação de documentos antigos.



Raios GAMA: É a radiação eletromagnética mais penetrante e mais energética devido aos menores comprimentos de onda (abaixo de $1\text{A}^\circ = 1 \times 10^{-10}\text{m}$). Seu comprimento de onda é tão pequeno que se torna muito difícil estudar seu comportamento ondulatório. A radiação gama provém de núcleos atômicos. Esta faixa de radiação é utilizada em tratamentos contra câncer por destruir as células malignas. O problema é que destrói também, indiscriminadamente, as células sãs. Este é o perigo que constitui os raios gama e por isso o poder de destruição da bomba nuclear lançada em Nagasaki em 1945. Não existe, em princípio, limite superior para a frequência das radiações gama, embora ainda seja encontrada uma faixa superior de frequência para a radiação conhecida como *raios cósmicos*.



6 Quais tipos de sensores existem?

Os sensores podem ser classificados em função da fonte de energia ou em função do tipo de produto que produzem.

Em função da fonte de energia:

Passivos: Não possuem fonte própria de radiação, detectando apenas a radiação solar refletida, emitida ou transmitida pelos objetos da superfície. Dependem, portanto, de uma fonte de radiação externa (geralmente, o Sol) para que possam operar.

Ex.: Sistemas fotográficos (sem flash como é o caso das câmeras aerofotogramétricas).



Ativos: São aqueles que produzem sua própria radiação eletromagnética, emitindo-a e depois registrando a resposta que retorna após interação com o alvo. Trabalham em faixas restritas do espectro (microondas).

Ex.: Radares e Lidares (laser).



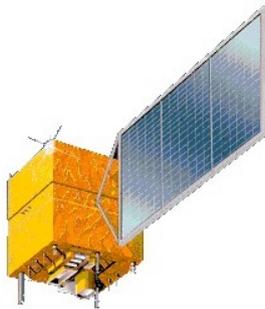
Em função do tipo de produto:

Não imageadores: Não geram imagem da superfície sensoriada, mas sim gráficos ou dígitos, que são transferidos para um computador acoplado. São essenciais para aquisição de informações precisas sobre o comportamento espectral dos objetos. Operados manualmente, são utilizados em terra, embarcados ou aerotransportados.

Ex.: Radiômetros



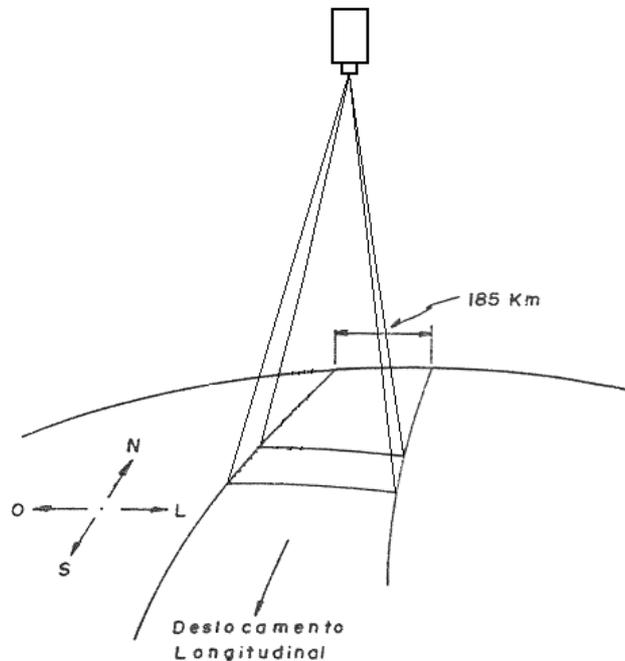
Imageadores: Obtém-se uma imagem da superfície observada como resultado. Fornecem informações sobre a variação espacial da resposta espectral da superfície observada. Programados para funcionar automaticamente por um longo tempo. Geralmente estão a bordo de aeronaves ou satélites.
Ex.: CBERS, Landsat, etc.



Os sistemas imageadores podem ser divididos em:

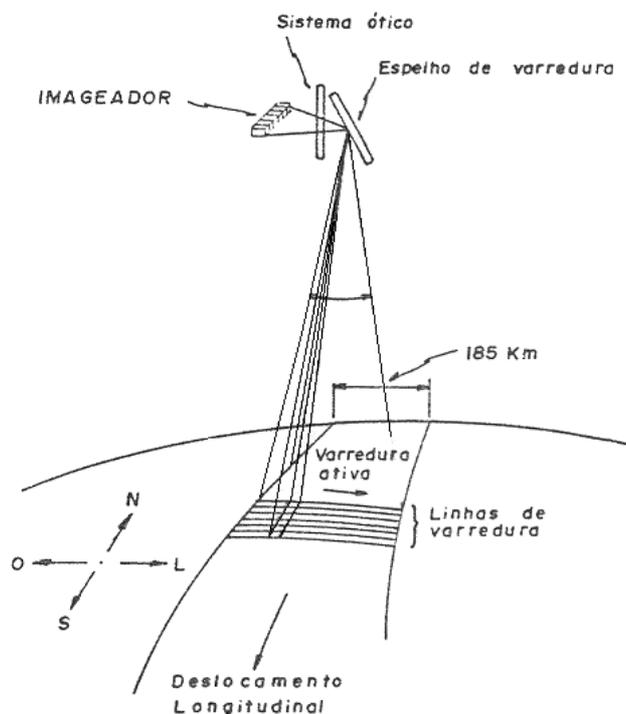
Sistema de quadro ("framing systems"): adquirem a imagem da cena em sua totalidade, num mesmo instante.

Ex.: sensor RBV do Landsat ou câmeras aerofotográficas.



Sistema de varredura ("scanning systems"): a imagem da cena é formada pela aquisição seqüencial dos "elementos de resolução", também chamados "pixels"; ou seja, em linhas, ponto a ponto.

Ex.: sensores TM e MSS do Landsat e sensor HRV do SPOT (embora com tecnologias de formação de imagens bastante distintas).

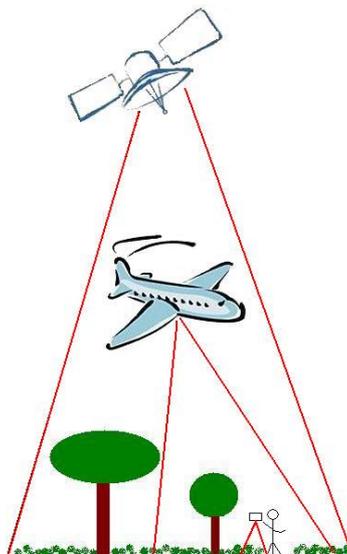


7 Como são utilizados todos estes tipos de sistemas sensores?

Existem três níveis de aquisição de dados de sensoriamento remoto, a saber:

- 1- Laboratório/Campo (0 a 20 metros): a área de estudo é pequena, geralmente reduzindo-se a um só objeto. Estuda-se seu comportamento espectral quase que sem interferência de fatores ambientais. Neste nível, geralmente utilizam-se equipamentos como radiômetros e analisadores de dosséis.
- 2- Aeronave (300 a 3.000 metros): a informação obtida pelo sensor refere-se a um arranjo de objetos na cena. Alguns objetos podem, ocasionalmente, ser individualmente detectados por suas características. Podem ser utilizados os mesmos equipamentos do nível de campo e ainda sensores imageadores.
- 3- Orbital (400 a 920 metros): em cada elemento de resolução no terreno (pixel), a energia registrada pelo sensor é a integração da resposta de diferentes objetos constituintes do pixel.

A figura a seguir ilustra os três níveis de coleta de dados.



A altitude do sensor em relação à superfície imageada é um fator de grande interferência, não só na qualidade do sinal, como no tratamento e na análise dos dados. Ao passar de um nível para outro, modificam-se as dimensões da área imageada, obtendo-se, conseqüentemente, imagens com diferentes escalas, o que exigirá diferentes metodologias. A escolha do nível de aquisição e do sensor a serem utilizados dependerá fundamentalmente do que se pretende estudar.

Dois fatores importantes relacionadas ao nível de aquisição dos dados são as geometrias de iluminação e de visada. A primeira refere-se ao posicionamento da fonte de radiação eletromagnética em relação ao objeto, enquanto que a segunda refere-se ao posicionamento do sensor. Os níveis e as geometrias condicionam as medidas, de modo que os resultados obtidos são específicos para aquelas situações.

A coleta de dados de campo, constituindo uma verdade terrestre, pode ser vital na avaliação da qualidade dos dados obtidos em nível de aeronave e orbital. A combinação de plataformas aérea e espacial também pode fornecer excelentes resultados.

8 O que é uma imagem orbital?

Uma imagem orbital pode ser definida por uma função bidimensional na forma $I(x, y)$, onde os valores de I representam a intensidade de radiação eletromagnética refletida ou emitida na coordenada espacial (x, y) , em faixas bem definidas do espectro eletromagnético (bandas espectrais). O ponto x, y imageado pelo sensor corresponde a uma área mínima no terreno denominado “*pixel*” (*picture element*), cujas dimensões estão associadas à resolução espacial do sensor (será explicado adiante). A intensidade de radiação eletromagnética refletida ou emitida em um *pixel* é convertida em valores inteiros de nível de cinza, numa escala de zero a 255 (para o caso de sensores com codificação da radiação em 8 bits). Zero significa a ausência de radiação eletromagnética refletida ou emitida naquele pixel, representada pela cor preta, e 255 significa o nível máximo de reflexão ou emissão de radiação eletromagnética, representada pela cor branca. Os níveis intermediários aparecem em uma escala de tons de cinza, do mais escuro (nível 1) ao mais claro (nível 254).

Portanto, a imagem orbital é um arquivo formado por linhas e colunas de pixels, podendo ser utilizada pictoricamente, considerando-se a imagem formada pelos tons de cinza, ou como uma matriz numérica, apenas através dos valores de zero a 255. Para cada banda espectral (faixa do espectro eletromagnético), é gerada uma imagem digital em P&B. Um mesmo pixel geralmente possui diferentes valores de nível de cinza em cada banda espectral, indicando seu “comportamento espectral” em cada região do espectro, o qual está relacionado às suas propriedades físico-químicas (ver Pergunta 10). Idealmente, o *pixel* deve estar geograficamente identificado, ou seja, possuir coordenadas geográficas, além das coordenadas de imagem (linha, coluna) para que se saiba a que ponto da superfície terrestre ele corresponde e para permitir o monitoramento ao longo do tempo.

9 Quais características de uma imagem orbital?

Primeiramente, é necessário introduzir um conceito físico muito importante em Sensoriamento Remoto: **radiância**. Radiância é o fluxo de energia radiante proveniente de uma fonte, em determinada direção, por unidade de ângulo sólido (fluxo de energia no cone de visado do sensor). É isto que o sensor detecta. Uma imagem tem um número finito de bits para representar a radiância refletida ou emitida pela cena em cada pixel.

Bit é a unidade mínima de informação com que trabalham os sistemas informáticos e resulta da contração das palavras **B**inary **D**igit (Dígito Binário). Os dígitos encontrados no sistema **binário** são apenas o ZERO e o UM (dois estados: ligado ou desligado). Portanto, o ZERO e o UM são os dois estados possíveis de um bit. Toda a informação com que opera um sistema informático é constituída por agrupamentos de bits, com os quais se representam números, letras, palavras, formas gráficas, cores, etc.

Utilizando-se apenas 1 bit, temos duas representações possíveis (0 e 1). Com 2 bits, poderemos ter quatro combinações (00, 01, 10, 11). Já com 3 bits, o número de representações possível será 8 (i.e., podemos representar ou escrever 8 números com 3 bits de informação). Logo, o número de representações possíveis é 2^n , sendo que **n** é o nº de bits utilizados. Percebe-se também que o número de representações possíveis duplica à medida que se acrescenta mais um bit. Os agrupamentos de bits mais utilizados são os múltiplos de 8 (8, 16, 24, 32, etc.), sendo que os agrupamentos de 8 bits constituem uma outra unidade importante, o byte.

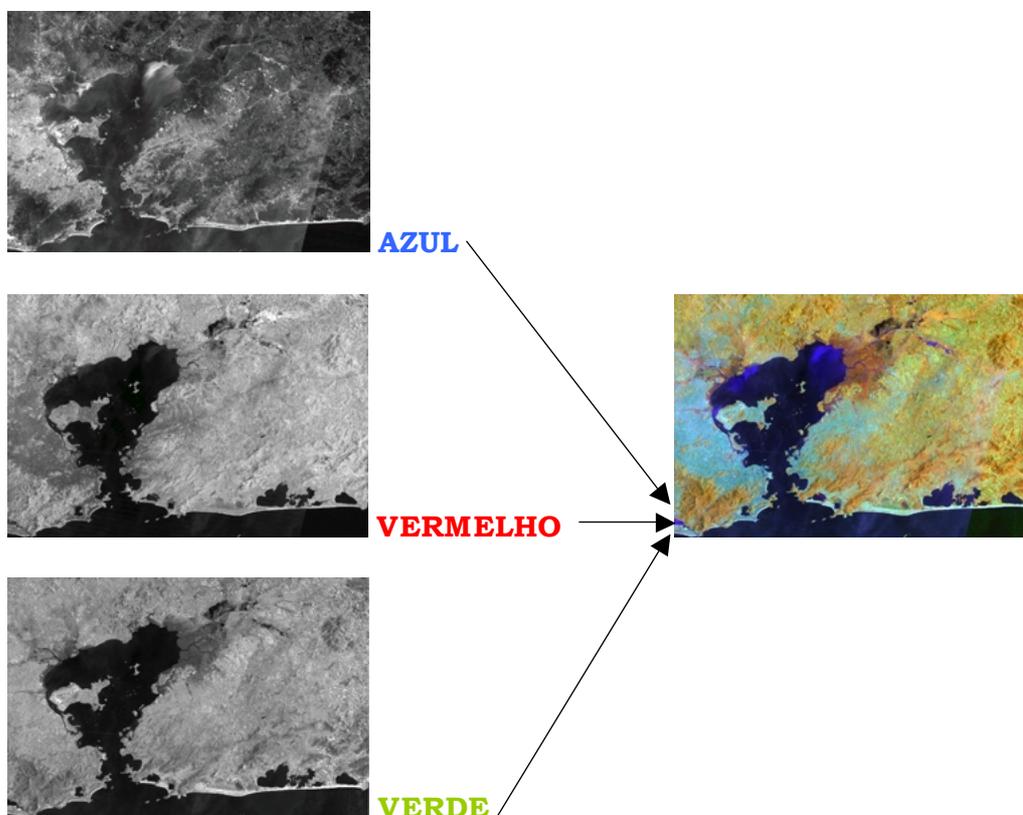
1 byte	= 8 bits = 256 representações possíveis
1 Kilobyte (Kb)	= 1024 bytes
1 Megabyte (Mb)	= 1024 Kb
1 Gigabyte (Gb)	= 1024 Mb
1 Terabyte (Tb)	= 1024 Gb

Em resumo, os números binários zero e um são chamados de bits e o conjunto de 8 bits é chamado de byte, que pode representar um caractere (letras, números, símbolos, etc.). Por exemplo, uma tecla do computador, a letra A, é constituído de 8 bits e que constitui 1 byte. Assim sendo, se uma página escrita contém em média 3.500 bytes, isto equivale dizer que um disquete de 3 1/2", com 1,4 Mbytes, pode conter cerca de 400 páginas escritas.

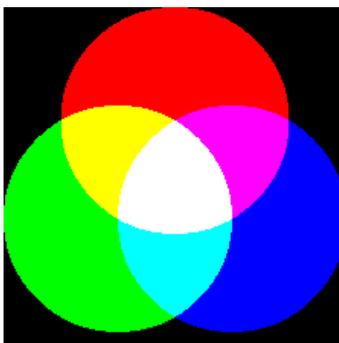
Voltando à representação da radiância de uma imagem, foi dito que existe um número finito de bits para representá-la. A radiância de um pixel é de natureza contínua, porém é representada por um número discreto de níveis de cinza, dado pelo número de bits por pixel característico do sensor em questão. Os sensores normalmente obtêm imagens em 8 ou 10 bits (equivalente a 256 ou 1024 níveis digitais). Em sensores modernos como no caso do satélite IKONOS a radiância é representada por 11 bits (2048 níveis digitais).

O nível de cinza representa a radiância média de uma área relativamente pequena em uma cena. Esta área corresponde a um pixel, o qual é determinado pela altitude do sistema sensor a bordo do satélite e pelo ângulo formado pela projeção geométrica de um único elemento detector sobre a superfície da Terra (IFOV = “*Instantaneous Field Of View*” ou campo de visada instantâneo, em português).

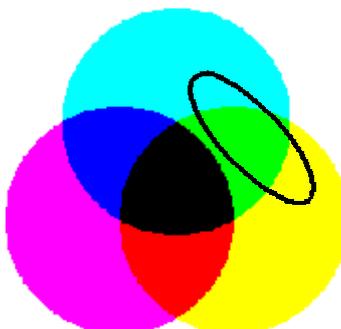
Outro conceito importante para o entendimento do que seja uma imagem orbital é o de **banda espectral**. Banda espectral é um intervalo entre dois comprimentos de onda no espectro eletromagnético. Antigamente usava-se muito o termo *canal*, como sinônimo de banda. O nome da banda espectral geralmente refere-se à região do espectro onde está localizada. Os sensores normalmente adquirem imagens em pelo menos 3 bandas espectrais, a partir das quais montam-se as imagens coloridas. Na Pergunta 8 foi dito que para cada banda espectral é gerada uma imagem em P&B. A combinação de 3 imagens P&B de diferentes bandas, cada uma delas associada a uma das cores fundamentais (azul, verde e vermelho) gera uma composição colorida, ou uma imagem colorida.



Para entender como se dá o processo de formação das cores em uma imagem colorida, uma breve explicação: O **vermelho**, o **verde** e o **azul** são as chamadas cores aditivas, que formam todas as cores do espectro. Alterando-se as concentrações de cada uma das cores primárias, tem-se todas as demais. Concentrações nulas das três cores aditivas originam o preto, que não é uma cor, mas a ausência de cor. Concentrações máximas das três cores aditivas formam o branco, que é a soma de todas as cores. Concentrações iguais das três cores aditivas formam os tons de cinza. Mais escuros, quando as concentrações forem menores, e mais claros, quando as concentrações forem maiores. Concentrações diferentes das três cores formam as demais cores (laranja, marrom, rosa, etc.). Considere o esquema abaixo como uma parede de um quarto escuro, onde se acendem três lanternas coloridas:



A soma de vermelho e verde em concentrações iguais e nada de azul origina o **amarelo**. Assim como a soma de vermelho e azul em concentrações iguais e nada de verde origina o **magenta**. E por fim, a soma de verde e azul em concentrações iguais e nada de vermelho origina o **ciano**. O amarelo, o magenta e o ciano constituem as cores subtrativas, ou seja, o amarelo é a falta do azul; o magenta é a falta do verde e o ciano é a falta do vermelho. Somando-se estas três cores, teremos a falta das três cores aditivas e, portanto, o preto.



Se imaginarmos um holofote emitindo luz branca e colocarmos sobre este feixe de luz três papéis celofanes com as cores subtrativas percebe-se, por exemplo, que se o amarelo é a soma de verde e vermelho, quando a luz passa por este celofane, só estarão passando estas cores, **menos o azul**. Já o ciano é a soma de verde e azul e quando a luz passa por este celofane, só estarão passando estas cores, **menos o vermelho**. Então, ao sobrepor estes dois celofanes (amarelo e ciano), **não** estarão passando as cores azul e vermelho, passando apenas o verde (ver detalhe na figura acima).

Resolução é outro conceito importante e que caracteriza uma imagem orbital. Constitui em uma medida da habilidade que um sistema sensor possui de distinguir entre duas respostas que são semelhantes. A resolução pode ser classificada em espacial, espectral, radiométrica e temporal.

Resolução espacial: significa a menor distância que dois objetos podem estar entre si para que o sensor diferencie-os separadamente. Uma resolução espacial de 20 metros implica que objetos distanciados entre si por menos de 20 metros não são distinguidos pelo sensor.

Ex. O sensor TM/Landsat possui resolução espacial (30 m) maior (melhor) que o sensor AVHRR/NOAA (1 km).

Resolução espectral: refere-se à largura das faixas espectrais que o sistema sensor está apto a obter informações. Um sensor que opera na faixa de 0,4 a 0,45 μm tem uma resolução espectral maior (melhor) do que o sensor que opera na faixa de 0,4 a 0,5 μm . Refere-se também ao número de faixas espectrais que o sensor opera. Quanto maior o número de bandas espectrais, maior (melhor) será a resolução espectral (exemplo o sensor ETM⁺ do Landsat com 7 bandas espectrais tem resolução espectral melhor do que o sensor HRV do satélite SPOT com 3 bandas)

Resolução radiométrica: está associada à sensibilidade do sistema sensor em distinguir dois níveis de intensidade da radiação eletromagnética captada. Uma resolução de 10 bits gera uma imagem com 1024 níveis de cinza, distinguindo diferenças mais sutis entre os alvos do que uma resolução de 8 bits, que gera apenas 256 níveis de cinza. Essa característica pode ser muito importante para o estudo de alvos com variações sutis como é o caso de estudos da água.

Resolução temporal: é o tempo que o satélite leva para retornar ao mesmo ponto na Terra. O satélite NOAA possui resolução temporal de 2 vezes ao dia, sendo melhor que a resolução do Landsat, que é de 16 dias.

A tabela abaixo apresenta as resoluções dos sistemas TM, HRV e AVHRR, a bordo dos satélites Landsat, SPOT e NOAA, respectivamente.

	TM	HRV	AVHRR
Resolução Temporal	16 dias	26 dias	2 vezes ao dia
Resolução espacial	30 m 120 m (Banda6) ETM ⁺ (15m (pan) e 60m (Banda 6))	20 m (Banda1 a 3) 10 m (Pan)	1.1 km
Resolução radiométrica	8 bits	8 bits (1-3) 6 bits (Pan)	10 bits
Resolução espectral (em μm)	Banda1: 0,45-0,52 Banda2: 0,52-0,60 Banda3: 0,63-0,69 Banda4: 0,76-0,90 Banda5: 1,55-1,75 Banda6: 10,74-12,5 Banda7: 2,08-2,35 ETM ⁺ (Pan:0,52-0,90)	Banda1: 0,50-0,59 Banda2: 0,61-0,68 Banda3: 0,79-0,89 Pan: 0,51-0,73	Banda 1: 0,58-0,68 Banda 2: 0,725-1,1 Banda 3: 3,55-3,93 Banda 4: 10,30-11,30 Banda 5: 11,50-12,50

É importante ressaltar que a resolução temporal refere-se a tomada de dados com as mesmas condições de geometria de visada. Alguns satélites atuais têm um mecanismo que permite programar a visada lateralmente e com isso aumentar o período de revisita (ex. SPOT, CBERS, IKONOS, etc.). Contudo, ao aumentar a revisita de uma certa cena ele deixa de imagear outra que estaria localizada verticalmente abaixo do satélite (nadir). Essa característica pode ser importante para o monitoramento de eventos episódicos como queimadas, inundação, derramamento de óleo, etc..

As diferentes bandas espectrais dos sensores têm aplicações distintas em estudos de sensoriamento remoto. Para orientar o usuário na seleção das melhores bandas a serem utilizadas em seu trabalho, apresenta-se a tabela a seguir:

SATÉLITE LANDSAT - SENSOR TM

Canal	Faixa Espectral (μm)	Principais aplicações
1	0,45 - 0,52	Mapeamento de águas costeiras Diferenciação entre solo e vegetação Diferenciação entre vegetação coníferas e decídua
2	0,52 - 0,60	Reflectância de vegetação verde sadia
3	0,63 - 0,69	Absorção de clorofila Diferenciação de espécies vegetais
4	0,76 - 0,90	Levantamento de biomassa Delineamento de corpos d'água
5	1,55 - 1,75	Medidas de umidade da vegetação Diferenciação entre nuvens e neve
6	10,4 - 12,5	Mapeamento hidrotermal
7	2,08 - 2,35	Mapeamento de estresse térmico em plantas Outros mapeamentos térmicos

SATÉLITE NOAA - SENSOR AVHRR

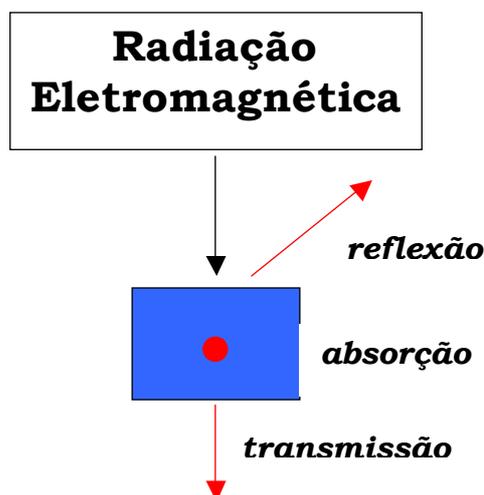
Canal	Faixa Espectral (μm)	Principais aplicações
1	0,58 - 0,68	Mapeamento diurno de nuvem, gelo e neve Definição de feições de solo e cobertura vegetal,
2	0,725 - 1,1	Delineamento da superfície da água Definição de condições de fusão de neve e gelo Avaliação da vegetação e monitoramento meteorológico (nuvens)
3	3,55 - 3,93	Mapeamento noturno e diurno de nuvens Análise da temperatura (C) da superfície do mar Detecção de pontos quentes (incêndios)
4 e 5	10,30 - 11,30 (4) 11,50 - 12,50 (5)	Mapeamento noturno e diurno de nuvens Medição da superfície do mar, lagos e rios Detecção de erupção vulcânica Umidade do solo, atributos meteorológicos das nuvens Temperatura da superfície do mar e umidade do solo

SATÉLITE SPOT - SENSOR HRV

Canal	Faixa Espectral (µm)	Principais aplicações
1	0,50 - 0,59	Reflectância de vegetação verde sadia Mapeamento de águas
2	0,61 - 0,68	Absorção da clorofila Diferenciação de espécies vegetais Diferenciação de solo e vegetação
3	0,79 - 0,89	Levantamento de fitomassa Delineamento de corpos d'água
Pan	0,51 - 0,73	Estudo de áreas urbanas

10 O que é Comportamento Espectral de Alvos?

A superfície terrestre é composta de uma série de objetos que são observados pelos satélites, como por exemplo: vegetação, solos, rochas, água, asfalto, telhados, concreto, entre outros. Quando a radiação eletromagnética incide sobre um objeto, três fenômenos podem ocorrer: absorção, reflexão e transmissão.



A fração de radiação eletromagnética absorvida, refletida e transmitida em relação ao total de radiação incidente (REM) caracteriza três propriedades: absortância (α), reflectância (ρ) e transmitância (τ), respectivamente, tal que:

$$\frac{\text{fração absorvida}}{REM_{\text{incidente}}} = \alpha$$

$$\frac{\text{fração refletida}}{REM_{\text{incidente}}} = \rho$$

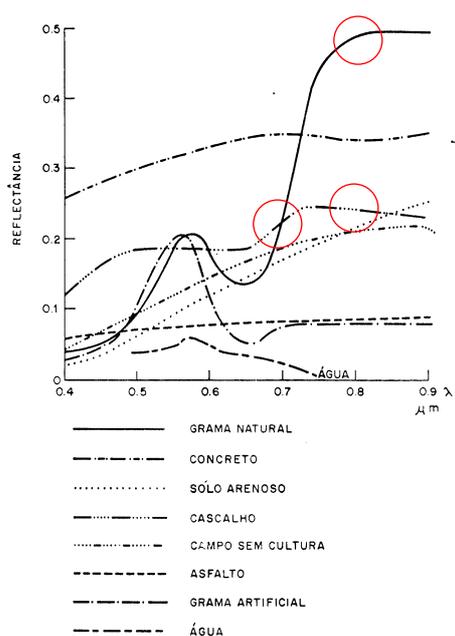
$$\frac{\text{fração transmitida}}{REM_{\text{incidente}}} = \tau$$

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

Ou seja, a soma da porção que foi absorvida pelo objeto, com a porção que foi refletida e com a que foi transmitida deve ser igual à quantidade total de radiação que incidiu sobre o objeto.

As propriedades de absorvância, reflectância e transmitância são dependentes das características físico-químicas dos alvos, as quais irão definir as intensidades de absorção, reflexão e transmissão em cada comprimento de onda. Ou seja, cada **alvo comporta-se** de uma maneira ao interagir com a radiação eletromagnética, podendo-se diferenciá-los através das suas curvas **espectrais** de absorção, reflexão e transmissão. Entretanto, como a principal propriedade estudada é a reflectância, ao usar o termo comportamento espectral de alvos, geralmente está-se referindo apenas às propriedades de reflexão, quando o mais abrangente seria considerar todas as três propriedades.

Os sensores orbitais detectam apenas a radiância refletida ou emitida. Já no caso dos radiômetros, é possível medir tanto a radiância refletida, quanto a transmitida e, a partir destas, inferir a radiância absorvida. Na figura abaixo observa-se um gráfico das curvas de reflectância de vários alvos, na região do visível e em parte da região do infravermelho próximo. Note as diferenças de comportamento espectral dos diversos alvos ao longo do espectro. Outra observação interessante é que a maioria das curvas encontram-se muito próximas entre si na região do visível (até $0,7\mu\text{m}$), em contraste com um maior distanciamento entre elas na região do infravermelho próximo (acima de $0,7\mu\text{m}$). Isto indica que na região do visível os alvos são mais “parecidos”, enquanto que na região do infravermelho próximo eles podem ser mais facilmente diferenciados. Nos pontos onde as curvas se tocam, os alvos apresentam o mesmo valor de reflectância, ou seja, têm a mesma “aparência” quando observados naquela região do espectro. Por exemplo, se fosse possível gerar uma imagem apenas em $0,7\mu\text{m}$, a grama natural e o cascalho apareceriam iguais e indiferenciáveis. Já na região de $0,8\mu\text{m}$, eles são perfeitamente distinguíveis.



As curvas de reflectância deste gráfico são curvas médias, que servem somente para ilustrar as formas típicas como estes alvos refletem a REM incidente. Uma série de fatores influencia estas curvas típicas, tais como as geometrias de iluminação e de visada dos alvos, estado fisiológico e composição. Esta *forma típica* das curvas é geralmente referenciada como *assinatura espectral*. Entretanto, o termo *assinatura* deve ser evitado por que na prática existe uma variação de resposta em função dos fatores acima mencionados.

A análise de curvas como estas permite prever a aparência ou comportamento de alvos em produtos de SR, tais como imagens orbitais, gráficos ou fotografias aéreas. Esta aparência é expressa pela tonalidade (clara ou escura) assumida pelos alvos e dependendo do tipo de produto, ela ainda pode ser expressa pela cor e pela textura. No caso de gráficos, o que se analisa são apenas os valores numéricos.

O conhecimento sobre o comportamento espectral de alvos é, portanto, fundamental para a extração de informações a partir de produtos de SR, quer sejam fotografias, imagens ou gráficos. Para entender um pouco mais sobre os fatores que influenciam o comportamento de alguns objetos em cada região do espectro, serão introduzidas mais algumas informações a respeito dos três principais alvos naturais: água, solo e vegetação.

O primeiro e mais importante passo para estudar qualquer fenômeno é definir claramente o que se está estudando e uma estratégia eficiente é identificar as diferenças e as semelhanças deste objeto em relação a outros objetos. Se as semelhanças forem maiores que as diferenças, talvez, este objeto não seja merecedor de uma abordagem especial. Se as diferenças forem relevantes, então, este objeto merecerá um tratamento diferenciado.

Água

A principal característica que distingue a água dos outros alvos da superfície terrestre é o seu estado físico. Os solos, as plantas e as rochas são alvos sólidos, enquanto a água é um alvo líquido. Este fato traz inúmeras conseqüências à interação radiação/matéria.

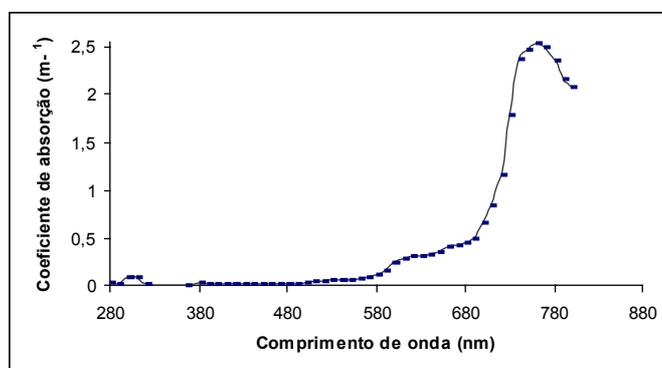
A primeira característica espectral de um corpo d'água que o torna particularmente distinto é sua reflectância média, geralmente muito menor que a dos demais alvos. Devido a isso, a água assume uma tonalidade escura, indicando pouca energia refletida em todas as regiões espectrais. Isto implica em que as diferenças detectadas pelos sensores estejam acima do ruído do sensor, portanto, sensores para estudos da água devem alta sensibilidade.

A diferença mais interessante entre o estudo do comportamento espectral da água e dos demais alvos é que, quando se estuda o comportamento de uma rocha, o que se busca é conhecer as propriedades daquela rocha, mas quando se estuda o comportamento da água, o que se busca conhecer não é a "água-em-si", mas os componentes que se encontram nela dissolvidos ou nela suspensos. Portanto, o estudo do comportamento espectral da água, é usado como um indicador do comportamento de um sistema muito mais complexo que é o sistema aquático, e não apenas da água.

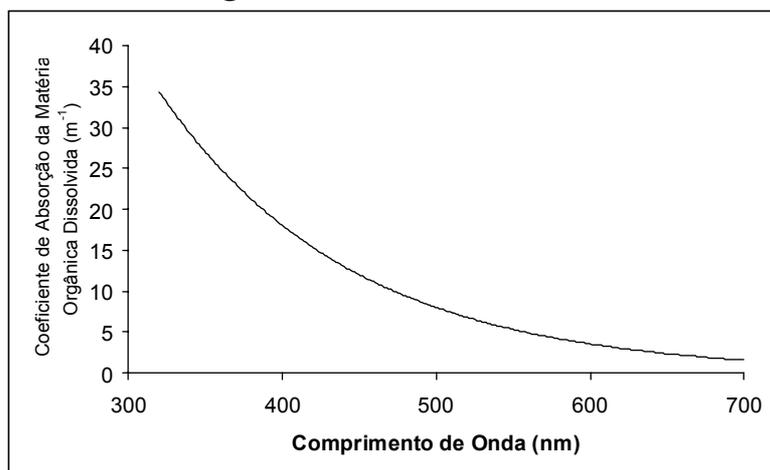
Todas essas diferenças têm conseqüências no estudo do comportamento espectral da água. A primeira conseqüência é que durante muitos anos não existiam instrumentos suficientemente sensíveis que permitissem detectar diferenças sutis na porcentagem refletida pelos diferentes corpos d'água. Enquanto as pessoas saíam pelos campos medindo a reflectância dos solos, das rochas, das plantas sob as mais diferentes condições, um ou outro pesquisador tentava desenvolver diferentes arranjos experimentais para tentar medir a energia refletida pela água. As dificuldades para estudar o comportamento espectral da água sempre foram tantas, que estudá-la se tornou uma tarefa difícil, levando muitos a começar, mas poucos permaneciam entusiasmados após sucessivos resultados insatisfatórios.

A bibliografia sobre o assunto mostra que as pesquisas seguiram duas tendências: numerosos trabalhos experimentais realizados pela comunidade ligada a sistemas aquáticos continentais e numerosos trabalhos de simulação e modelagem matemática, realizados por pessoas oriundas da comunidade de oceanógrafos físicos. Essas diferenças de abordagem fizeram com que a metodologia de aquisição de dados, a nomenclatura, os conceitos utilizados, etc., fossem bastante específicos para o alvo água.

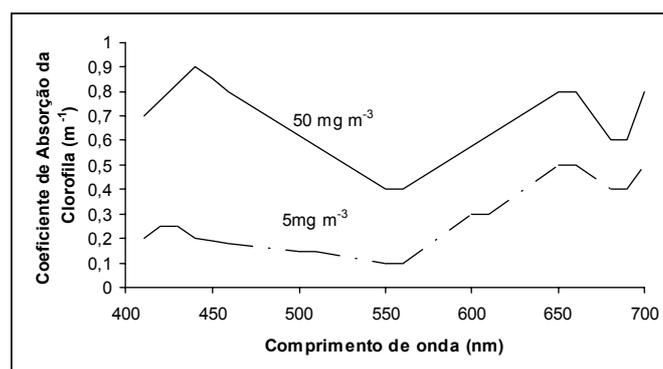
As propriedades ópticas da água, que influenciam o comportamento espectral deste alvo, estão estreitamente relacionadas aos seus constituintes. O espectro de radiação que interessa aos processos vitais dos sistemas aquáticos é a radiação conhecida por fotossinteticamente ativa, a qual vai proporcionar a energia necessária à fotossíntese e que encontra-se compreendida entre 0,4 μ m e 0,7 μ m. A radiação que atinge a superfície da água é refletida, em menor proporção, e transmitida através da interface ar/água, em maior proporção. Estas proporções variam em função de alguns fatores. A energia que foi transmitida pode sofrer dois processos: a absorção e o espalhamento, que são duas propriedades ópticas inerentes da água, pois seus coeficientes variam apenas com as propriedades do meio aquático e não com as propriedades da luz incidente. A absorção é sempre seletiva e depende dos componentes dissolvidos e em suspensão na água, basicamente: a própria água, substâncias dissolvidas na água (substância amarela ou matéria orgânica dissolvida), biota fotossintetizadora (fitoplâncton e macrófitas quando presentes) e partículas não vivas (partículas orgânicas mortas e partículas inorgânicas). A figura abaixo mostra que a absorção de energia radiante pela água pura é desprezível abaixo de 0,48 μ m.



A presença de matéria orgânica dissolvida é um dos principais responsáveis pelo aumento do coeficiente de absorção da água. A figura a seguir mostra o espectro de absorção por matéria orgânica dissolvida em um lago, destacando que sua presença na água provoca profundas modificações no processo de absorção da luz no meio aquático. Comparando com o gráfico anterior, nota-se que o máximo de absorção da água com matéria orgânica dissolvida ocorre na região de mínima absorção da água pura. É na região do azul que se dá o maior contraste entre a absorção da água pura e da água com alta concentração de matéria orgânica dissolvida.



O coeficiente de absorção da clorofila (figura abaixo) tem dois máximos, um na região do azul, em torno de 0,45 μm e outro na região do vermelho, em torno de 0,65 μm . Estes máximos estão associados às clorofilas a e b, respectivamente, que têm seus picos de absorção em 430 μm e 665 μm . A clorofila ocorre abundantemente nas mais diferentes espécies de algas e sua concentração, em miligrama pó m³, geralmente é utilizada como uma medida da abundância fitoplâncton.

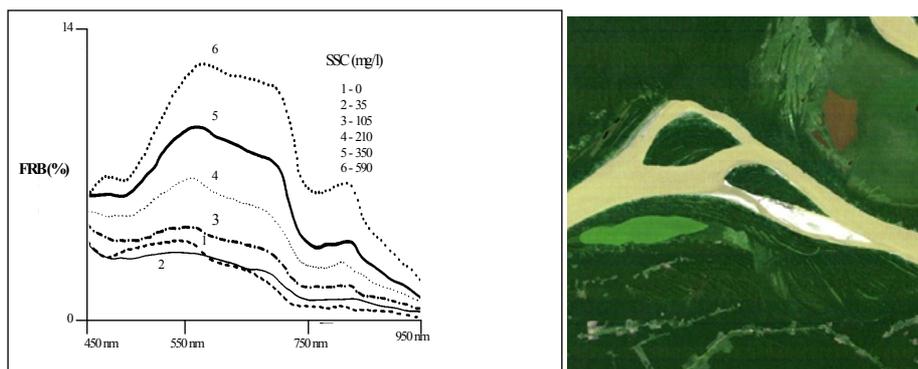


A presenças de partículas orgânicas e inorgânicas na água também aumentam o seu coeficiente de absorção. Essas partículas em geral apresentam espectro de absorção semelhante ao da matéria orgânica dissolvida, mas sua magnitude é bem menor, variando entre 0,3 m⁻¹ a 1,5 m⁻¹ em condições de águas bastante turvidas.

O espalhamento no meio aquático é provocado pela própria água e pelas partículas vivas e não vivas em suspensão na água. O espalhamento da luz por um corpo d'água limpo é máximo na região do azul e reduz exponencialmente em direção a comprimentos de onda mais longos. Uma água natural contém uma quantidade variável de partículas de diversos tamanhos (desde pequenas moléculas de 0,1 nm até vírus de cerca de 100 nm ou peixes). O material particulado encontrado em suspensão na coluna d'água é de duas origens: biológica e física. As partículas de importância óptica são as bactérias, o fitoplâncton e o zooplâncton, que crescem, se reproduzem e morrem dando origem a partículas orgânicas. As partículas inorgânicas têm sua origem no intemperismo das rochas e solos e são as que mais afetam as propriedades ópticas da água. As partículas orgânicas ocorrem em diversas formas tais como vírus, colóides, bactérias, fitoplâncton, detritos orgânicos, zooplâncton. Embora individualmente vírus, bactérias e colóides não sejam espalhadores eficientes de luz, visto que suas dimensões são menores do que os comprimentos de onda do visível, estudos recentes mostram que devido à grande concentração com que ocorrem na água, contribuem significativamente para o retro-espalhamento. O fitoplâncton ocorre em uma grande diversidade de espécies, tamanhos, formas e concentrações. Já o fitoplâncton pode variar entre 1µm e 200µm, sendo em geral muito maiores do que o comprimento de onda e eficientes espalhadores da luz.

Como o espalhamento é proporcional também ao número de partículas no meio aquático e como para um mesmo peso de partículas, há maior número de partículas pequenas, em geral, partículas finas resultam em maiores coeficientes de espalhamento.

A figura abaixo mostra o comportamento espectral de um corpo d'água sujeito a concentrações variáveis de sólidos em suspensão. O que se observa é um aumento da reflectância da água em todos os comprimentos de onda. Entretanto, a região mais sensível é a compreendida entre o verde e o vermelho, fazendo com que, em imagens coloridas, rios com alta concentração de sólidos em suspensão apresentem a cor amarela, como o Rio Madeira, abaixo. A quantificação da quantidade existente nessa exata data requereria, entretanto, calibração com dados de campo. Observando a mesma figura, podemos verificar que a lagoa ao lado, tem cor marrom, ou seja, alta reflectância no verde e no vermelho, mas inferior àquela do rio. Isto permite duas hipóteses: a concentração de sólidos é menor na lagoa (em decorrência da decantação) ou a lagoa tem alta concentração de matéria orgânica dissolvida. Tais hipóteses só podem ser comprovadas em campo, ou com a análise de imagens hiperespectrais.

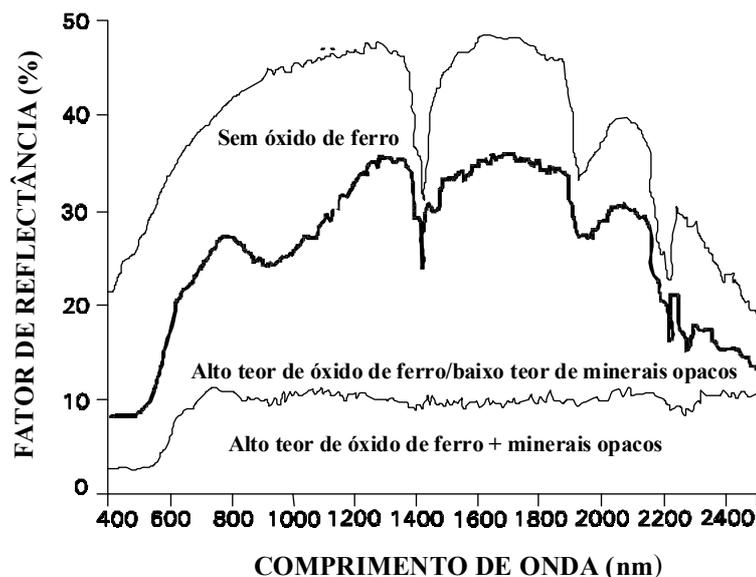


Solos

Diversos fatores afetam o comportamento espectral do solo, tais como a cor, o tipo, o teor de matéria orgânica, o teor de ferro, a composição mineralógica do solo, o teor de umidade e a sua textura (proporções de argila, silte e areia). O aspecto complicador no estudo do comportamento espectral de solos é que em laboratório é possível isolar esses componentes e estudar seus efeitos na resposta espectral do solo individualmente. Mas, na natureza, esses componentes encontram-se relacionados, por vezes reforçando o efeito sobre o outro, outras vezes, anulando.

Entretanto, de um modo geral, podemos dizer que a reflectância média do solo aumenta progressivamente com o comprimento de onda. Sobre este comportamento padrão, existem as variações conforme os fatores expostos acima:

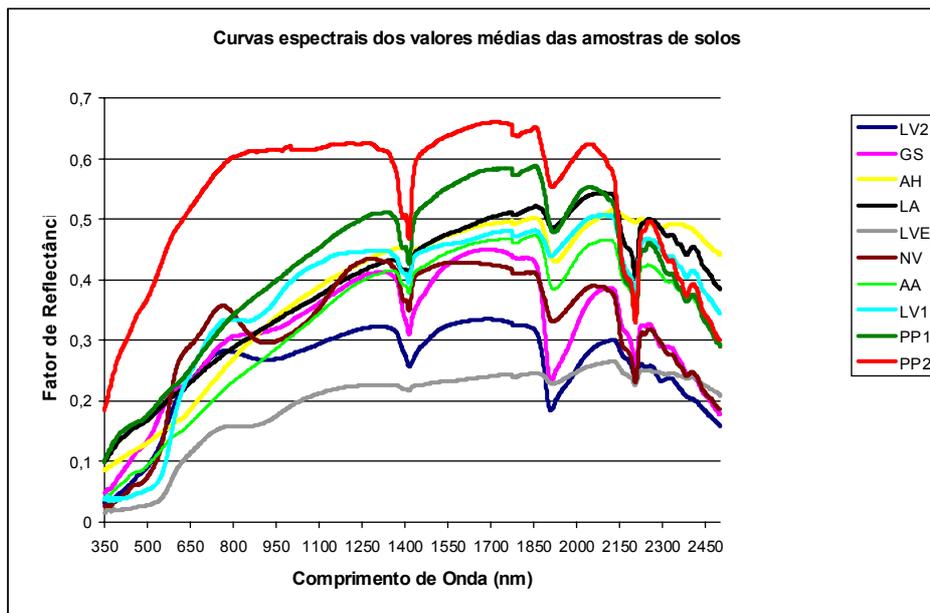
- Solos mais claros apresentam uma curva de reflectância com valores mais altos que solos escuros;
- Para solos com a mesma composição mineralógica, com o aumento do tamanho das partículas, a tendência é uma curva de reflectância com valores mais baixos;
- Quanto maior o teor de umidade, menor é a reflectância do solo em todos os comprimentos de onda. Entretanto, este efeito não é o mesmo para todos os tipos de solo. Estudos mostram que quanto menor for a reflectância média de um solo quando seco, menor será a variação da reflectância com a umidade. Ainda assim, para um mesmo solo, uma redução de reflectância em todos os comprimentos de onda pode ser interpretada como um aumento do teor de umidade do solo;
- Solos com alto teor de óxido de ferro e compostos por minerais opacos apresentam reflectância mais baixa do que solos com baixo teor de óxido de ferro. A presença de minerais opacos além de reduzir a reflectância dos solos em todos os comprimentos de onda, mascara as bandas de absorção relativas à presença da água e de minerais de argila tais como a caulinita (1400 nm) e a montmorilonita (2200 nm).



A figura abaixo ilustra o comportamento espectral de dez solos estudados por Alvarenga et al., 2003¹. Por estas curvas verifica-se que os óxidos de ferro (Fe_2O_3) tiveram influência nos solos NV, GS e LV1, faixa espectral próxima a 900 nm. Este comportamento foi verificado na análise pedológica dos solos, com os seguintes valores para Fe_2O_3 : NV – 17,8 %, LV1 – 1,8 % e GS – 1,5%. Os solos LV2 e LVE, mesmo sem a análise pedológica, demonstraram comportamento característico de solos com presença de óxidos de ferro.

Na faixa entre 1400 e 1500 nm pode-se verificar a influência da água e das hidroxilas (OH^-) na absorção da radiação. Entretanto, as características mencionadas não foram observadas para os solos LVE e AH na faixa centrada em 1400 nm. O solo LVE apresentou esta feição na faixa de aproximadamente 1900 nm. Destaca-se o fato de que solos com baixos valores de reflectância apresentam bandas de absorção referentes à água (1400 nm e 1900 nm) com pouca profundidade e baixa expressão.

¹ Alvarenga, Brummer Seda; Enzo D'Arco; Marcos Adami; e Antonio Roberto Formaggio. **O ENSINO DE CONCEITOS E PRÁTICAS DE ESPECTRORADIOMETRIA LABORATORIAL: ESTUDO DE CASO COM SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais.** São José dos Campos: INPE, 2003. P.739-747 - Anais. CD ROM.



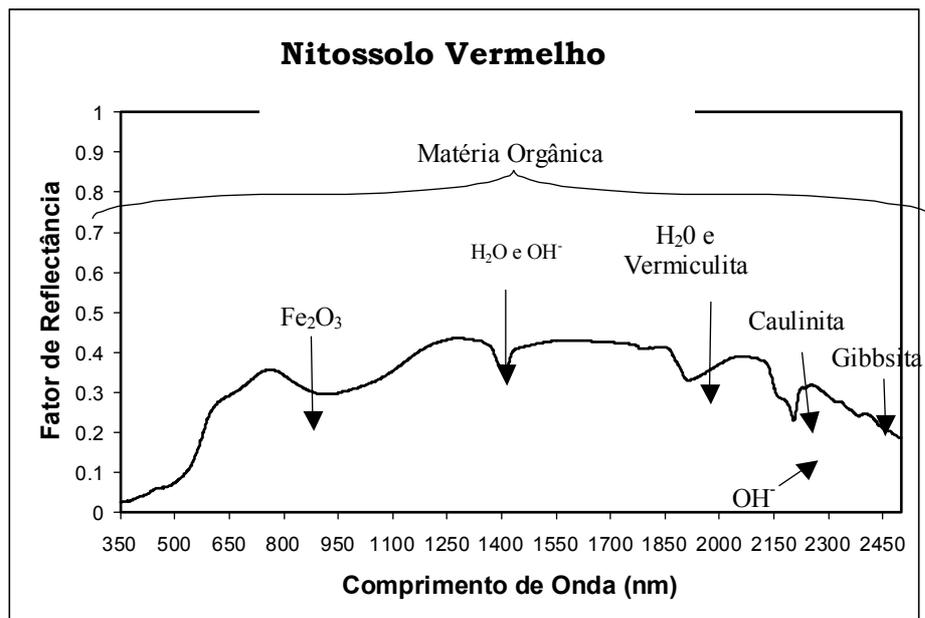
Na faixa entre 2100 e 2200 nm verifica-se em todos os solos, uma forte absorção pela caulinita (isto ocorrendo devido às vibrações das hidroxilas de sua rede cristalina), com exceção do solo AH, que mostrou valores não significativos na análise pedológica para o Al_2O_3 e SiO_2 (Alvarenga et al., 2003¹).

Verifica-se que na faixa de 1900 nm (**Figura acima**) pode ter ocorrido absorção em função da presença de vermiculita, pois o comportamento espectral para a maioria dos solos analisados apresentou característica típica de absorção deste constituinte mineralógico.

De acordo com a curva espectral dos solos PP1, PP2 e AH pode-se dizer que são solos arenosos, visto que a presença de areia (quartzo) no solo aumenta a refletância em todo o espectro estudado. Associado a isto, os baixos teores de matéria orgânica diminuem a absorção aumentando assim a refletância. Isso vem a concordar com a análise físico-química destes solos.

Em relação ao constituinte mineralógico gibbsita, pode-se afirmar que os solos apresentaram feições deste mineral, vistas na faixa de 2300 nm, com exceção do AH e LVE que não apresentaram a absorção característica deste mineral. A curva espectral do solo PP2 mostrou a presença de quartzo, notado pela variação curva na faixa de 1000 nm.

Na figura abaixo observam-se feições características da absorção ocasionada por óxido de ferro, água, hidroxila, vermiculita, caulinita e gibbsita. A influência da matéria orgânica é notada na redução ou aumento do fator de refletância, que é inversamente proporcional ao teor de matéria orgânica presente no solo.



Vegetação

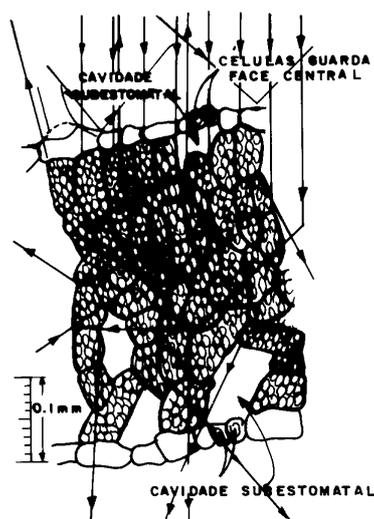
Os estudos de comportamento espectral da vegetação podem ser realizados nos quatro níveis de coleta de dados: laboratório, campo, aéreo e orbital. Em laboratório, geralmente são consideradas as folhas, partes de plantas ou arranjos de plantas, dos quais são coletados dados radiométricos para caracterização espectral de fenômenos ou aspectos relacionados ao processo de interação com a radiação eletromagnética. Em campo, os dados podem ser coletados diretamente das folhas ou através de veículos como plataformas (móveis ou fixas), que permitem a colocação dos sensores imediatamente acima dos dosséis vegetais, segundo as mais diferentes disposições. Nos níveis aéreo e orbital, podem ser utilizados máquinas fotográficas, radiômetros e sensores eletro-ópticos.

O principal objetivo no estudo da vegetação através de sensoriamento remoto é compreender a “aparência” que uma dada cobertura vegetal tem em um determinado produto de sensoriamento remoto, que é fruto de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais. Um dossel é constituído por muitos elementos, como folhas, galhos, frutos, flores, sombra, etc. Um fluxo de radiação incidente sobre qualquer um destes elementos estará sujeito a dois processos: espalhamento e absorção. O processo de espalhamento, por sua vez, pode ser dividido em dois sub-processos: reflexão e transmissão. O destino do fluxo radiante incidente sobre um destes elementos é dependente das características do fluxo (comprimentos de onda, ângulo de incidência e polarização) e das características físico-químicas destes elementos.

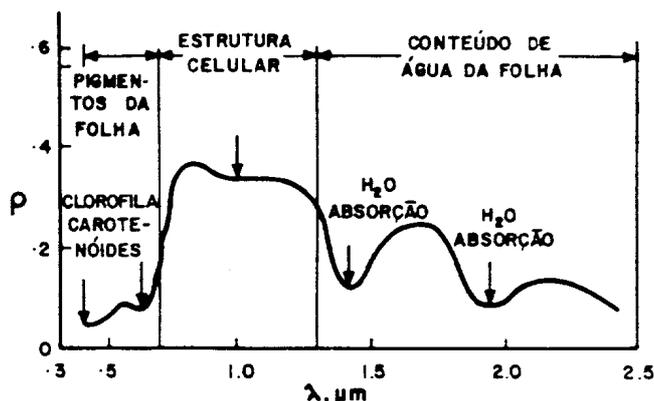
De todos os elementos da vegetação, a folha constitui o principal deles quando se considera o processo de interação com a radiação eletromagnética. Para uma melhor compreensão das características de reflectância da radiação

eletromagnética incidente sobre uma folha é necessário conhecer sua composição química (pigmentos fotossintetizantes) e sua morfologia interna (distribuição e quantidade de tecidos, espaços intercelulares, etc). Uma folha típica é constituída de três tecidos básicos que são: epiderme, mesófilo fotossintético e tecido vascular. A epiderme recobre e protege a folha. Abaixo da epiderme encontra-se o mesófilo fotossintético, subdividido em uma ou várias camadas de células alongadas, que formam o parênquima. Intercalando o mesófilo existem os espaços intercelulares cheios de ar, que se abrem para fora através dos estômatos (via de acesso para o CO₂ que entra e o O₂ e H₂O que saem). O tecido vascular serve para suprir a folha de água e nutrientes e de passagem para os produtos da fotossíntese que são produzidos na folha, para as demais partes da planta. As estruturas das células que compõem os três tecidos das folhas são muito variáveis, dependendo da espécie e das condições ambientais.

A trajetória da radiação eletromagnética dentro de uma folha é baseada na sua estrutura interna e se dá através de vários meios, compostos por água, ar e membranas celulares, todos com diferentes índices de refração. Além das diferenças de índices de refração, as células dos tecidos foliares, possuem estruturas irregulares, orientadas espacialmente sob diversos ângulos. A figura abaixo mostra as possíveis trajetórias da radiação eletromagnética dentro de uma folha. Uma pequena quantidade de luz é refletida pelas células da camada superficial. A maior parte é transmitida para o mesófilo esponjoso, onde os raios incidem nas paredes celulares e são refletidos. Esta reflexão múltipla é um processo aleatório, no qual os raios mudam de direção dentro da folha. Dado o grande número de paredes celulares dentro da folha, alguns raios são refletidos de volta, enquanto outros são transmitidos através da folha. A espessura da folha é um fator importante no caminho da radiação eletromagnética, já que geralmente a transmitância é maior do que a reflectância para folhas finas.



A figura abaixo mostra a curva de reflectância característica de uma folha verde sadia. Os comprimentos de onda relativos ao ultravioleta não foram considerados, porque uma grande quantidade dessa energia é absorvida pela atmosfera e a vegetação não faz uso dela.



Esta figura mostra a região entre 0,4 μm a 2,5 μm dividida em três áreas:

- região do visível (0,4 μm a 0,7 μm);
- região do infravermelho próximo (0,7 μm a 1,1 μm);
- região do infravermelho médio (1,1 μm a 2,6 μm).

Os principais aspectos relacionados ao comportamento espectral da folha, em cada uma destas regiões são:

- Região do visível: a reflectância espectral desta região é dominada pelos pigmentos existentes nas folhas. Estes pigmentos, encontrados nos cloroplastos, são: clorofila (65%), carotenos (6%), e xantofilas (29%). Estes valores podem variar de espécie para espécie. A energia radiante interage com a estrutura foliar por absorção e por espalhamento. A maior parte da energia incidente é absorvida seletivamente pela clorofila e é convertida em calor ou fluorescência, e também convertida fotoquimicamente em energia estocada na forma de componentes orgânicos através da fotossíntese;
- Região do infravermelho próximo: nesta região existe pequena absorção da radiação eletromagnética e considerável espalhamento interno devido à interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo. De maneira geral, quanto mais lacunosa for a estrutura interna foliar, maior será o espalhamento interno da radiação incidente, e conseqüentemente, maior será também a reflectância. A absorção de radiação eletromagnética pela água é geralmente baixa nessa região e a reflectância espectral é praticamente constante;
- Região do infravermelho médio: a absorção de radiação eletromagnética pela água líquida existente nas folhas predomina o comportamento da reflectância espectral das folhas nesta região. Existem alguns comprimentos de ondas onde esta absorção é mais intensa: 1,1 μm ; 1,45 μm ; 1,95 μm e 2,7 μm .

Esta compreensão da reflectância espectral de uma folha permite a interpretação dos resultados obtidos através de coletas realizadas em níveis de laboratório e campo e também da interação da radiação eletromagnética com os diversos tipos fisionômicos de dosséis (florestas, culturas agrícolas, formações de porte herbáceo, etc.).

Dado que a folha é o principal elemento da vegetação do ponto de vista da interação com a radiação eletromagnética, espera-se que muito do que foi exposto sobre as características de reflectância das folhas, também seja válido para os dosséis. De fato, quando as curvas de reflectância de uma folha verde sadia são comparadas com as medições espectrais de dosséis, estas apresentam formas muito semelhantes. Essa semelhança permite que os padrões de reflectância apresentados pelos dosséis vegetais em imagens multiespectrais possam ser previstos a partir de informações obtidas de folhas. Em geral, a reflectância do dossel é menor do que a da folha pela presença de sombra no dossel.

Assim, espera-se que em imagens referentes à região do visível, os dosséis apresentem tonalidade escura devido à baixa reflectância da radiação eletromagnética em função da ação dos pigmentos fotossintetizantes; em imagens do infravermelho próximo, estes mesmos dosséis deverão apresentar-se com tonalidade clara devido ao espalhamento da radiação pelas células do mesófilo e em imagens do infravermelho médio espera-se tons de cinza intermediários entre o escuro das imagens do visível e o claro daquelas do infravermelho próximo. Estes fatores não atuam isoladamente, exercendo sua influência concomitantemente. Assim, os níveis baixos de reflectância na região do visível, esperados para uma cobertura vegetal, não se devem exclusivamente à absorção dos pigmentos existentes nas folhas, mas também às sombras que se projetam entre as folhas, as quais são dependentes da geometria de iluminação, da Distribuição Angular das Folhas (DAF) e da rugosidade do dossel em sua camada superior (topo do dossel).

A distribuição e a orientação espacial dos elementos da vegetação definem sua arquitetura e também o modo como a radiação eletromagnética irá responder após a interação. A arquitetura do dossel pode ser representada pelo Índice de Área Foliar (IAF), que é a razão entre área de folhas pela área de terreno. O IAF é um dos principais parâmetros da vegetação, constitui dado de entrada em modelos de crescimento vegetal e de evapotranspiração e está relacionado à biomassa. Outro parâmetro que define a arquitetura do dossel é a Distribuição Angular Foliar (DAF), caracterizada por uma função de densidade de distribuição, dependentes da inclinação e do azimute da folha. A DAF varia bastante entre os tipos de vegetação.

Estes parâmetros arquitetônicos afetam qualitativamente a reflectância da vegetação. Na região do visível, com o aumento do número de folhas, isto é, do IAF, mais energia será absorvida pela vegetação e menor será a reflectância. Entretanto, isto ocorre até um certo valor de IAF (aproximadamente entre 2 e 3), a partir do qual reflectância será próxima de zero, independente do valor de IAF aumentar. Na região do infravermelho próximo, uma vez que a absorção é mínima, o aumento do IAF implica no aumento do espalhamento e da reflectância, até valores compreendidos entre 6 e 8, quando então o aumento do IAF não mais influencia os valores de reflectância. Estes valores de IAF (2-3 para o visível e 6-8 para o infravermelho próximo) são considerados *pontos de saturação* do IAF por não influenciarem mais o comportamento da reflectância. Um outro efeito da arquitetura do dossel sobre sua reflectância ocorre quando os elementos da vegetação não se encontram uniformemente distribuídos.

Mesmo ciente destas influências, é comum o intérprete de imagens orbitais, ao extrair informações sobre a cobertura vegetal, procurar associar os padrões apresentados diretamente com suas características estruturais. De fato, essa associação é possível, mas existem algumas particularidades que devem ser consideradas. Por exemplo: é esperado que à medida que uma determinada cobertura vegetal aumenta sua densidade, os valores de reflectância referentes à região do visível diminuam, enquanto que na região do infravermelho próximo eles aumentem, até que sejam atingidos seus pontos de saturação. Porém, dependendo da arquitetura assumida em cada uma das fases de desenvolvimento dessa cobertura vegetal, esse efeito pode ou não ocorrer, podendo ser “mascarado” pelo efeito de outros fatores, principalmente o sombreamento dos elementos da vegetação e a participação do solo.

Por exemplo, em uma imagem do infravermelho próximo, uma floresta perenifólia, bem densa, com alto valor de IAF, poderá assumir um brilho menor que um plantio jovem de Eucalyptus, que possui um IAF menor. Na floresta perenifólia existem diferentes camadas horizontais, com indivíduos dominantes projetando suas copas acima de uma cota média do dossel, acarretando sombras àqueles posicionados logo abaixo. Isto implica em menos radiância incidente nos estratos inferiores, diminuindo a radiância medida pelo sensor orbital e, por sua vez, escurecendo o dossel desta floresta em relação ao de Eucalyptus, que por não possuir estratos, seu sombreamento é bem menor. Evidentemente, este efeito é dependente do ângulo de incidência solar, que quanto maior for, maior será o sombreamento no dossel.

Para o caso do solo, sua participação também é dependente do ângulo de iluminação e desta vez de maneira inversa, ou seja, quanto maior for o ângulo de incidência, menor será a participação do solo. Cada dossel, em particular, possui suas características próprias e desenvolve-se em diferentes tipos de solos, sob diferentes condições ambientais. Não há como prever todas as possibilidades e relacioná-las a possíveis padrões nas imagens orbitais.

Assim como acontece com qualquer outro objeto de estudo em sensoriamento remoto, são inevitáveis as “ambigüidades”, nas quais efeitos de diferentes fatores podem proporcionar valores iguais de reflectância, implicando em aparências iguais nas imagens, mesmo se tratando de diferentes coberturas vegetais. Caberá ao intérprete estar preparado para conviver com estas limitações e extrair dos produtos de sensoriamento remoto o máximo de informação confiável. A distinção entre “culturas agrícolas” e “vegetação” dá-se pelo padrão de organização espacial das culturas agrícolas, que alteram seu comportamento espectral, já que tanto um quanto outro têm as plantas, principalmente as folhas, como seu constituinte principal.

11 Quais as características dos sensores orbitais? Quais os principais satélites atuais?

A órbita de uma plataforma orbital que transporta sensores deve ser:

- Circular, para garantir que as imagens tomadas em diferentes regiões da Terra tenham a mesma resolução e escala;

- Imageamento cíclico da superfície, para garantir a observação periódica e repetitiva dos mesmos lugares (monitoramento);
- Síncrona com o Sol (heliossíncrona), para que as condições de iluminação da superfície terrestre permaneçam constantes;
- Horário da passagem do satélite deve atender às solicitações de diferentes áreas de aplicação (geologia, geomorfologia, agricultura, etc.) e otimizem a cobertura de nuvens e a iluminação.

Existe atualmente uma infinidade de satélites em órbita e em teste para futuros lançamentos: os tradicionais Landsat e SPOT operando na região óptica, os de alta resolução espacial Ikonos e QuickBird, os brasileiros em cooperação internacional CBERS e SAC-C, os radares JERS, ERS e Radarsat, o meteorológico que também serve para sensoriamento remoto, NOAA, além de muitos outros como Envisat (com um radar e um espectrômetro a bordo), EROS, Orbview, IRS, Terra e Aqua (com vários sensores, dentre eles, o MODIS). A tabela abaixo apresenta as características de alguns dos principais satélites de sensoriamento remoto no momento: Landsat 7, SPOT 5, Ikonos II, CBERS e ERS-2.

	Landsat 7	SPOT 5	Ikonos II	CBERS	ERS 2
<i>Órbita</i>	Circular 98,2 graus Heliossíncrono	Circular 98,7 graus Heliossíncrono	Circular 98,1 graus Heliossíncrono	Circular 98,5 graus Heliossíncrono	Circular 98,5 graus Heliossíncrono
<i>Período</i>	98 min	101,4 min	98 min	100,26 min	100,467 min
<i>Altitude</i>	705 km	822 km	681 km	778 km	785 km
<i>Cruzamento no Equador</i>	10:15 h	10:30 h		10:30 h	10:30 h
<i>Ciclo</i>	16 dias	26 dias	Revisita de 1,5 a 2,9 dias (Resolução temporal longa)	26 dias (CCD e IRMSS) 5 dias (WFI)	35 dias (SAR)

12 Quais são as características do Programa LANDSAT?

No dia 23 de julho de 1972, a NASA (National Aeronautics and Space Administration) lançou nos Estados Unidos um primeiro satélite chamado ERTS 1 (Earth Resources Technology Satellites), no quadro do Programa Espacial "Earth Resources Technology Satellite", Este Programa Espacial e os satélites que o compõe foram em seguida rebatizados de "Landsat", para melhor sugerir o enfoque do seu esforço sobre Sensoriamento Remoto de Recursos Naturais Terrestres.

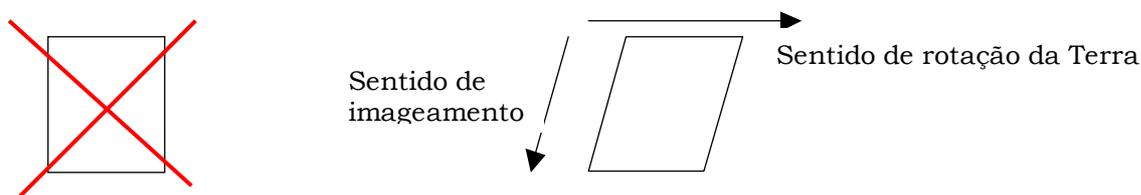
Foram lançados 7 satélites do Programa Landsat desde 1972, sendo que 6 deles forneceram imagens da Terra, como segue:

- Landsat 1: Lançado em 23/07/72 - Desativado em 06/01/78
- Landsat 2: Lançado em 22/01/75 - Desativado em 52/02/82
- Landsat 3: Lançado em 05/03/78 - Desativado em 31/03/83
- Landsat 4: Lançado em 16/07/82 - Em órbita, mas TM não imageia desde agosto de 1993
- Landsat 5: Lançado em 01/03/84 - Ativo até o momento
- Landsat 6: Lançado em 05/10/93 - Perdido após o lançamento
- Landsat 7: Lançado em 15/04/99 - Ativo até o momento

A primeira geração do programa Landsat (Landsat 1, 2 e 3), tinha 2 sensores: a câmera RBV (Return Beam Vidicon) e o sensor MSS (Multispectral Scanner), com diferentes formas de imageamento. O sistema RBV possui imageamento por sistema de quadros e o sistema MSS possui imageamento por sistema de varredura. O Landsat 3 foi lançado com sistema RBV modificado, provendo dados com melhor resolução espacial em uma única faixa do espectro e uma faixa espectral adicionada ao sistema MSS, para operar na região do infravermelho termal. Em razão de problemas técnicos no RBV e da superioridade técnica do MSS, do ponto de vista espectral e radiométrico, o RBV foi muito pouco utilizado. Nesta primeira geração, o tempo que o satélite levava para passar novamente sobre o mesmo ponto (resolução temporal) era de 18 dias.

Imageador RBV (Return Beam Vidicon): sistema semelhante a uma câmera de televisão, permitindo o registro instantâneo de uma certa área do terreno. A energia proveniente de toda a cena impressiona a superfície fotossensível do tubo da câmera e, durante certo tempo, a entrada de energia é interrompida por um obturador, para que a imagem do terreno seja varrida por um feixe de elétrons. O sinal de vídeo é então transmitido telemetricamente.

Imageador MSS (Multispectral Scanner): sistema que permite o imageamento de linhas do terreno numa faixa de 185 km, perpendiculares à órbita do satélite. A varredura do terreno é realizada com auxílio de um espelho que oscila perpendicularmente ao deslocamento do satélite. Durante a oscilação do espelho, a imagem do terreno, ao longo da faixa, é focalizada sobre uma matriz de detectores. A dimensão de cada detector é responsável pelo seu campo de visada instantâneo (área observada por cada detector na superfície da Terra). A energia registrada por cada detector é transformada em um sinal elétrico e este transmitido para as estações em terra. A cada oscilação do espelho, o satélite desloca-se ao longo da órbita, para proporcionar o imageamento contínuo do terreno. Entretanto, o movimento de rotação da Terra provoca um pequeno deslocamento do ponto inicial da varredura para oeste a cada oscilação do espelho, ou seja, a cada seis linhas imageadas. Se considerarmos o deslocamento de 185 km ao longo da órbita do satélite, há um deslocamento de 12,5 cm entre a primeira e a última coluna de pixels. Por isso uma imagem Landsat nunca é um retângulo com ângulos de 90 graus (figura abaixo).



A segunda geração do programa Landsat foi iniciada em 1982, com o lançamento do satélite Landsat 4, que já possuía o sensor TM (Thematic Mapper) operando em 7 bandas espectrais, além do MSS. Com o Landsat 4, o tempo de revisita passou a ser de 16 dias. Porém, logo após o lançamento, esse satélite ficou inoperante.

O Landsat 5 possui apenas o sensor TM e, de acordo com as previsões técnicas baseadas nas performances atuais do satélite, deverá ficar operacional por mais alguns anos após a virada do século. Sua longa vida útil

e a qualidade dos dados gerados permitiram não apenas muitos anos de estudos sobre os diversos aspectos da superfície terrestre, como também a continuidade destes estudos, pois o Landsat 6 foi perdido no lançamento e não havia previsão para o lançamento do Landsat 7. De 1993 a 1999, o Landsat 5 foi o grande “herói” fornecedor de imagens aos milhares de pesquisadores e usuários de sensoriamento remoto em todo mundo. Ainda hoje, com o Landsat 7 em operação, o Landsat 5 constitui a possibilidade de aquisição de cenas em datas alternativas às do Landsat 7, dado que ambos estão defasados de meia órbita, ou seja, de 8 dias.

O Landsat 7 marca o início da terceira geração do programa Landsat. É o mais recente satélite em operação do programa americano. O novo satélite foi lançado com um novo sensor a bordo, denominado ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Sua vida útil está prevista para ser superior a 5 anos em órbita. Uma imagem Landsat 7 ETM+ é composta por 8 bandas espectrais, uma a mais que o Landsat 5. Entre as principais melhorias técnicas comparado ao seu antecessor, o Landsat 5, destacam-se a adição de uma banda espectral (banda pancromática) com resolução de 15 m, perfeitamente registrada com as demais bandas, melhorias nas características geométricas e radiométricas e o aumento da resolução espacial da banda termal para 60 m. Esses avanços tecnológicos permitem qualificar o Landsat 7 como sendo o satélite mais interessante para a geração de imagens de satélites com aplicações diretas até a escala 1:25.000, em áreas rurais principalmente, mesmo em grandes extensões de território, como acontece freqüentemente no Brasil. As imagens geradas pelo Landsat 7 adquiridas pelo sensor ETM+ apresentam a melhor relação custo/benefício entre os dados gerados por satélites de média resolução espacial (15 a 30 metros) atualmente oferecidos no mercado.

Imageador TM (Thematic Mapper): sistema de varredura multiespectral concebido para obter melhor resolução espacial, melhor discriminação espectral entre objetos da superfície terrestre, maior fidelidade geométrica e melhor precisão radiométrica em relação ao sensor MSS. A energia proveniente da cena atinge o espelho de varredura que oscila perpendicularmente à direção de deslocamento do satélite em sentido leste-oeste e oeste-leste. O sinal atravessa um telescópio e um conjunto de espelhos, cuja função principal é corrigir o sinal coletado pelo espelho de varredura. Dessa maneira, o sinal detectado em cada matriz de detectores de cada canal é transferido para um amplificador e convertido em sinal digital através de um sistema A/D (analógico/digital). A saída de dados é, então transmitida via telemetria.

13 Quais são as características do Programa SPOT?

O programa francês SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) foi planejado e projetado como um sistema operacional comercial de observação da Terra. Estabelecido por iniciativa do governo francês em 1978, com a participação da Suécia e Bélgica, o programa é gerenciado pelo Centre National d'Etudes Spatiales (CNES), que é o responsável pelo desenvolvimento do programa e operação dos satélites. Já foram lançados com sucesso os SPOT 1, 2, 3, 4 e 5.

- SPOT 1: Lançado em 22/02/86 - Inativo
- SPOT 2: Lançado em 22/01/90 - Operacional
- SPOT 3: Lançado em 26/09/93 - Perdido em 14/11/97
- SPOT 4: Lançado em 24/03/98 - Operacional
- SPOT 5: Lançado em 03/05/02 - Operacional

Dois sensores idênticos (HRV - High Resolution Visible) estão dispostos lado-a-lado a bordo dos satélites SPOT 2 e 4, e podem ser utilizados independentemente, tanto na geometria de visada como no modo espectral. Estes sensores foram concebidos para operarem no modo multiespectral (aquisição de dados em três bandas espectrais, com resolução espacial de 20 metros) e no modo pancromático, com apenas uma banda, com resolução espacial de 10 metros. Cada instrumento tem uma faixa de varredura de 60 km. Quando os dois instrumentos operam em conjunto, imageando áreas contíguas, a área total coberta é de 117 km, ou seja, duas faixas de 60 Km de largura cada com 3 km de sobreposição.

Os sensores HRV podem imagear a nadir (na vertical) ou para leste ou oeste, graças a um espelho móvel que pode ser apontado para áreas de interesse até 27 graus lateralmente com relação a vertical, tendo acesso, então, a uma faixa de 950 km de largura. Quando as cenas são adquiridas com algum ângulo de visada, o efeito de perspectiva faz com que a área imageada possa ser mais larga, até 80 Km com visada de 27 graus lateralmente. Esta possibilidade confere aos satélites SPOT uma capacidade de revisita de uma área de interesse de alguns dias (3 a 4 dias em média), além de permitir a aquisição de imagens em estereoscopia.

Além dos sensores HRV, o SPOT 4 conta ainda com uma banda no infravermelho médio, com resolução de 20 metros e o sensor VEGETAÇÃO, com 4 bandas espectrais e resolução espacial de 1 km. O Vegetação foi concebido para garantir um acompanhamento contínuo em nível regional e global da biosfera continental e da agricultura. Os resultados obtidos permitiram começar a estudar as complexas interações de influências que ocorrem entre a cobertura vegetal do planeta e o clima global: comportamento da vegetação em função do efeito estufa, conseqüências sobre o ciclo do carbono, e o efeito do aumento do teor de CO₂ sobre a produção vegetal, etc.

Uma das características tecnológicas mais inovadoras que o SPOT trouxe em 1986 e mantém até hoje é que o HRV usa um “array” de sensores eletrônicos usando a tecnologia de CCD (Charged Couple Device), que possibilita maior fidelidade geométrica das imagens adquiridas por eliminarem a necessidade de usar um scanner com partes móveis, que são geralmente uma fonte de degradação da qualidade das imagens quando o satélite envelhece. Esse sistema também permite que um detector permaneça mais tempo observando um pixel da imagem e, portanto, permite melhores resoluções espaciais, espectrais ou radiométrica.

O SPOT 5 traz mais novidades. No lugar dos sensores HRV, há 2 sensores HRG (High Resolution Geometric) com 10 metros de resolução no modo multiespectral, 5 metros no modo pancromático e 2,5 metros no “supermode”, cada um recobrando uma faixa de 60 km, dentro de um corredor potencial de

cerca de 420 km. Possui também 2 sensores HRS (High Resolution Stereoscopic), menores que os HRG, que consistem em 2 telescópios, um com visada dianteira e outro com traseira, que fornecem cobertura estereoscópica de uma ampla faixa do terreno. Estes sensores permitem dados de estereoscopia adquiridos na mesma órbita e com poucos segundos de intervalo, permitindo a geração de Modelos Numéricos de Terreno de 10 metros de precisão altimétrica.

Ao lado dos sensores HRS, está o sensor Vegetação 2, similar ao que opera no SPOT 4. Com um imageador multiespectral de 1 km de resolução, ele continuará fornecendo uma visão em pequena escala da Terra, com uma faixa imageada de 2.250 km de largura. Sua resolução espacial permite medir variações sutis na cobertura do planeta, possibilitando um monitoramento global de grande valor científico. O Vegetação 2 é uma versão aprimorada do sensor inicial, com melhorias nos detectores e na parte ótica.

Estas características permitirão o uso das imagens SPOT 5 para aplicações nas escalas entre 1:10.000 e 1:25.000.

14 Quais formatos de imagens do TM/Landsat existem?

Os arquivos de imagens podem estar disponíveis nos formatos “*fast format*” ou GEOTIFF.

O formato “*fast format*” contém uma quantidade mínima de dados gerais, compactando o máximo possível os dados dentro do CD, facilitando a leitura e a escrita. Este formato está disponível somente para estrutura de imagem em banda seqüencial (BSQ), usado em imagens TM/Landsat. Os arquivos da imagem estão contidos em um único CD-ROM, podendo haver mais de um por CD-ROM. Há dois tipos de arquivo em uma fita “*fast format*”: o arquivo de “*header*” e os arquivos de imagens.

O arquivo de “*header*” é o primeiro de cada fita e contém dados de descrição como data, opções de processamento e informação de projeção para o produto.

Os arquivos de imagem contêm somente os “pixels” de imagem. Estes dados podem ser bloqueados ou não. A bloqueagem é utilizada para condensar uma imagem ao máximo possível. Na maioria das vezes, as imagens geocodificadas são bloqueadas.

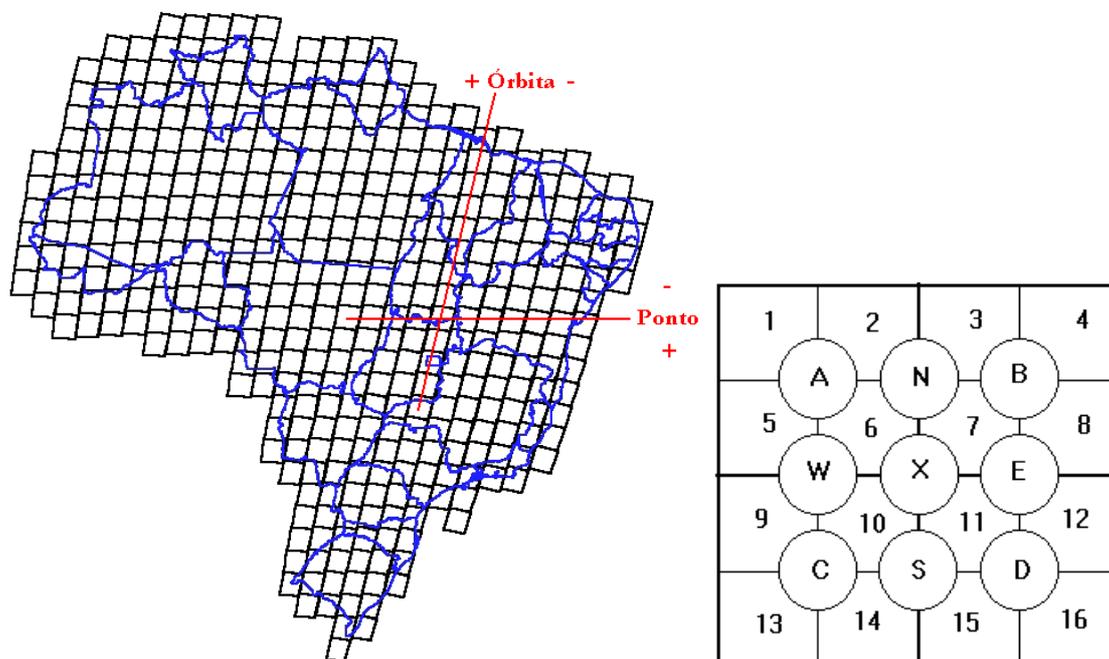
O formato GEOTIFF é um arquivo TIFF com parâmetros de geocodificação (posicionamento da imagem na superfície terrestre) e de georreferenciamento (atribuição de projeção e datum). Pode-se geocodificar uma imagem TIFF utilizando um arquivo auxiliar com extensão.tfw.

15 Quais parâmetros de uma imagem Landsat que devem ser avaliados?

Ao escolher produtos digitais das imagens TM/Landsat, uma série de parâmetros precisa ser avaliada.

O primeiro passo é definir local e hora. A área de estudo direcionará a escolha da órbita/base e do ponto da imagem, se é necessário algum deslocamento na

cena, entre outros. Abaixo, um esquema das órbitas/pontos do Landsat sobre o Brasil e os quadrantes de uma cena.



Definida a órbita/ponto, parte-se para a escolha das datas de interesse. De modo geral, existe uma grande opção de datas para cada órbita/ponto, entretanto, algumas regiões do Brasil (como o nordeste) apresentam intensa cobertura de nuvens no período da manhã, horário em que o satélite passa, dificultando a disponibilidade de imagens livres de nuvens. Para cada data de passagem de uma determinada órbita/ponto, estão disponíveis informações da cobertura total de nuvens da cena e por quadrante (de 0 a 100%) e ainda, o nível de visibilidade da cena, que está associado à presença e à intensidade de névoas (de 0 a 9).

Estes são os principais pré-requisitos para se elaborar um pedido de imagem e podem ser definidos através do site do INPE:

<http://cbs.dgi.inpe.br:4444/>

O passo seguinte será definir o nível de correção e o formato da imagem (dentre os tipos especificados na Pergunta 14). A mídia é CD-ROM, exceto se o usuário desejar o produto em papel fotográfico.

Os níveis de correção geométrica disponíveis são 0R, 1R e 1G:

Nível 0R (“raw uncorrected”) : Dados brutos com as bandas espectrais alinhadas espacialmente.

Nível 1R (“radiometric correction”) : Imagem com correção radiométrica, sem associação com um sistema de projeção.

Nível 1G (“systematic correction”) : Imagem com correções radiométrica e geométrica, associadas a um sistema de projeção.

Ao escolher o nível 1G, devem ser informado ainda os parâmetros de reamostragem:

Nível 5 - São aplicados cálculos de correção geométrica utilizando-se dados de efemérides e de atitude do satélite; reamostragem por "vizinho mais próximo" e pontos de controle adquiridos a partir de uma base cartográfica oficial.

Nível 6 - Os procedimentos são semelhantes ao nível 5, com reamostragem pelo método de convolução cúbica.

Atualmente, a não ser que seja solicitada alguma condição especial, a imagem Landsat é gravada sempre cena inteira ("*full frame*", aproximadamente 185 x 185 km), com todas as bandas, com nível de correção 1G, na projeção/datum UTM/SAD 69, reamostrada através do método de convolução cúbica (nível 6), em formato GEOTIFF e fornecida em CD-ROM. Não são realizadas quaisquer equalizações de histogramas ou correções para correção do ângulo de elevação solar.

O tamanho da imagem TM/Landsat varia conforme o formato solicitado, entretanto, é aproximadamente de 7000 colunas por 6500 linhas.

O CD-ROM está estruturado em subdiretórios:

- No diretório raiz, estão localizados alguns arquivos gerais, tais como a documentação de formato e um programa de conversão do formato do CD-ROM para um arquivo formato TIFF.
- Existem um ou mais diretórios com a identificação WRS (órbita/ponto) da cena. Por exemplo, uma imagem "*full frame*" do Rio de Janeiro (órbita 217/ponto 76) estará localizada no diretório \217_076. Se a imagem for quadrante, a sigla do quadrante também fará parte do nome do diretório. Por exemplo, o quadrante A da mesma cena do exemplo acima estará localizado no diretório \216_076A.
- Em cada diretório WRS, haverá um ou mais subdiretórios com a(s) data(s) de aquisição da cena. A forma geral do subdiretório é \aammdd, onde "aa" são os 2 últimos dígitos do ano, "mm" os dígitos do mês e "dd" os dígitos do dia da data de passagem. Por exemplo, a mesma cena do exemplo acima que tenha sido adquirida em 31 de janeiro de 1994 estará localizada no subdiretório \940131.
- Nos subdiretórios das datas encontram-se os arquivos de imagem, um para cada banda requisitada, e alguns arquivos de descrição do produto. Cada arquivo de imagem é nomeado simplesmente BANDAn.DAT (n é o número da banda). Por exemplo, a banda 7 da mesma cena do Rio de Janeiro, quadrante A, adquirida pelo satélite em 31 de janeiro de 1994, deverá ser acessada com o nome: \217_076a\940131\banda7.dat. A imagem em formato GEOTIFF pode apresentar o nome em uma das seguintes formas: imagery_Bn (n é o número da banda) ou **L71229069_00020010813_B30**, onde no primeiro grifo tem-se a indicação de ser Landsat 7, no segundo grifo tem-se a órbita/ponto, no terceiro grifo, a data e no último grifo, a banda.

CONCEITOS BÁSICOS DE CARTOGRAFIA

Para trabalhar com Sensoriamento Remoto, é fundamental ter ao menos algumas noções básicas de Cartografia, dado que todo o material de trabalho consiste em dados georreferenciados, ou seja, espacialmente indexados.

1 O que é um Sistema de Coordenadas Geográficas e para quê serve?

Um objeto geográfico qualquer (uma cidade, a foz de um rio, o pico de uma montanha, entre outros) somente poderá ser localizado se pudermos descrevê-lo em relação a outro objeto, cuja posição seja previamente conhecida. Ou determinar sua localização em uma rede coerente de coordenadas geográficas.

Quando se dispõe de um sistema de coordenadas fixas, pode-se definir a localização de qualquer ponto na superfície terrestre.

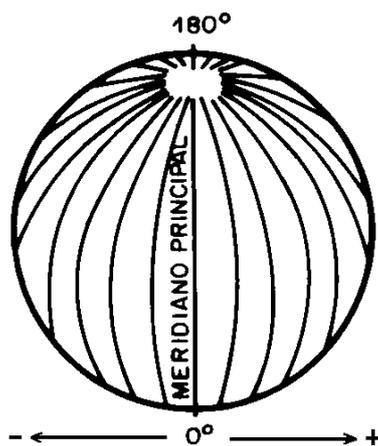
2 Quais os sistemas de coordenadas geográficas que existem?

Existem dois: o sistema de coordenadas geográficas ou terrestres e o sistema de coordenadas planas ou cartesianas, descritos a seguir:

Sistema de Coordenadas Geográficas ou Terrestres

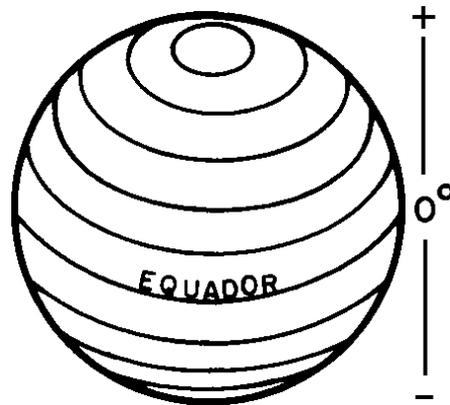
É o sistema mais antigo de coordenadas. Nele, cada ponto da superfície terrestre é localizado na interseção de um meridiano com um paralelo.

Meridianos são eixos imaginários que circundam a Terra perpendicularmente ao equador, sempre passando pelos dois pólos. O meridiano de origem (também conhecido como inicial ou fundamental) é aquele que passa pelo antigo observatório britânico de Greenwich, escolhido convencionalmente como a origem (0°) das longitudes sobre a superfície terrestre e como base para a contagem dos fusos horários. À leste de Greenwich os meridianos são medidos por valores crescentes até $+180^\circ$. À oeste, suas medidas são decrescentes até o limite mínimo de -180° . Os meridianos determinam a longitude de um ponto na superfície terrestre.



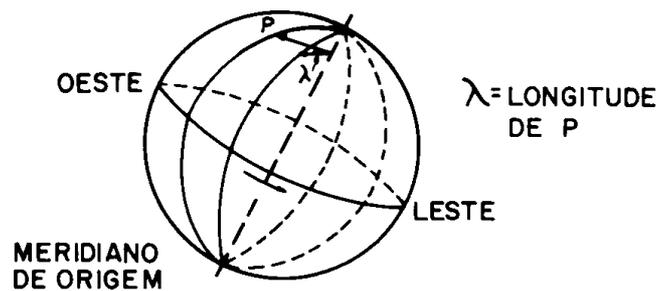
Paralelos são eixos imaginários que circundam a Terra perpendicularmente ao eixo dos pólos e paralelamente ao equador. O Equador é o paralelo que divide a Terra em dois hemisférios (Norte e Sul), considerado como o paralelo de origem (0°). Partindo do equador em direção aos pólos temos vários planos paralelos, cujos valores aumentam e tamanhos diminuem, até se tornarem um

ponto no pólo Norte (+90°) e um ponto no pólo Sul (-90°). Os paralelos determinam a latitude de um ponto na superfície terrestre.

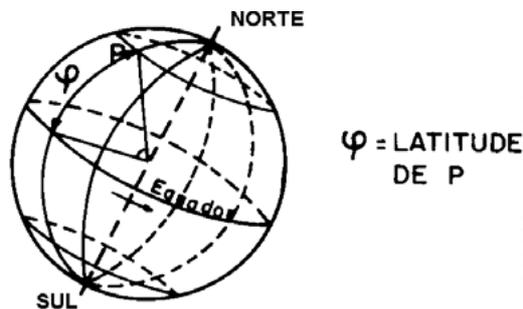


Assim, representa-se um ponto na superfície terrestre por um valor de latitude e longitude.

A *Longitude* de um lugar é a distância angular entre um ponto qualquer da superfície terrestre e o meridiano inicial ou de origem.



Latitude de um lugar é a distância angular entre um ponto qualquer da superfície terrestre e a linha do Equador.



Por exemplo:

Leme/SP situa-se ao sul do Equador e a oeste de Greenwich, tendo latitude e longitude negativas. Sendo a latitude e a longitude ângulos, suas medidas são

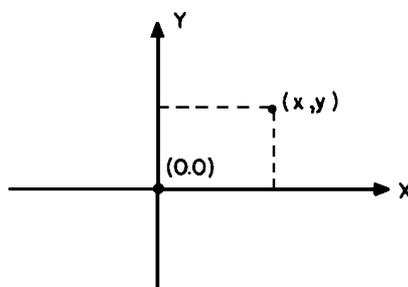
tradicionalmente representadas em graus, minutos e segundos. Então, as coordenadas geográficas de Leme são:

S 22° 11' 04" ou - 22° 11' 04": latitude sul
 W 47° 23' 01" ou - 47° 23' 01": longitude oeste

Por ser um sistema que considera desvios angulares a partir do centro da Terra, o sistema de coordenadas geográficas não é um sistema conveniente quando se busca distâncias ou áreas. Para estes casos, recomendam-se outros sistemas de coordenadas, mais adequados, como por exemplo, o sistema de coordenadas planas, descrito a seguir.

Sistema de Coordenadas Planas ou Cartesianas

O sistema de coordenadas planas ou cartesianas baseia-se na escolha de dois eixos perpendiculares, usualmente os eixos horizontal (x) e vertical (y), sendo que o eixo x coincide sempre com o Equador e o eixo y será o meridiano central do fuso no qual a área em questão estiver inserida. A interseção destes dois eixos é a origem, que terá sempre valores $x = 500.000$ e $y = 10.000.000$. Como cada fuso tem 6°, correspondente a 111.000m, um ponto à direita do meridiano central terá um valor de x entre 500.000 e 833.000. E um ponto à esquerda, terá um valor entre 167.000 e 500.000. Quanto à longitude, os valores decrescem para o sul, a partir de 10.000.000 no equador, até zero no pólo sul. Nesse sistema de coordenadas, um ponto na Terra é representado por dois números: um correspondente à projeção sobre o eixo x (horizontal), associado à longitude, e outro correspondente à projeção sobre o eixo y (vertical), associado à latitude. Os valores de x e y estão em metros.



No exemplo de Leme/SP, seria assim representado,

$x = 254.000$ m
 $y = 7.545.000$ m

Estas coordenadas são relacionadas matematicamente às coordenadas geográficas, de maneira que uma pode ser convertida na outra.

3 O que são as Projeções Cartográficas?

Uma vez que os objetos geográficos já possuem uma indexação espacial através dos sistemas de coordenadas geográficas, resta representá-los na forma de mapas da superfície terrestre. Todos os mapas são representações aproximadas da superfície terrestre. São aproximadas porque a Terra é aproximadamente esférica e é desenhada em uma superfície plana. A elaboração de um mapa consiste em um método segundo o qual se faz

corresponder a cada ponto da Terra, um ponto no mapa. Para se obter essa correspondência, utiliza-se os sistemas de projeções cartográficas.

Existem diferentes projeções cartográficas, uma vez que há uma variedade de modos de projetar a superfície terrestre em um plano. Conseqüentemente, torna-se necessário classificá-las quanto às suas características, a fim de melhor escolher qual usar.

Classificação das Projeções

Os sistemas de projeções cartográficas são classificados pelo tipo de superfície adotada e grau de deformação. Quanto ao tipo de superfície de projeção adotada, classificam-se as projeções em:

- Planas ou azimutais
- Cilíndricas
- Cônicas
- UTM
- Poliédricas

Nelas, a superfície curva da Terra é representada sobre um plano, um cilindro, um cone ou um poliedro tangente ou secante à esfera terrestre, respectivamente.

1- Projeção plana ou azimutal:

Constrói-se o mapa imaginando-o situado num plano tangente ou secante a um ponto na superfície da Terra.

Exemplo: projeção estereográfica polar

2- Projeção cilíndrica:

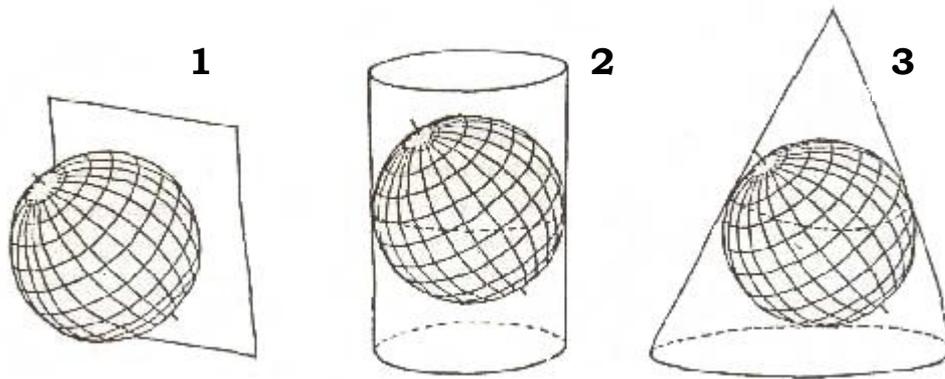
Obtém-se este mapa imaginando-o desenhado num cilindro tangente ou secante à superfície da Terra, que é depois desenrolado. Pode-se verificar que em todas as projeções cilíndricas, os meridianos bem como os paralelos são representados por retas perpendiculares.

3- Projeção cônica:

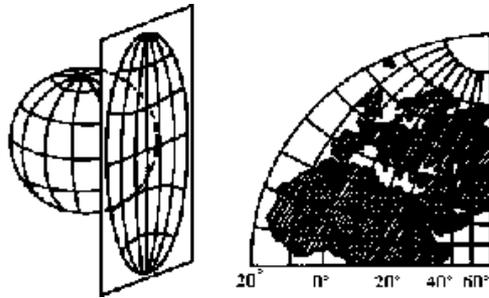
Obtém-se o mapa imaginando-o desenhado num cone que envolve a esfera terrestre, que é em seguida desenrolado. As projeções cônicas podem ser tangentes ou secantes. Pode-se constatar que em todas as projeções cônicas os meridianos são retas que convergem em um ponto (que representa o vértice do cone) e todos os paralelos são circunferências concêntricas a esse ponto.

Exemplo: projeção cônica de Lambert.

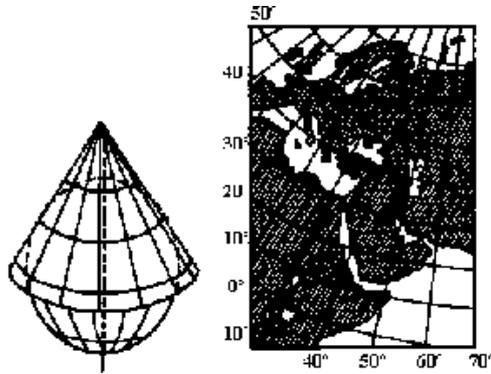
Exemplo: projeção Mercator



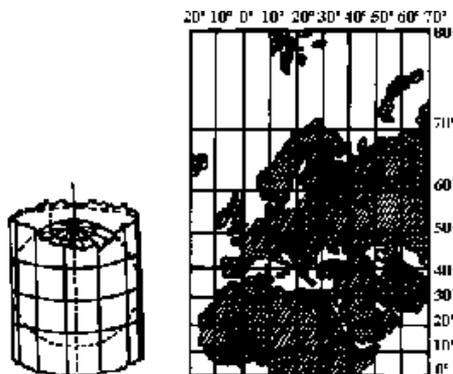
A seguir, apresenta-se uma comparação entre os três diferentes sistemas de projeção na representação de um quarto de hemisfério:



Projeção plana



Projeção cônica



Projeção cilíndrica

A superfície da Terra é uma superfície curva e irregular, porém aproxima-se de um elipsóide (ver adiante). É possível transformar o elipsóide em uma esfera com a mesma superfície, construindo-se um globo terrestre. É impossível, porém, fazer uma cópia plana desta superfície, sem desfigurá-la ou alterá-la. Nesse processo, poucas grandezas podem ser mantidas. Por isso, deve-se escolher entre uma possível conservação dos ângulos, uma proporcionalidade das superfícies ou um outro método que reduza os efeitos da deformação, levando em conta o que se pretende analisar no mapa. Conceitua-se então grau de deformação.

Quanto ao *grau de deformação* das superfícies representadas, classificam-se as projeções em:

- *Conformes ou isogonais*: mantêm fidelidade aos ângulos observados na superfície representada. Porém ao se manter a precisão dos ângulos, distorce-se a forma dos objetos no mapa.

Exemplo: Mercator

- *Equivalentes ou isométricas*: conservam as relações de superfície (não há deformação de área).

Exemplos: Cônica de Albers, Azimutal de Lambert

- *Equidistante*: conservam a proporção entre as distâncias, em determinadas direções, na superfície representada.

Exemplo: Cilíndrica Equidistante

A escolha da projeção deve basear-se na precisão desejada, no impacto sobre o que se pretende analisar e no tipo de dado disponível.

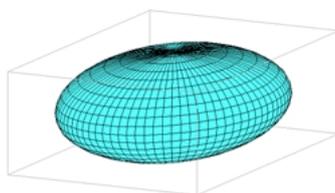
Projeção UTM - "Universal Transverse Mercator"

O mapeamento sistemático do Brasil é feito na projeção UTM (1:250.000, 1:100.000, 1:50.000). Relacionam-se, a seguir, suas principais características:

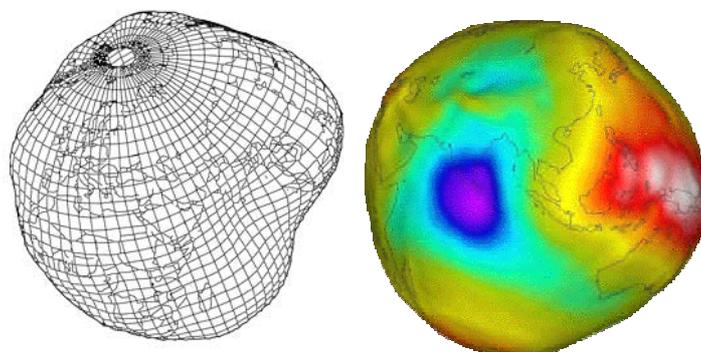
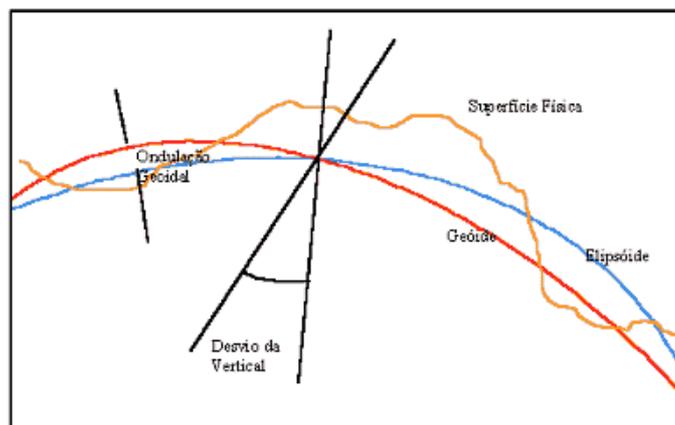
- A superfície de projeção é um cilindro transverso e a projeção é conforme;
- O meridiano central da região de interesse, o equador e os meridianos situados a 90° do meridiano central são representados por retas;
- Os outros meridianos e os paralelos são curvas complexas;
- O meridiano central é representado em verdadeira grandeza;
- A escala aumenta com a distância em relação ao meridiano central. A 90° deste, a escala torna-se infinita;
- A Terra é dividida em 60 fusos de 6° de longitude. O cilindro transverso adotado como superfície de projeção assume 60 posições diferentes, já que seu eixo mantém-se sempre perpendicular ao meridiano central de cada fuso;
- Aplica-se ao meridiano central de cada fuso um fator de redução de escala igual a 0,9996, para minimizar as variações de escala dentro do fuso. Como conseqüência, existem duas linhas aproximadamente retas, uma a leste e outra a oeste, distantes cerca de 1° 37' do meridiano central, representadas em verdadeira grandeza;
- Apesar da característica "universal" de projeção, enfatiza-se que o elipsóide de referência varia em função da região da superfície terrestre.

4 O que é um Modelo de Elipsóide e para que serve?

Um elipsóide é uma figura geométrica tridimensional obtida pela rotação de uma elipse plana sobre um seu eixo menor, também conhecida por elipse de revolução.



A Terra pode ser considerada aproximadamente esférica ou elíptica, dado que é ligeiramente mais achatada nos pólos e mais larga no equador. Mas na verdade, a Terra possui uma forma única, só sua, denominada **geóide**, que é definido pela superfície do nível médio dos mares, prolongado sob os continentes. Assim, ele está ora acima, ora abaixo da superfície definida como superfície terrestre, tal como consideramos usualmente. Em cada ponto do geóide, a linha de prumo é sempre perpendicular ao geóide. Esta propriedade faz do geóide uma referência natural para medir alturas. A significância do geóide para o mapeamento e a cartografia é efetiva, uma vez que todas as observações na Terra são realizadas sobre o geóide.



Para algumas finalidades, como a astronomia e o estudo de pequenas áreas, a aproximação da forma da terra para uma esfera é válida e facilita os cálculos. Na astronomia porque a “área de estudo” é muito grande e a terra torna-se quase um ponto, bastando para tanto que seja considerada como um círculo

para os cálculos necessários. No caso de áreas pequenas, como um município, a curvatura da Terra não influencia as distâncias, podendo se considerar a área como plana. Entretanto, topógrafos, hidrólogos, geodestas e profissionais que trabalham com grandes extensões de terra necessitam de uma descrição mais precisa da forma da Terra. A descrição matemática do geóide não é muito simples devido à irregularidade da Terra e ao seu campo gravitacional. Por isso, formas geométricas mais elementares foram sugeridas para se aproximar o geóide, como o **elipsóide de revolução**.

Por diferentes razões (técnicas, históricas, políticas, econômicas), cada país tem utilizado um determinado elipsóide. A relação abaixo mostra alguns dos mais de 50 elipsóides existentes no mundo:

Nome	Data	Eixo maior	Eixo menor	Foco	Utilização
Delambre	1810	6376428	6355598	1/311,5	Bélgica
Everest	1830	6377276	6356075	1/300,80	Índia, Burma
Bessel	1841	6377997	6356079	1/299,15	Europa Central e Chile
Airy	1849	6377563	6356257	1/299,32	Inglaterra
Clarke	1866	6378208	6356584	1/294,98	USA
Hayford	1924	6378388	6356912	1/297,0	Mundial
Krasovsky	1940	6378245	6356863	1/298,30	Rússia
União Astronômica Internacional Referência 1967	1967	6378160	6356715	1/298,25	Brasil e América do Sul
WGS 84	1984	6378185	6356???	1/298,26	Mundial Levantamento de satélites

No Brasil, inicialmente, adotou-se o elipsóide de Hayford, cujas dimensões foram consideradas as mais convenientes para a América do Sul. Atualmente, no entanto, utiliza-se com mais freqüência o elipsóide da União Astronômica Internacional, homologado em 1967 pela Associação Internacional de Geodésia, e que passou a se chamar elipsóide de Referência. A tabela a seguir ilustra os parâmetros dos dois elipsóides.

Elipsóide	Raio Equador R(m)	Raio Polar r(m)	Achatamento
União Astronômica Internacional	6.378.160,00	6.356.776,00	1/298,25
Hayford	6.378.388,00	6.366.991,95	1/297

Para realizar cálculos planimétricos e aplicar as projeções cartográficas a fim de representar a terra num plano, é preciso definir a forma da Terra, que fica, então, definida pelo elipsóide de revolução adotado.

5 O que é Datum?

Definido o elipsóide de revolução que representará a forma da Terra, o próximo passo para aplicar a projeção cartográfica e poder representar a Terra num plano é definir os parâmetros de amarração do elipsóide à superfície terrestre.

Estes parâmetros consistem no datum. Para a definição do datum escolhe-se um ponto mais ou menos central em relação à área de abrangência do datum.

Existem dois tipos:

- O que melhor se adapta à forma do geóide na totalidade - **datum global**
- O que melhor se adapta à forma do geóide numa região - **datum local**

O datum tem menor distorção quanto mais perto do ponto de tangência com o elipsóide forem realizadas as medições. Neste ponto de tangência, a distorção é nula.

Os data podem ser:

- **Topocêntricos** - a origem situa-se num ponto da superfície terrestre. Usa um sistema astronômico local no ponto de origem e um sistema fixo ao elipsóide.
- **Geocêntricos** - a origem está próxima do centro de massa da terra. Usa um vetor de translação e três ângulos de rotação.

O elipsóide de Hayford utilizava o Datum Córrego Alegre (MG). Atualmente, o elipsóide de Referência (da UAI - 1967) utiliza o Datum SAD-69.

- Córrego Alegre - MG
Latitude: 19° 45' 41,34" S
Longitude: 48° 06' 07,08" W
- SAD 69
Latitude: 19° 45' 41,6527" S
Longitude: 48° 06' 04,0639" W
Azimute de Uberaba: 271° 30' 04,05"

Para caracterizar um datum utiliza-se uma superfície de referência e uma superfície de nível.

Uma superfície de referência (*datum horizontal*) consiste em cinco valores: a latitude e longitude de um ponto inicial, o azimute de uma linha que parte deste ponto e duas constantes necessárias para definir o elipsóide de referência. Assim, forma-se a base para o cálculo dos levantamentos de controle horizontal no qual considera-se a curvatura da Terra.

A superfície de nível (*datum vertical*) refere-se às altitudes.

O mapa utilizado deve indicar estas informações.

6 O que é Paralelo Padrão ou Latitude Reduzida?

É aquela latitude onde as deformações são nulas, isto é, a escala é verdadeira. A partir desse paralelo, as deformações vão aumentando progressivamente sobre os paralelos e sobre os meridianos, com valores desiguais.

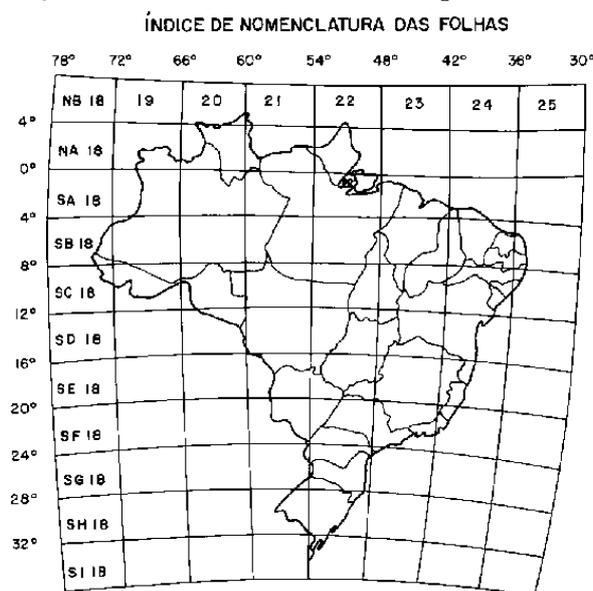
Utiliza-se o paralelo padrão como linha de controle no cálculo de uma projeção cartográfica. Definindo-se o paralelo padrão por um cone tangente à Terra,

este será único, como na projeção Mercator. Se o cone for secante à Terra, serão dois paralelos padrão, como na projeção cônica de Albers.

O mapa que o usuário for utilizar deverá conter esta informação.

7 O que é Longitude e Latitude de Origem?

Representa-se a longitude de origem por uma linha reta, que constitui o eixo de simetria, no sentido vertical. A definição de longitude de origem depende da projeção utilizada pelo usuário. A longitude de origem para a projeção UTM corresponde ao meridiano central de um fuso (a cada 6° define-se um fuso), ou seja, o meridiano central de uma carta ao milionésimo. A figura a seguir apresenta a distribuição das cartas 1:1.000.000 para o Brasil.



Para saber a longitude de origem, o usuário deve localizar a área de interesse na figura e verificar a que fuso ela pertence. O meridiano central corresponderá à longitude de origem. Leme, por exemplo, situada a 22° S e 47° W, encontra-se no fuso de 42° a 48°, logo, sua longitude de origem é 45° W.

Para a projeção Gauss, a longitude de origem para o Brasil equivale aos limites das cartas ao milionésimo. Para verificar estes valores sugere-se o uso da figura apresentada anteriormente.

A latitude de origem refere-se ao paralelo padrão mais próximo à região de interesse. Dependendo da projeção utilizada pelo usuário, define-se ou não latitude de origem. O mapa conterá este valor.

A projeção policônica, por exemplo, apresenta mais de dois paralelos padrão. Define-se entre estes o mais próximo da região de interesse, que será a latitude de origem.

8 O que é escala?

É a relação que se estabelece entre as dimensões de um elemento representado em um mapa e suas dimensões reais, sobre a superfície da

Terra. A escala é uma informação obrigatória para qualquer mapa e geralmente é representada por uma escala numérica. As escalas numéricas ou fracionárias constituem frações, cujos denominadores representam as dimensões reais e os numeradores, as que lhes correspondem no mapa. Indica-se da seguinte forma: 1:50.000 ou 1/50.000.

A escala de 1:50.000, por exemplo, indica que uma unidade de medida no mapa equivale a 50.000 unidades da mesma medida sobre o terreno. Assim, 1 cm, no mapa, corresponde a 50.000 cm (ou 500 m) no terreno.

GEOPROCESSAMENTO

1 O que é Geoprocessamento?

É o conjunto de tecnologias voltado para a manipulação de informações espaciais, mediante o uso de sistemas específicos chamados Sistemas de Informação Geográfica (SIG), visando objetivos específicos. Envolve desde a etapa de coleta dos dados, passando pela manipulação dos mesmos, até a saída na forma de mapas, relatórios, tabelas, entre outros.

2 O que são informações espaciais?

São dados referenciados geograficamente (ou georreferenciados). Podem ser mapas, cartas topográficas, imagens de satélite, entre outros, desde que cada ponto esteja associado a uma coordenada geográfica.

3 O que é um SIG?

SIG é um sistema computacional de suporte à decisão, que processa dados geográficos e não geográficos (alfanuméricos) com ênfase em análises e modelagens de superfícies.

A criação de mapas em diferentes escalas, projeções e cores é apenas um resultado final possível. A grande vantagem é permitir a identificação das relações espaciais entre características geográficas representadas em mapas.

Em um SIG realiza-se desde a etapa de captura e armazenamento dos dados originais, passando pelo processamento, manipulação, modelagem e gerenciamento, para finalizar com a análise espacial e exibição dos dados finais, agora modificados, permitindo uma interpretação diferenciada na solução, planejamento e gerenciamento de diversos problemas.

Um SIG interliga várias bases de dados distintas, usando as características comuns entre elas, formando uma única base de dados que permite responder a perguntas do tipo:

- (Localização) O que existe em ... ?
- (Condição) Onde se localiza ?
- (Tendência) O que se alterou desde ... ?
- (Padrão) Qual o padrão espacial... ?
- (Modelagem) O que pode acontecer se ...?

O aspecto mais fundamental dos dados tratados em um SIG é a natureza dual da informação: um dado geográfico possui uma *localização geográfica* (expressa como coordenadas em um mapa) e *atributos descritivos* (alfanuméricos, que podem ser representados num banco de dados convencional). Outro aspecto muito importante é que os dados geográficos não existem sozinhos no espaço. Tão importante quanto localizá-los, é descobrir e representar as relações entre eles.

Algumas definições para facilitar a compreensão:

"Um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas" (Cowen, 1988)

"Um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados" (Aronoff, 1989)

"Conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real" (Burrough, 1986)

"Um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais" (Smith et al, 1987)

4 Quais as aplicações de um SIG?

Ferramenta para produção de mapas;

Suporte para análise espacial de fenômenos;

Banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

5 O que caracteriza um SIG?

O fato de integrar numa única base de dados informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo, de cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno para uma análise integrada. Oferece mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, para consultar, recuperar e visualizar o conteúdo da base de dados e gerar mapas.

6 Qual a estrutura de um SIG?

Um SIG tem os seguintes componentes:

- Interface com usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de processamento gráfico e de imagens;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

A interface com usuário define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída). No nível mais interno do sistema deve oferecer armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos.

7 O que é um Banco de Dados Geográfico?

É um banco de dados não convencional, onde cada dado espacial possui atributos descritivos e uma representação geométrica no espaço. Os dados disponíveis no banco podem ser manipulados por métodos de processamento de imagens e de análise espacial.

8 O que é análise espacial?

Processos de análise espacial tratam dados geográficos que possuem uma localização geográfica (expressa como coordenadas geográficas) e atributos descritivos (que podem ser representados num banco de dados convencional).

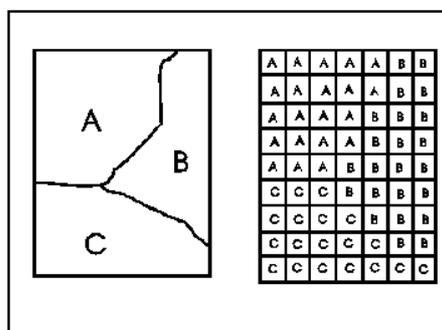
9 Quais tipos de dados são tratados?

Dados de diversas fontes e formatos, com relações espaciais entre si (topologia). Os dados espaciais podem ser genericamente separados em mapas temáticos, mapas cadastrais (mapas de objetos), redes, imagens e modelos numéricos de terreno.

10 O que são mapas temáticos?

Contêm regiões geográficas definidas por um ou mais polígonos, como mapas de uso do solo e a aptidão agrícola de uma região. Armazena na forma de arcos (limites entre regiões), incluindo os nós (pontos de interseções entre arcos) para montar uma representação topológica.

Pode ser armazenado no formato matricial ("raster") ou vetorial. Para a conversão do formato vetorial para o matricial, a área correspondente ao mapa é dividida em células de tamanho fixo. Cada célula terá um valor correspondente ao tema mais freqüente naquela localização.



11 Representação vetorial e matricial de um mapa temático

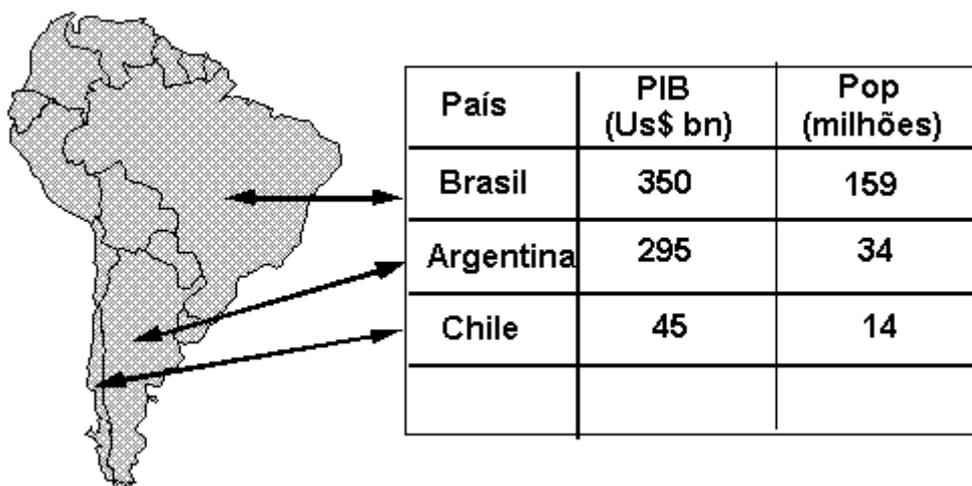
Comparação entre formatos para mapas temáticos:

Aspecto	Formato Vetorial	Formato Matricial
Relações espaciais entre objetos	Relacionamentos topológicos entre objetos disponíveis	Relacionamentos espaciais devem ser inferidos
Ligação com banco de dados	Facilita associar atributos a elementos gráficos	Associa atributos apenas a classes do mapa
Análise, Simulação e Modelagem	Representação indireta de Fenômenos contínuos Álgebra de mapas é limitada	Representa melhor fenômenos com variação contínua no espaço, Simulação e modelagem mais fáceis
Escalas de trabalho	Adequado tanto a grandes quanto a pequenas escalas	Mais adequado para pequenas escalas (1:25,000 e menores)
Algoritmos	Problemas com erros geométricos	Processamento mais rápido e eficiente
Armazenamento	Por coordenadas (mais eficiente)	Por matrizes

12 O que são mapas cadastrais ou mapas de objetos?

Ao contrário de um mapa temático, cada elemento é um objeto geográfico que possui atributos e pode estar associado a várias representações gráficas. Por exemplo, os lotes de uma cidade são elementos do espaço geográfico que

possuem atributos (dono, localização, valor venal, IPTU devido, etc.) e que podem ter representações gráficas diferentes em mapas de escalas distintas. A parte gráfica dos mapas cadastrais é armazenada em forma de coordenadas vetoriais, com a topologia associada. Não é usual representar estes dados na forma matricial.



Exemplo de mapa cadastral (países da América do Sul).

13 O que são redes?

Redes são compostas por informações associadas a serviços de utilidade pública, como água, luz e telefone, redes de drenagem (bacias hidrográficas) ou malha viária. Cada objeto geográfico (por exemplo, um cabo telefônico ou um cano de água) possui uma localização geográfica exata e está associado a atributos descritivos, presentes no banco de dados. As informações gráficas de redes são armazenadas em coordenadas vetoriais, com topologia arco-nó: os arcos têm um sentido de fluxo e os nós têm atributos (podem ser fontes ou sorvedouros). A topologia de redes constitui um grafo, armazenando informações sobre recursos que fluem entre localizações geográficas distintas.

Elementos de Rede

Cada aplicação de rede tem características próprias e com alta dependência cultural. A ligação com banco de dados é fundamental. Como os dados espaciais têm formatos relativamente simples, a maior parte do trabalho consiste em realizar consultas ao banco de dados e apresentar os resultados de forma adequada. O pacote mínimo disponível nos sistemas comerciais consiste de cálculo de caminho ótimo e crítico. Este pacote básico é insuficiente para a realização da maioria das aplicações porque cada usuário tem necessidades distintas. No caso de um sistema telefônico, uma questão pode ser: "Quais são os telefones servidos por uma dada caixa terminal?". Já para uma rede de água, pode-se perguntar: "Se injetarmos uma dada percentagem de cloro na caixa d'água de um bairro, qual a concentração final nas casas?" Um sistema de modelagem de redes só terá utilidade para o cliente depois de devidamente adaptado para as suas necessidades, o que pode levar vários anos. Isto impõe uma característica básica para esta aplicação: os sistemas devem ser versáteis e maleáveis.

14 O que são imagens?

São representações espaciais da radiação eletromagnética refletida ou emitida pela superfície terrestre, ponto a ponto, obtidas por meio de satélites, fotografias aéreas ou "scanners" aerotransportados. As imagens são armazenadas como matrizes, onde cada ponto da imagem (denominado "pixel") tem um valor proporcional à radiância da superfície na área imageada. Para individualizar os objetos geográficos contidos na imagem é necessário recorrer às técnicas de fotointerpretação e/ou de classificação digital. As principais características das imagens de satélite foram expostas na Pergunta 9 do Item "Sensoriamento Remoto".

15 O que são modelos numéricos de terreno?

Um Modelo Numérico de Terreno (MNT) significa a representação de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Geralmente são associados à altimetria, entretanto podem ser utilizados para modelar outros fenômenos de variação contínua, como teor de minerais no solo, batimetria, entre outros.

Um MNT pode ser representado de duas formas:

- *Grades regulares*: matriz de elementos com espaçamento fixo, onde é associado o valor estimado da grandeza na posição geográfica de cada ponto da grade.
- *Malhas triangulares*: a grade é formada pela conexão dos pontos amostrais do fenômeno, distribuídos aleatoriamente, utilizando a triangulação de Delaunay (sujeita a restrições).

Comparação entre grades retangulares e triangulares:

	Grade triangular	Grade regular
<i>Vantagens</i>	Melhor representação de relevo complexo Incorporação de restrições como linhas de crista	Facilita manuseio e conversão Adequada para geofísica e visualização 3D
<i>Problemas</i>	Complexidade de manuseio Inadequada para visualização 3D	Representação relevo complexo Cálculo de declividade

16 Quais as aplicações de Geoprocessamento?

- Relatórios de Impacto Ambiental (EIA/RIMA)
- Monitoramento do desmatamento de grandes ecossistemas (Amazônia, Mata Atlântica)
- Manejo florestal
- Planejamento e acompanhamento agrícola
- Construção de rodovias, ferrovias, hidroelétricas, etc.
- Planejamento urbano
- Suporte à extração mineral
- Manejo pesqueiro