AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA

AEB ESCOLA
Viaje nesta idéia!

FORMAÇÃO CONTINUADA DE PROFESSORES

CURSO ASTRONÁUTICA
E CIÊNCIAS DO ESPAÇO

SENSORIAMENTO REMOTO

Angélica Di Maio (UFF)
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff (INPE)
Elisabete Caria Moraes (INPE)
Gabriel Pereira (INPE)
Mauricio Alves Moreira (INPE)
Tania Maria Sausen (INPE)
Teresa Gallotti Florenzano (INPE)

Universidade Federal Fluminense
SEDF
INPE
AEB Agência Espacial Brasileira
Ministério da Educação
Ministério da Ciência e Tecnologia
BRASIL UM PAÍS DE TODOS GOVERNO FEDERAL

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT)
AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA (AEB)

PROGRAMA AEB ESCOLA
FORMAÇÃO CONTINUADA DE PROFESSORES
CURSO ASTRONÁUTICA E CIÊNCIAS DO ESPAÇO

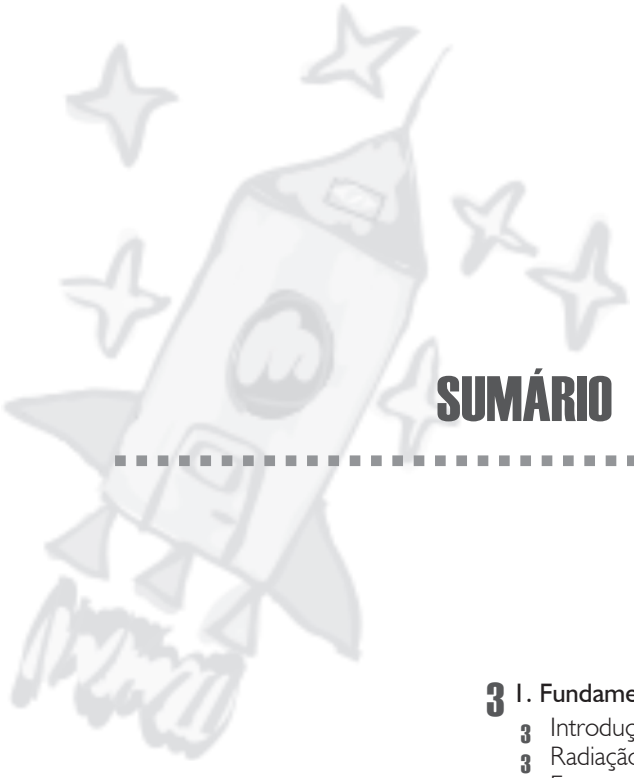
SENSORIAMENTO REMOTO

Autores
Angélica Di Maio (UFF)
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff (INPE)
Elisabete Caria Moraes (INPE)
Gabriel Pereira (INPE)
Mauricio Alves Moreira (INPE)
Tania Maria Sausen (INPE)
Teresa Gallotti Florenzano (INPE)

Projeto Gráfico e Diagramação
Sueli Prates

Capa
Leonardo Nemer

- Edição 2008 -



SUMÁRIO

3 1. Fundamentos de Sensoriamento Remoto
- 3 Introdução
- 3 Radiação Eletromagnética
- 5 Espectro Eletromagnético
- 7 Atenuação da Atmosfera
- 10 Comportamento Espectral de Objetos Naturais
- 12 Bibliografias Recomendadas

13 2. Sistemas Sensores
- 13 Sensores Remotos
- 15 Níveis de Aquisição de Dados
- 16 Referências Bibliográficas

17 3. Satélites e História do Sensoriamento Remoto
- 17 Introdução
- 19 Satélites
- 20 Satélites voltados à coleta de dados sobre a Terra e o ambiente
- 22 Programa Brasileiro de Satélites de Coleta de Dados
- 23 Satélites de Observação da Terra ou de Recursos Naturais
- 24 Principais Satélites de Recursos Naturais
- 27 Satélites equipados com sensores de Alta resolução Espacial
- 28 Satélite Brasileiro de Recursos Naturais - CBERS
- 30 Satélites com Sistemas Sensores Ativos
- 30 Programa RADARSAT
- 31 O Programa JERS
- 32 Referências Bibliográficas

33 4. Características das Imagens de Sensores Remotos
- 33 Introdução
- 34 Característica Espectral
- 35 Característica Espacial
- 37 Característica Temporal
- 38 Característica Espacial versus Temporal
- 39 Imagens adquiridas no Brasil
- 39 Dados de Espectrorradiômetro
- 40 Bibliografias Recomendadas

41 5. Interpretação de Imagens
- 45 Bibliografias Recomendadas

47 6. Aplicações de Sensoriamento Remoto
- 49 Níveis de Coleta de Dados
- 50 Aplicações em Agropecuária
- 51 Detecção e Monitoramento de Queimadas
- 53 Detecção e Monitoramento de Desmatamento

54 Aplicações na Área de Saúde Pública
55 Outras Aplicações
56 Meteorologia por Satélite
57 Referências Bibliográficas

59 7. O uso do Sensoriamento Remoto como Recurso Didático
62 Livros e CD-Rom
63 Referências Bibliográficas

65 8. Atividades de Sensoriamento Remoto
66 (A) Atividades sobre conceitos básicos de sensoriamento remoto
70 (B) Atividades sobre aplicações de sensoriamento remoto
72 (C) Roteiro para interpretar a imagem CBERS de Brasília
73 Homepages com imagens de satélites grátis

75 Autores
75 Angélica Di Maio (UFF)
75 Bernardo Friedrich Theodor Rudorff (INPE)
76 Elisabete Caria Moraes (INPE)
76 Mauricio Alves Moreira (INPE)
77 Tania Maria Sausen (INPE)
78 Teresa Gallotti Florenzano (INPE)

1. FUNDAMENTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Elisabete Caria Moraes
DSR/INPE
bete@dsr.inpe.br

Introdução

O Sensoriamento Remoto pode ser entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os mesmos. Estas atividades envolvem a detecção, aquisição e análise (interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos. A energia eletromagnética utilizada na obtenção dos dados por sensoriamento remoto é também denominada de radiação eletromagnética.

A quantidade e qualidade da energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres resultam das interações entre a energia eletromagnética e estes objetos. Essas interações são determinadas pelas propriedades físico-químicas e biológicas desses objetos e podem ser identificadas nas imagens e nos dados de sensores remotos. Portanto, a energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres é a base de dados para todo o processo de sua identificação. Ela permite quantificar a energia espectral refletida e/ou emitida por estes, e assim avaliar suas principais características. Logo, os sensores remotos são ferramentas indispensáveis para a realização de inventários, de mapeamento e de monitoramento de recursos naturais.

Radiação Eletromagnética

A energia eletromagnética é emitida por qualquer corpo que possua temperatura acima de zero grau absoluto (0 Kelvin). Desta maneira, todo corpo com uma temperatura absoluta acima de zero pode ser considerado como uma fonte de energia eletromagnética.

O Sol e a Terra são as duas principais fontes naturais de energia eletromagnética utilizadas no sensoriamento remoto da superfície terrestre. A energia solar que alcança a atmosfera e superfície terrestre dirige quase todos os ciclos físicos e biológicos do sistema terra-atmosfera de nosso planeta. A energia eletromagnética não precisa de um meio material para se propagar, sendo definida como

uma energia que se move na forma de ondas eletromagnéticas à velocidade da luz (c = 300.000 *Km/s*, onde "*c*" é a velocidade da luz.).

A distância entre dois pontos semelhantes, como mostra a Figura 1.1, define o comprimento de onda, o número de ondas que passa por um ponto do espaço num determinado intervalo de tempo e a freqüência da radiação eletromagnética.

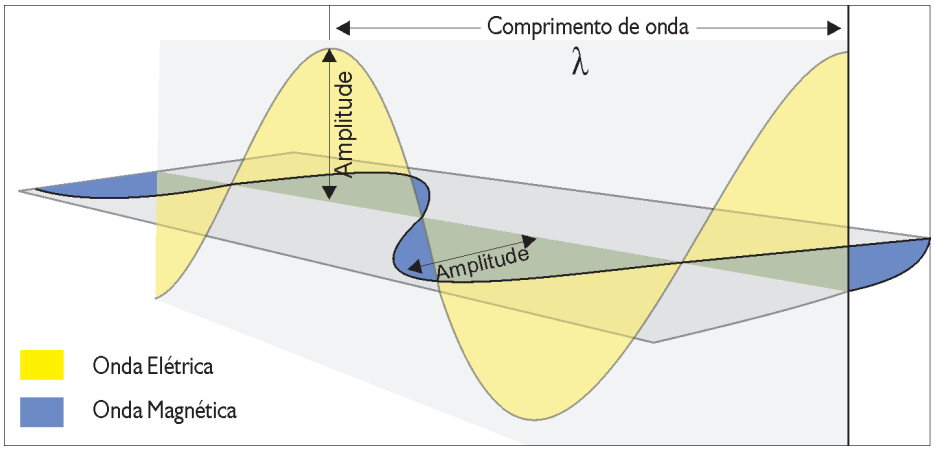


Figura 1.1. Comprimento de onda.

Dado que a velocidade de propagação da onda eletromagnética é diretamente proporcional à sua freqüência e comprimento de onda, esta pode ser expressa por:

$$c = f.\lambda$$

onde:

c = velocidade da luz (m/s)

f = freqüência (ciclo/s ou Hz)

λ = comprimento de onda (m)

A quantidade de energia (Q) emitida, transferida ou recebida na forma de energia eletromagnética, está associada a cada comprimento de onda ou freqüência e é definida por:

$$Q = h.f = \frac{h}{\lambda}$$

onde "h" é a constante de Planck (6,625 10^{-34} Joule segundo (J.s)) e a unidade que quantifica esta energia é dada em Joule (J). Por meio desta equação verifica-se que quanto maior a quantidade de energia, maior será a freqüência ou menor será o comprimento de onda a ela associada e vice-versa.

Devido à ordem de grandeza destas variáveis é comum utilizar unidades submúltiplas do metro (micrômetro: 1 μm = 10^{-6} m, nanômetro: 1 nm = 10^{-9} m) para comprimento de onda e múltiplas do Hertz (quilohertz: 1 kHz = 10^{3} Hz, megahertz: 1 mHz = 10^{6} Hz) para freqüência.

Espectro Eletromagnético

A energia eletromagnética pode ser ordenada de maneira contínua em função de seu comprimento de onda ou de sua freqüência, sendo esta disposição denominada de espectro eletromagnético. Este apresenta subdivisões de acordo com as características de cada região. Cada subdivisão é função do tipo de processo físico que dá origem a energia eletromagnética, do tipo de interação que ocorre entre a radiação e o objeto sobre o qual esta incide, e da transparência da atmosfera em relação à radiação eletromagnética. O espectro eletromagnético se estende desde comprimentos de onda muito curtos associados aos raios cósmicos, até as ondas de rádio de baixa freqüência e grandes comprimentos de onda, como mostra a Figura 1.2.

À medida que se avança para a direita do espectro eletromagnético as ondas apresentam maiores comprimentos de onda e menores freqüências. A faixa espectral mais utilizada em sensoriamento remoto estende-se de 0,3 μm a 15 μm, embora a faixa de microondas também é utilizada.

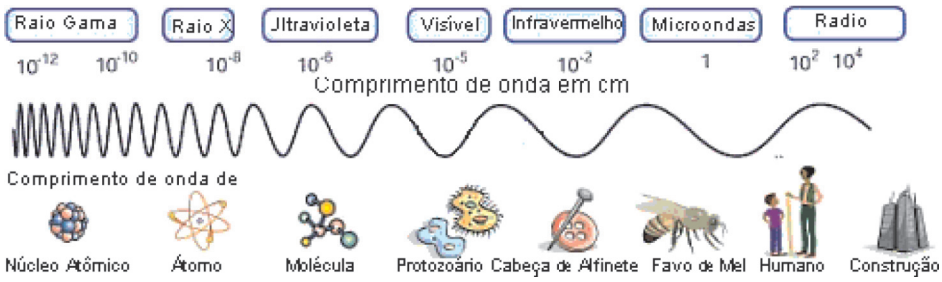


Figura 1.2. O espectro eletromagnético.
Fonte: http://imagers.gsfc.nasa.gov/ems/waves3.html

Pode-se observar na Figura 1.2 a existência das seguintes regiões:

Radiação Gama: é emitida por materiais radioativos e, por ser muito penetrante (alta energia), tem aplicações em medicina (radioterapia) e em processos industriais (radiografia industrial).

Raio X: é produzido através do freamento de elétrons de grande energia eletromagnética. Seu médio poder de penetração o torna adequado para uso médico (raio X) e industrial (técnicas de controle industrial).

Ultravioleta (UV): é produzida em grande quantidade pelo Sol, sendo emitida na faixa de 0,003 μm até aproximadamente 0,38μm. Seu poder de penetração a torna nociva aos seres vivos, porém esta energia eletromagnética é praticamente toda absorvida pela camada de ozônio atmosférico.

Visível (luz): é o conjunto de radiações eletromagnéticas que podem ser detectadas pelo sistema visual humano. A sensação de cor que é produzida pela luz está associada a diferentes comprimentos de ondas, conforme a distribuição de cores apresentada na Figura 1.3.

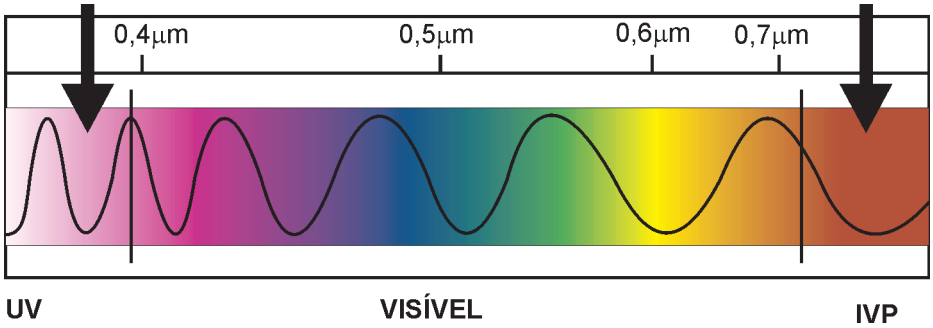


Figura 1.3. Distribuição de cores do espectro visível.

A Tabela 1 apresenta os intervalos espectrais associados às cores percebidas pelo ser humano.

TABELA 1 – ASSOCIAÇÃO ENTRE CORES E COMPRIMENTO DE ONDA

COR	INTERVALO DE COMPRIMENTO DE ONDA (μm)	COMPRIMENTO DE ONDA TÍPICO (μm)
Violeta	0,390 -0,455	0,430
Azul Escuro	0,455-0,485	0,470
Azul claro	0,485-0,505	0,495
Verde	0,505-0,550	0,530
Amarelo-Verde	0,550-0,575	0,560
Amarelo	0,575-0,585	0,580
Laranja	0.585-0,620	0,600
Vermelho	0,620-0,700	0,640

Infravermelho (IV): é a região do espectro que se estende de 0,7 a 1000 μm e costuma ser dividida em três sub-regiões:

IV próximo: 0,7 a 1,3 μm

IV médio: 1,3 a 6 μm

IV distante: 6 a 1000 μm

A energia eletromagnética no intervalo espectral correspondente ao infravermelho próximo é encontrada no fluxo solar ou mesmo em fontes convencionais de iluminação (lâmpadas incandescentes), enquanto as energias eletromagnéticas correspondentes ao intervalo espectral do infravermelho médio e distante (também denominadas de radiação termal) são provenientes da emissão eletromagnética de objetos terrestres. Na Figura 1.4 é apresentada uma imagem no infravermelho termal de um ser humano. Foram atribuídas cores falsas que indicam as diferentes temperaturas dele. A variação do azul para o vermelho representa o gradiente de temperatura mais baixa para temperatura mais alta.

Figura 1.4. Imagem termal de um homem.
Fonte: http://imagers.gsfc.nasa.gov/ems/infrared.html

Microondas: são radiações eletromagnéticas produzidas por sistemas eletrônicos (osciladores) e se estendem pela região do espectro de 1mm até cerca de 1m, o que corresponde ao intervalo de freqüência de 300 GHz a

300 MHz. Os feixes de microondas são emitidos e detectados pelos sistemas de radar (*radio detection and ranging*).

Radio: é o conjunto de energias de freqüência menor que 300 MHz (comprimento de onda maior que 1m). Estas ondas são utilizadas principalmente em telecomunicações e radiodifusão.

Algumas regiões do espectro eletromagnético têm denominações que indicam alguma propriedade especial, como por exemplo:

Espectro óptico: refere-se à região do espectro eletromagnético (ultravioleta, visível e infravermelho) que compreende as energias que podem ser coletadas por sistemas ópticos.

Espectro solar: refere-se à região espectral que compreende os tipos de energia emitidos pelo Sol. Cerca de 99% da energia solar que atinge a Terra encontra-se concentrada na faixa de 0,28 a 4 μm. Cerca de 9% da energia solar está concentrada nas regiões do ultravioleta, 45% na região do visível e 45% na região do infravermelho próximo e médio.

Espectro visível: refere-se ao conjunto das energias eletromagnéticas percebido pelo sistema visual humano, também denominado de luz.

Espectro termal*:* refere-se ao conjunto das energias eletromagnéticas emitidas pelos objetos terrestres e encontra-se nos intervalos espectrais correspondentes ao infravermelho médio e distante.

Quando consideramos o Sol como fonte de energia eletromagnética (ou fonte de iluminação) os sensores detectam a energia refletida pelos objetos terrestres, portanto o sensoriamento remoto é realizado na faixa do espectro solar. Quando a Terra atua como fonte de energia eletromagnética os sensores detectam a energia emitida pelos corpos terrestres, portanto o sensoriamento remoto é realizado na faixa do espectro termal. Esta distinção torna possível o tratamento separado desses dois tipos de energia eletromagnética, facilitando a análise da energia radiante.

Atenuação da Atmosfera

A energia eletromagnética ao atravessar a atmosfera terrestre pode ser absorvida, refletida e espalhada. Os gases presentes na atmosfera apresentam capacidade de absorção muito variáveis em relação ao comprimento de onda da energia solar incidente no sistema terra-atmosfera e da energia emitida pela superfície terrestre. Existem regiões do espectro eletromagnético para os quais a atmosfera absorve muito da energia incidente no topo da atmosfera, às vezes não deixando chegar quase nada de energia na superfície terrestre. A interação da atmosfera com a energia eletromagnética pode ser comparada com o efeito de uma cortina em relação à energia solar. A cortina age como um filtro e, dependendo de seu tecido, atenua ou, até mesmo, impede a passagem da luz. Os vários tipos de tecidos da cortina podem ser comparados

com os diversos gases existentes na atmosfera terrestre, os quais atenuam a energia eletromagnética de maneira distinta.

A Figura 1.5 mostra a distribuição do espectro de energia eletromagnética do Sol no topo da atmosfera e na superfície terrestre observada ao nível do mar. As áreas sombreadas representam as absorções devido aos diversos gases presentes numa atmosfera limpa. Os principais gases absorvedores da radiação eletromagnética são vapor d'água (H_2O), oxigênio (O_2), ozônio (O_3) e gás carbônico (CO_2). Os gases CO, CH_4, NO e N_2O ocorrem em pequenas quantidades e também exibem espectros de absorção.

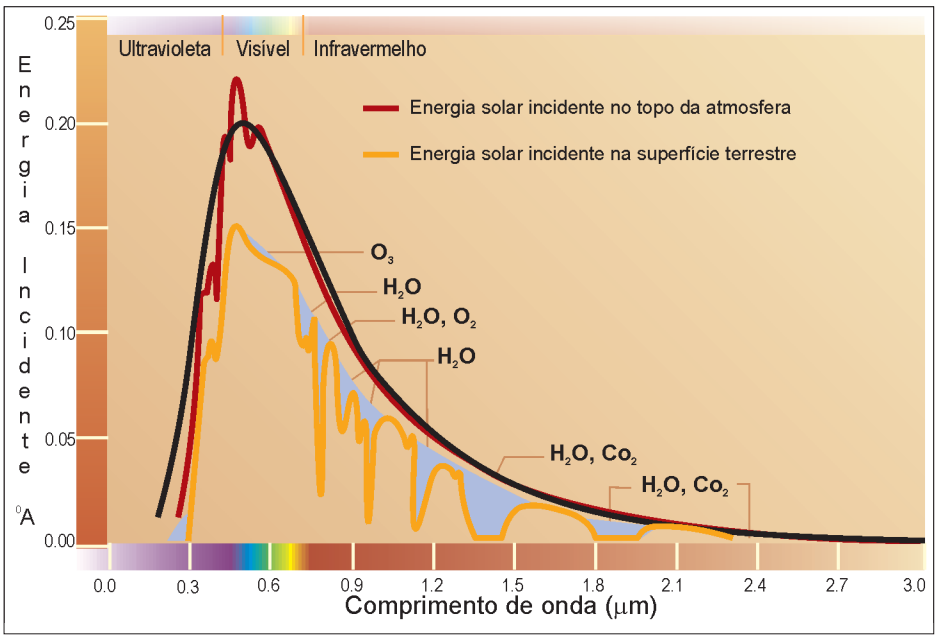


Figura 1.5. Curvas da distribuição espectral da energia solar na atmosfera/ superfície terrestre.
Fonte: http://imagers.gsfc.nasa.gov/ems/gamma.html

Cerca de 70% da energia solar está concentrada na faixa espectral compreendida entre 0,3 e 0,7 μm e como a atmosfera absorve muito pouco nesta região, grande parte da energia solar atinge a superfície da Terra. Também existem regiões no espectro eletromagnético para os quais a atmosfera é opaca (absorve toda a energia eletromagnética). Na região do ultravioleta e visível, o principal gás absorvedor da energia eletromagnética solar é o ozônio (O_3), o qual protege a Terra dos raios ultravioletas que são letais a vida vegetal e animal. Na região do infravermelho os principais gases absorvedores são o vapor d'água (H_2O) e o dióxido de carbono (CO_2).

Existem regiões do espectro eletromagnético onde a atmosfera quase não afeta a energia eletromagnética, isto é, a atmosfera é transparente à energia eletromagnética proveniente do Sol ou da superfície terrestre. Estas regiões são conhecidas como janelas atmosféricas. Nestas regiões são colocados os detectores de energia eletromagnética e, portanto, onde é realizado o sensoriamento remoto dos objetos terrestres. A Figura 1.6 apresenta as janelas atmosféricas e as regiões afetadas pelos principais gases atmosféricos radiativamente ativos dentro do espectro solar e infravermelho.

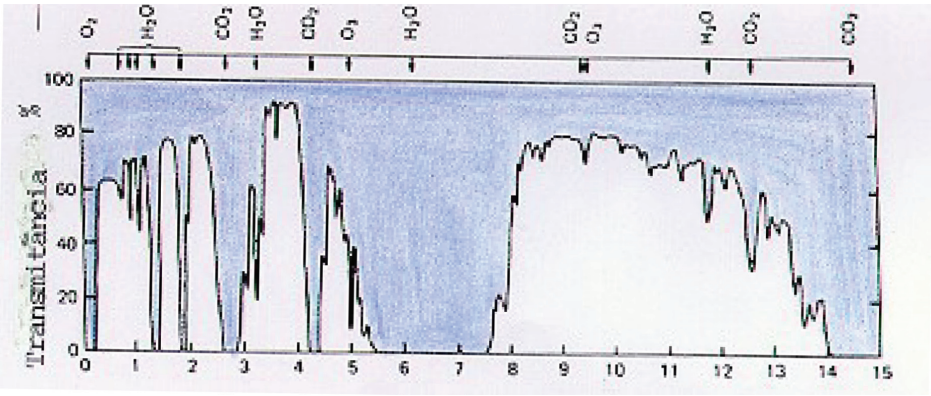


Figura 1.6. Transmitância espectral da atmosfera.

A atmosfera quase não absorve a energia eletromagnética emitida pelos objetos que compõem a superfície terrestre, com exceção de uma pequena banda de absorção do ozônio, centrada em 9,6 μm. Nesta janela atmosférica o sistema terra-atmosfera perde energia para o espaço mantendo assim o equilíbrio térmico do planeta. Essas considerações são válidas para a atmosfera limpa, pois tanto nuvens como poluentes tendem a absorver a energia eletromagnética. A nuvem absorve toda a energia na região do infravermelho, e emite a radiação eletromagnética proporcionalmente a sua temperatura. Acima de 14 μm a atmosfera é quase que totalmente opaca à energia eletromagnética, ou seja, absorve toda a energia eletromagnética com comprimentos de onda acima deste valor.

As interações da energia eletromagnética com os constituintes atmosféricos influenciam a caracterização da energia solar e terrestre disponíveis para o sensoriamento remoto de recursos naturais. A energia eletromagnética ao atingir a atmosfera é por esta espalhada, e parte desta energia espalhada retorna para o espaço, vindo a contaminar a energia refletida ou emitida pela superfície e que é detectada pelos sensores orbitais.

A Figura 1.7 mostra a interação de diversos tipos de radiação eletromagnética com os gases radiativos presentes na atmosfera e em quais alturas a atmosfera absorve praticamente todos os raios gama, X e ultravioleta proveniente do Sol e do espaço sideral. Estas radiações eletromagnéticas são absorvidas pela atmosfera antes de atingir a **tropopausa**.

Nesta figura também se observa a pequena atenuação da atmosfera à radiação solar na faixa do espectro visível, a absorção da radiação eletromagnética emitida pela terra na faixa do infravermelho e a transparência da atmosfera a energia eletromagnética na faixa das ondas de radio.

[1]A atmosfera pode ser divida em camadas, umas sobre as outras, conforme a variação da temperatura com a altitude. A camada mais baixa, onde vivemos, chama-se troposfera. Ela concentra quase 90% de todo o ar da atmosfera e vai desde o solo até uma altura que pode variar de 7 km nos pólos até pouco mais de 16 km no equador. Acima da troposfera encontra-se a estratosfera que vai do topo da troposfera até, aproximadamente 50 km de altura. A **tropopausa** é o limite entre estas duas regiões.

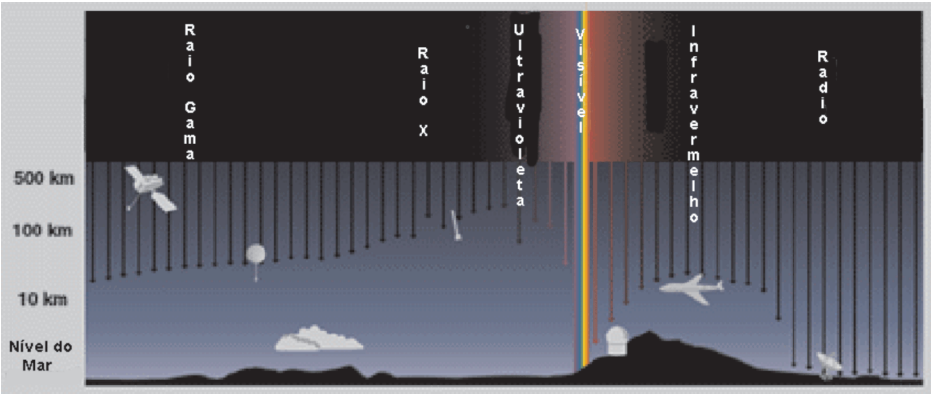


Figura 1.7. Extinção da radiação eletromagnética na atmosfera.

Comportamento Espectral de Objetos Naturais

O fluxo de energia eletromagnética ao atingir um objeto (energia incidente) sofre interações com o material que o compõe, sendo parcialmente refletido, absorvido e transmitido pelo objeto, como pode ser visto na Figura 1.8. A absorção, reflexão e transmissão da energia incidente pode ser total ou parcial, guardando sempre o princípio da conservação de energia. A capacidade de um objeto absorver, refletir e transmitir a radiação eletromagnética é denominada, respectivamente, de absortância, reflectância e transmitância, sendo que os valores variam entre 0 e 1.

O comportamento espectral de um objeto pode ser definido como sendo o conjunto dos valores sucessivos da reflectância do objeto ao longo do espectro eletromagnético, também conhecido como a assinatura espectral do objeto. A assinatura espectral do objeto define as feições deste, sendo que a forma, a intensidade e a localização de cada banda de absorção é que caracteriza o objeto.

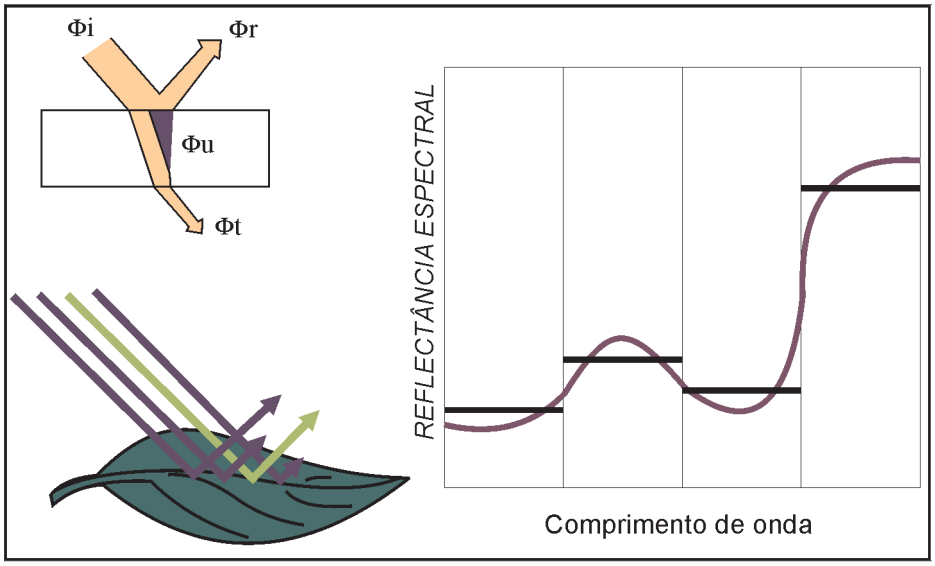


Figura 1.8. Interação da energia eletromagnética com o objeto, B (azul), G (verde) e R (vermelho).

Os objetos interagem de maneira diferenciada espectralmente com a energia eletromagnética incidente, pois os objetos apresentam diferentes propriedades físico-químicas e biológicas. Estas diferentes interações é que possibilitam a distinção e o reconhecimento dos diversos objetos terrestres sensoriados remotamente, pois são reconhecidos devido à variação da porcentagem de energia refletida em cada comprimento de onda.

A Figura 1.9 apresenta os espectros de reflectância dos objetos mais freqüentes na superfície terrestre e representados nas imagens de sensoriamento remoto como: água, solo, areia, vegetação e nuvens.

O conhecimento do comportamento espectral dos objetos terrestres é muito importante para a escolha da região do espectro sobre a qual pretende-se adquirir dados para determinada aplicação.

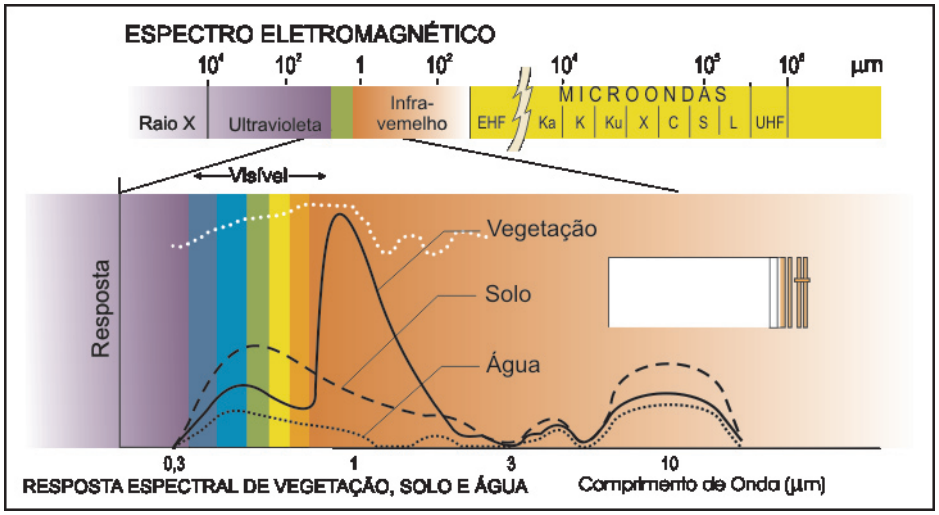


Figura 1.9. Reflectância espectral de alvos naturais.

As características básicas observadas no comportamento espectral destes objetos são:

- A **vegetação sadia** apresenta alta absorção da energia eletromagnética na região do espectro visível, que é capturada pela clorofila para a realização da fotossíntese. Dentro do espectro visível a absorção é mais fraca na região que caracteriza a coloração da vegetação. A alta reflectância no infravermelho próximo (até 1,3µm) é devido a estrutura celular, sendo que a partir deste comprimento de onda é o conteúdo de água na vegetação quem modula as bandas de absorção presentes no comportamento espectral desta.
- O comportamento espectral de **rochas** é resultante dos espectros individuais dos minerais que as compõem. Os minerais apresentam características decorrentes de suas bandas de absorção. Portanto a absorção é o principal fator que controla o comportamento espectral das rochas.
- O comportamento espectral dos **solos** é também dominado pelas bandas de absorção de seus constituintes. As combinações e arranjos dos mate-

riais constituintes dos solos é que define o seu comportamento espectral, sendo que os principais fatores são a constituição mineral, a matéria orgânica, a umidade e a granulometria (textura e estrutura) deste.

- A água pode se apresentar na natureza em três estados físicos, os quais apresentam comportamento espectral totalmente distinto. O comportamento espectral da **água líquida pura** apresenta baixa reflectância (menor do que 10%) na faixa compreendida entre 0,38 e 0,7μm e máxima absorção acima de 0,7μm. O comportamento espectral de **corpos d'água** é modulado principalmente pelos processos de absorção e espalhamento produzidos por materiais dissolvidos e em suspensão neles, pois é verificado que a presença de matéria orgânica dissolvida em corpos d'água desloca o máximo de reflectância espectral para o verde-amarelo, enquanto que a presença de matéria inorgânica em suspensão resulta num deslocamento em direção ao vermelho.
- O comportamento espectral de **nuvens** apresenta elevada reflectância (em torno de 70%), em todo o espectro óptico com destacadas bandas de absorção em 1, 1,3 e 2μm.

Com o intuito de melhor interpretar as imagens de satélites, muitos pesquisadores têm se dedicado à pesquisa fundamental, ou seja, a obtenção e a análise de medidas da reflectância dos objetos terrestres em experimento de campo e de laboratório, os quais possibilitam uma melhor compreensão das relações existentes entre o comportamento espectral dos objetos e as suas propriedades.

Bibliografias Recomendadas

MOREIRA, M.A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e metodologias** de Aplicação, 3ª ed. Viçosa: UFV, 2005, 320p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo. ed. Edgard Blücher, 1989, 308p.

STEFEEN, A. C., Moraes, E. C. **Introdução à radiometria**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, VII. Curitiba: 10-14. Maio, 1993. Tutorial São José dos Campos. INPE, 1993. 7p.

STEFEEN, A. C., Moraes, E. C., GAMA, F. F. **Radiometria óptica espectral**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, VIII. Salvador: 14-19. Abr., 1996. Tutorial São José dos Campos. INPE, 1996. 43p.

2. SISTEMAS SENSORES

Elisabete Caria Moraes
DSR/INPE
bete@dsr.inpe.br

Sensores Remotos

Os sensores remotos são dispositivos capazes de detectar a energia eletromagnética (em determinadas faixas do espectro eletromagnético) proveniente de um objeto, transformá-la em um sinal elétrico e registrá-las, de tal forma que este possa ser armazenado ou transmitido em tempo real para posteriormente ser convertido em informações que descrevem as feições dos objetos que compõem a superfície terrestre. As variações de energia eletromagnética da área observada podem ser coletadas por sistemas sensores imageadores ou não-imageadores.

Os sistemas imageadores fornecem como produto uma imagem da área observada como, por exemplo, temos os *scanners* e as câmaras fotográficas, enquanto que os sistemas não-imageadores, também denominados radiômetros ou espectrorradiômetros, apresentam o resultado em forma de dígitos ou gráficos.

Os sistemas sensores também podem ser classificados como ativos e passivos. Os sensores passivos não possuem fonte própria de energia eletromagnética como, por exemplo, os sensores do satélite LANDSAT-5, os radiômetros e espectrorradiômetros. Os sensores ativos possuem uma fonte própria de energia eletromagnética. Eles emitem energia eletromagnética para os objetos terrestres a serem imageados e detectam parte da energia que estes refletem na direção do sensor. Como exemplo podemos citar o radar e qualquer câmara fotográfica com *flash*. Os sistemas fotográficos foram os primeiros equipamentos a serem desenvolvidos e utilizados para o sensoriamento remoto de objetos terrestres

As principais partes de um sensor, ilustradas na Figura 2.1, são:

a) **coletor**: é um componente óptico capaz de concentrar o fluxo de energia proveniente da amostra no detector;

b) **filtro**: é o componente responsável pela seleção da faixa espectral da energia a ser medida;

c) **detetor**: é um componente de pequenas dimensões feito de um material cujas propriedades elétricas variam ao absorver o fluxo de energia, produzindo um sinal elétrico.

d) **processador**: é um componente responsável pela amplificação do fraco sinal gerado pelo detector e pela digitalização do sinal elétrico produzido pelo detector; e

e) **unidade de saída**: é um componente capaz de registrar os sinais elétricos captados pelo detector para posterior extração de informações.

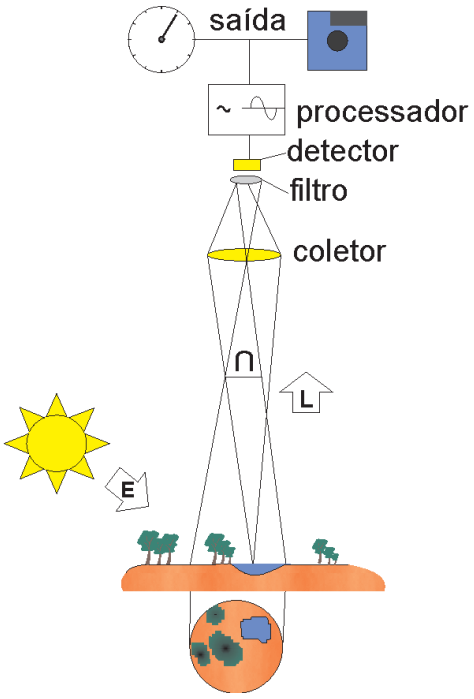


Figura 2.1. Componentes de um sensor.

A qualidade de um sensor geralmente é especificada pela sua capacidade de obter medidas detalhadas da energia eletromagnética. As características dos sensores estão relacionadas com a resolução: espacial, espectral e radiométrica.

A **resolução espacial** representa a capacidade do sensor distinguir objetos. Ela indica o tamanho do menor elemento da superfície individualizado pelo sensor. A resolução espacial depende principalmente do detector, da altura do posicionamento do sensor em relação ao objeto. Para um dado nível de posicionamento do sensor, quanto menor for a resolução geométrica deste maior será o grau de distinção entre objetos próximos. Por exemplo, o sistema sensor do *Thematic Mapper (*TM*)* do LANDSAT-5 possui uma resolução espacial de 30 metros.

A **resolução espectral** refere-se à largura espectral em que opera o sensor. Portanto, ela define o intervalo espectral no qual são realizadas as medidas, e conseqüentemente a composição espectral do fluxo de energia que atinge o detector. Quanto maior for o número de medidas num determinado intervalo de comprimento de onda melhor será a resolução espectral da coleta. Por exemplo, o LANDSAT-5 possui os sensores TM e *Multispectral Scanning System* (MSS). O sensor TM apresenta algumas bandas espectrais mais estreitas do que o sensor MSS, portanto nestas bandas o TM apresenta melhor resolução espectral do que o MSS.

A **resolução radiométrica** define a eficiência do sistema em detectar pequenos sinais, ou seja, refere-se à maior ou menor capacidade do sistema sensor em detectar e registrar diferenças na energia refletida e/ou emitida pelos elementos que compõe a cena (rochas, solos, vegetações, águas, etc). Por exemplo, o sistema sensor TM do LANDSAT-5 distingue até 256 tons distintos de sinais representando-os em 256 níveis de cinza.

Uma outra qualidade importante é a resolução temporal do sensor, que está relacionada com a repetitividade com que o sistema sensor pode adquirir informações referentes ao objeto. Por exemplo, os sensores do LANDSAT-5 possuem uma repetitividade de 16 dias.

Para melhor interpretar os sinais coletados faz-se necessário o conhecimento das condições experimentais como: fonte de radiação, efeitos atmosféricos, características do sensor, geometria de aquisição de dados, tipo de processamento e estado do objeto.

Níveis de Aquisição de Dados

Os sistemas sensores podem ser mantidos no nível orbital (satélites) ou suborbital (acoplados em aeronaves ou mantidos no nível do solo), como pode ser visualizado na Figura 2.2.

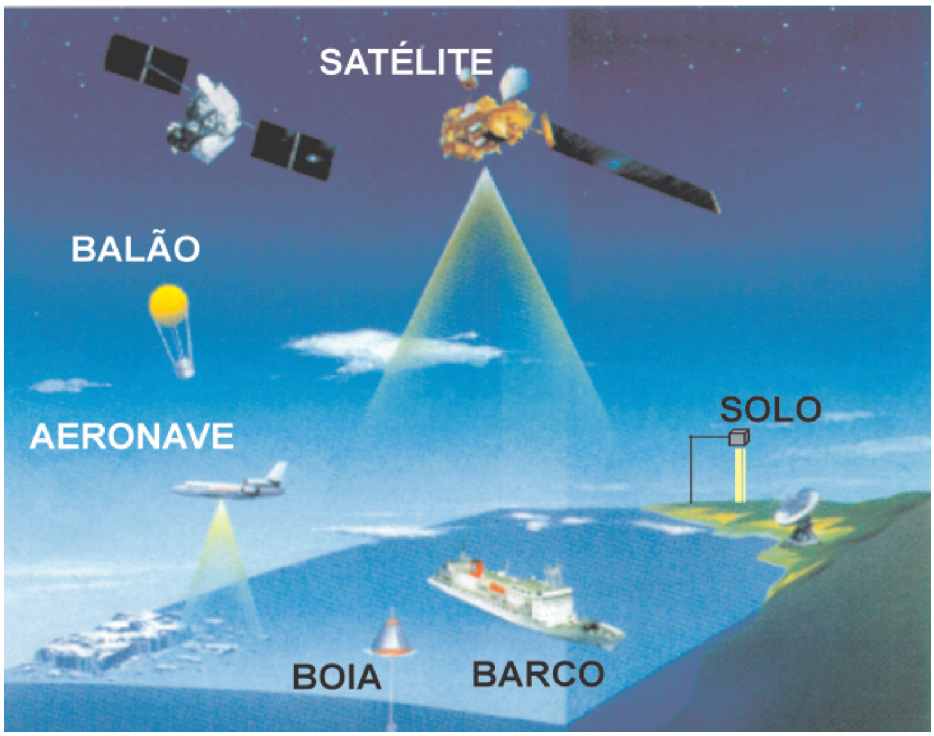


Figura 2.2. Níveis de Coleta de Dados.
Fonte: Moreira (2001)

No nível do solo é realizada a aquisição de dados em campo ou em laboratório onde as medidas são obtidas utilizando-se radiômetros ou espectrorradiômetros.

No nível de aeronaves os dados de sensoriamento remoto podem ser adquiridos por sistemas sensores de varredura óptico-eletrônico, sistemas fotográficos ou radar, e a resolução espacial destes dados dependerá da altura do vôo no momento do aerolevantamento.

A obtenção de dados no nível orbital é realizada por meio de sistemas sensores a bordo de satélites artificiais. O sensoriamento remoto neste nível permite a repetitividade das informações, bem como um melhor monitoramento dos recursos naturais para grandes áreas da superfície terrestre.

Referência Bibliográfica

MOREIRA, M.A. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e metodologias de Aplicação**. São José dos Campos, 2001. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001, 208p.

3. SATÉLITES E HISTÓRIA DO SENSORIAMENTO REMOTO

Mauricio Alves Moreira
DSR/INPE

Introdução

Os equipamentos para registrar objetos ou a paisagem, de maneira diferenciada da idade da pedra quando tudo era registrado em forma de desenho, surgiram com o aparecimento da primeira máquina fotográfica. Esta, inicialmente denominada de câmara escura, foi criada em meados do século 16 quando J.B.Porta (1541-1615), um sábio napolitano, obteve no fundo de uma câmara escura, através de um orifício em uma de suas faces, a imagem de objetos bem iluminados e, colocando uma lente convergente no orifício aumentado, observou que as imagens ficavam mais claras e mais nítidas. Estava criada a câmara escura (Figura 3.1). Nessa mesma época um alquimista, por nome Fabrício, observou que o cloreto de prata ficava enegrecido sob a ação da luz. Somente duzentos anos depois, o físico Charles realizou a primeira impressão fotográfica, ao projetar os contornos de um de seus alunos sobre uma folha de papel branco impregnada de cloreto de prata.

Nessa mesma época, em 1822, Joseph N. Niépce (francês) criou a imagem fotográfica em papel sensível a luz. Em 1839, outro francês substituiu o papel por uma chapa metálica emulsionada. Em 1840, o inglês Willian Henry Talbot criou o sistema negativo/positivo. Com isso, foi possível reproduzir quantas cópias fossem necessárias *(*Figura 3.2*).*

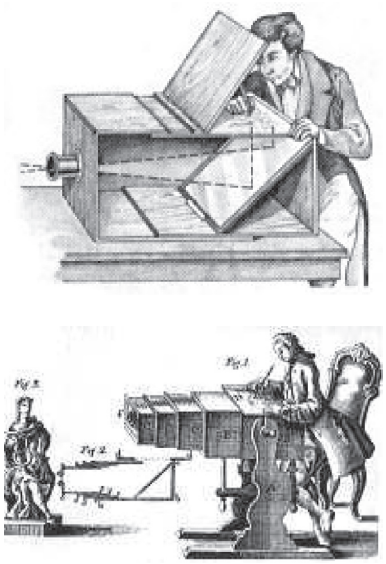


Figura 3.1. Câmeras escuras.
Fonte: http://www.cotianet.com.br/photo/hist/camesc.htm

No ano de 1851 o inglês Archer utilizou uma película de celulose como base para os sais de prata (haletos: AgCl, AgI, AgBr). Estava assim, criado a fotografia e a forma de registro. Porém numa forma horizontal, que resolveu em parte o problema de registro de informações, mas não atendeu plenamente as necessidades do homem quanto ao censo.

Figura 3.2. Slide para ilustrar uma foto em negativo e positivo.

Nesse meio tempo o homem desenvolveu os balões, numa tentativa de voar. Esse foi o grande passo para testar todo esse aparato fotográfico. No ano de 1859, Gaspar Felix Tounachon fotografou a Vila Petit Becetre, França, mostrando assim a utilidade das fotografias aéreas verticais para auxiliar o homem a obter informações do uso e ocupação do solo. Um ano depois, 1860, Samuel A King e James W. Black fotografaram Bostom, USA, a 1200 pés de altitude. No ano de 1880, Eastman (USA) desenvolveu o filme no formato de rolo e Newbronner, em 1903, desenvolveu o mecanismo de exposição automático.

Pouco tempo depois, por volta de 1905, foi apresentado à humanidade o protótipo de um avião que nós brasileiros atribuímos orgulhosamente a Santos Dumont e outros aos irmãos Wrigth no ano de 1905. Com o desenvolvimento do avião, dos sistemas fotográficos e dos filmes preto e branco, estava assim consolidado um sistema aerofotográfico. Entretanto, as pesquisas não pararam por aí. Em 1910 foi formulada a técnica de produzir o filme colorido e no ano de 1924 surgiu o infravermelho falsa-cor que foi uma necessidade militar para discernir alvos verdes fotossintetizadores (vegetação) de alvos verdes camuflados. Na segunda guerra mundial, a aerofotogrametria teve um grande impulso e passou a ser de uso intensivo.

Mesmo com todo esse desenvolvimento o homem percebeu que tinha solucionado o problema em parte, porque um recobrimento aerofotográfico, apesar de útil ainda era muito oneroso e necessitava de desenvolver um sistema que pudesse ser mais econômico. Para tal, deveria criar um sistema que não dependesse de pessoas para ser operado. A única forma de colocar um sistema operacional, o qual não dependesse de substituir os filmes como acontece nas câmeras fotográficas, era criar um sistema sensor metálico, colocado numa plataforma que pudesse girar em torno da Terra. Para tal, era necessário criar um veículo para colocar essas plataformas (satélites artificiais) fora do campo gravitacional, uma vez que, o conhecimento da Física garantia a permanência

deles em órbita da Terra ou de outros planetas por tempo indeterminado. Assim, surgem os satélites e os foguetes ou veículos lançadores de satélites.

Satélites

De origem latina (satelles,satellitis) a palavra satélite é empregada, na literatura portuguesa, com vários significados. Em termos de cosmologia, os satélites referem-se a todo o corpo que gravita em torno de um astro de massa preponderante (dominante) em particular ao redor de um planeta, como a Lua. Neste caso são satélites naturais.

No sensoriamento remoto, a palavra satélite é emprega para se referir aos engenhos construídos pelo homem e que giram em torno da Terra ou de outros planetas e/ou satélites naturais. Nessa concepção, podemos dizer que os satélites são plataformas que carregam a bordo vários tipos de dispositivos destinados a obterem dados que permitem ao homem estudar objetos e fenômenos da Terra e do Universo.

O desenvolvimento de satélites artificiais teve inicio na década de 50, quando no ano de 1957 a impressa de todo mundo anunciava que os Estados Unidos e a União Soviética iriam lançar os primeiros satélites artificiais. Era o ano Geofísico Internacional.

O primeiro satélite artificial da Terra, o SPUTINIK I foi lançado no dia 4 de outubro de 1957, pela antiga União Soviética (URSS). Em fevereiro de 1958, os Estados Unidos colocou em órbita da Terra o EXPLORER I.

Após o sucesso dessas experiências, imediatamente, o homem colocou satélites artificiais em órbitas de quatro outros astros do sistema solar: O próprio Sol (primeiro engenho satelizado: Luna I, em 1959); a Lua (Luna X, em 1966); Marte (Marine IX, em 1971) e Vênus (Venua IX, em 1975).

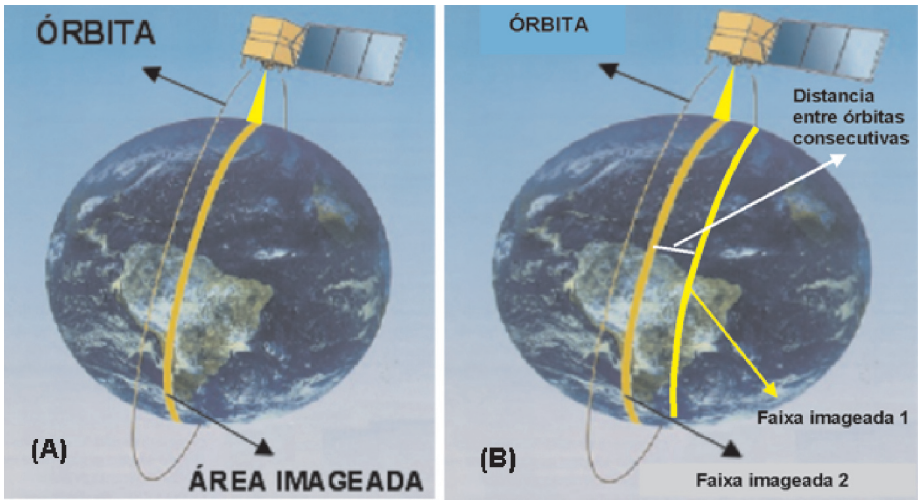


Figura 3.3. Esquema mostrando um satélite em órbita da Terra e a área imageada pelos sensores a bordo.

A trajetória do satélite em torno do astro, natural ou artificial, é denominada de órbita. No caso dos satélites artificiais *(*Figura 3.3*)*, a órbita é definida em função de diversos parâmetros, entre eles têm-se: a) Raio de inclinação; b) Inclinação do plano da órbita; c) Período de revolução, etc.

O número de revoluções diárias, isto é, quantas vezes o satélite gira em torno da Terra em um dia é importante porque define a altitude que o satélite deverá ser colocado em órbita. Por exemplo, a órbita de 35.800 a 36.000 km de altitude desempenha um papel particular. Todos os satélites colocados a essa altitude gastam, para dar uma volta em torno da Terra, 23h 56 min., que é igual ao período

de rotação da Terra. Neste caso, a órbita é denominada geossíncrona. Se o plano da órbita se confundir com o do equador, o satélite parecerá imóvel a um observador terrestre, sendo então chamado de geoestacionário.

Estima-se que exista mais de 5000 satélites orbitando a Terra atualmente. Na literatura é relatada a existência de aproximadamente 70.000 objetos girando em tono da Terra, entre satélites e sucatas.

Os satélites, mesmo tendo funções semelhantes, podem ser agrupados em categorias, de acordo com os objetivos para os quais foram criados. Dentro dessa concepção, existem os satélites militares, os científicos, os de comunicação, os meteorológicos e os de recursos naturais, estes últimos destacados neste tópico.

Satélites voltados à coleta de dados sobre a Terra e o ambiente

Os satélites empregados para coleta de dados sobre fenômenos físicos, químicos, biológicos da superfície da Terra e da atmosfera, geralmente são de órbita baixa (poucas centenas de quilômetros de altitude). A titulo de exemplo, no ano de 1984 os japoneses lançaram ao espaço o satélite EXOS – C, girando em torno da Terra a uma altitude de 365 km no periélio e 865 km no apogeu, com o objetivo de monitorar sons de menor contribuição na média atmosfera e estudar a interação das partículas magnéticas do plasma ionosférico sobre anomalias brasileira e zona de aurora.

Muitas vezes, um satélite que foi desenvolvido para um dado objetivo, pode servir para fins científicos, como é o caso do satélite NOAA que é meteorológico, mas que possui um dispositivo a bordo, o *Argos* que recebe informações de sensores colocados em bóias marítimas e retransmitir essas informações para estações terrenas.

Com relação à coleta de dados sobre o Planeta Terra, o programa mais ambicioso que existe no momento é, sem dúvida, o Programa lançado pela NASA, denominado de ***EARTH SCIENCE ENTERPRISE***, para estudar fenômenos físicos, químicos e biológicos do Planeta Terra e da atmosfera.

O Earth Science Interprise é composto de três segmentos: a) uma série de satélites de observação da Terra; b) um avançado sistema de banco de dados e c) uma equipe de cientistas que estudará os dados coletados. As áreas de estudo chaves incluem: nuvens, ciclo da água e energia; oceanos; química da atmosfera; uso da terra; processo da água e ecossistema; cobertura de gelo glacial e polar e a parte sólida da Terra.

Para atender os objetivos desse programa a NASA lançou em 18 de dezembro de 1999 o primeiro satélite de observação da Terra, o EOS-AM, posteriormente batizado de Terra *(*Figura 3.4*)*.

O satélite opera numa órbita polar e síncrona com o Sol com uma inclinação de aproximadamente 98,2º, período orbital de 98,88 minutos e hora dedo cruzamento na descendente às 10:30 h. Altitude média é de 705 km e a velocidade no solo é de 6,7 km/seg. A distância entre órbitas adjacentes é de 172 km e a

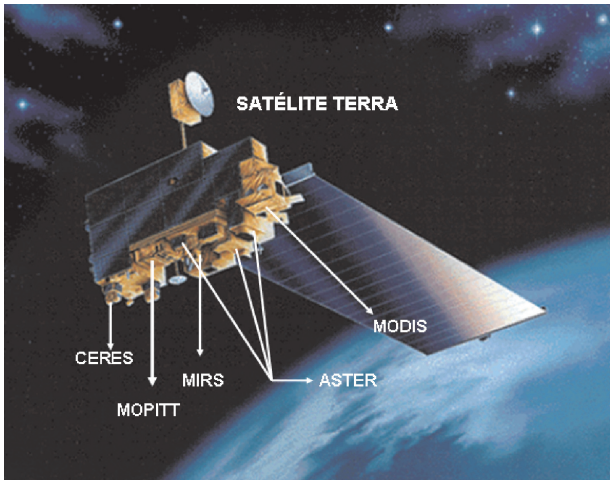


Figura 3.4. Foto do satélite EOS-AM.
Fonte: NASA (1992)

resolução temporal é de 16 dias. O satélite percorre 233 órbitas para o total recobrimento do globo terrestre.

O satélite Terra carrega a bordo cinco sensores: o CERES, o MOPITT, o MISR, o MODIS e o ASTER, cujas principais aplicações são mostradas na Tabela 2.

a) CERES: *Clouds and the Earth´s Radiant Energy System Network.*

b) MOPITT: *Measurements of Pollution in the Troposphere.*

b) MISR: *Multi-angle Imaging SpectroRadiometer.*

c) MODIS: *Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer.*

e) ASTER: *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer.*

Tabela 2 – Principais aplicações e sensores do satélite Terra.

Disciplina	Medidas	Instrumentos EOS-AM
Atmosfera	Propriedades das nuvens	MODIS, MISR, ASTER
	Fluxo de Energia e Radiação	CERES, MODIS, MISR
	Precipitação	
	Química da Troposfera	MOPITT
	Química da Estratosfera	
	Propriedades dos Aerossóis	MISR, MODIS
	Temperatura da Atmosfera	MODIS
	Umidade da Atmosfera	MODIS
	Relâmpago	
Solo	Cobertura da terra e Uso da Mudança da Terra	MODIS, MISR, ASTER
	Dinâmica da Vegetação	MODIS, MISR, ASTER
	Temperatura da Superfície	MODIS, ASTER
	Ocorrência de Incêndios	MODIS, ASTER
	Efeitos Vulcânicos	MODIS, MISR, ASTER
	Umidade da Superfície	
	Temperatura da Superfície	MODIS
Oceano	Fitoplâncton e Material Orgânico Dissolvido	MODIS, MISR
	Ventos (na superfície)	
	Topografia da Superfície do Oceano	
Criosfera	Mudança do Gelo na terra	ASTER
	Gelo do mar	MODIS, ASTER
	Cobertura de Neve	MODIS, ASTER

Programa Brasileiro de Satélites de Coleta de Dados

Os Satélites de Coleta de Dados – SCDs – previstos pela Missão Espacial Completa Brasileira (MECB), foram idealizados em fins dos anos 70, tendo como um dos principais objetivos capacitar e habilitar o País a desenvolver sistemas espaciais.

O primeiro satélite, o SCD-1, lançado em fevereiro de 1993, operou por mais de três anos além do previsto *(*Figura 3.5*)*. Esse fato selou o êxito dos primeiros passos do Brasil na era espacial. O SCD-1 foi lançado com o objetivo receber dados das PCDs (plataformas de Coleta de Dados) e retransmiti-los para a estação de rastreamento em Cuiabá que, através da rede de comunicação, os dados são transferidos para o Centro de Missão no INPE de Cachoeira Paulista, São Paulo. O Centro de Missão se encarrega de processar os dados e distribuí-los aos usuários.

O INPE é o responsável pela especificação, projeto, desenvolvimento, fabricação e operação desta série de três satélites, o SCD-1, SCD-2, SCD-2A e SCD-3. O SCD-1 foi colocado em órbita em fevereiro de 1993 e encontra-se operando até hoje, com uma vida útil além do período, inicialmente previsto, de um ano.

O SCD-2 foi lançado, com sucesso, em 1998, por meio de um veículo Pegasus, a partir do Cabo Canaveral. Atualmente opera de forma conjunta com o SCD-1. Pretende-se, desta forma, ampliar a prestação dos serviços de coleta de dados. O SCD-2A foi perdido no lançamento inaugural do VLS-1, em 1997.

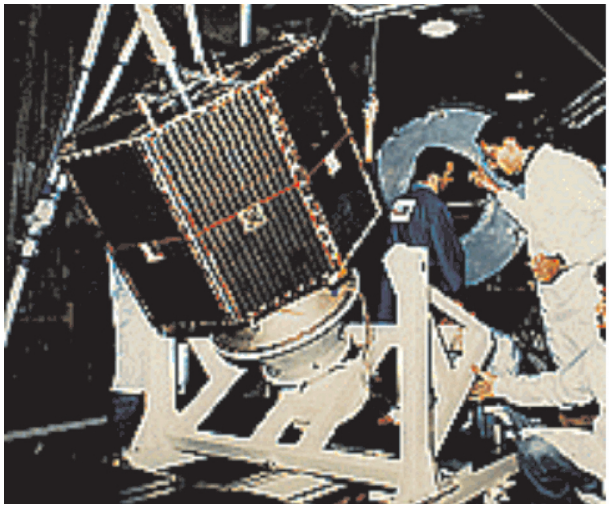


Figura 3.5. Foto do satélite SCD-1.
Fonte: http://www.inpe.br/programas/mecb/Port/fotos/satelite.htm

O SCD1 tinha capacidade de coletar dados de até 500 PCDs. Estas PCDs abrigam varios conjuntos de instrumentos tais como termômetros, pluviômetros (medidor de volume de chuvas), anemômetros (velocidade e direção dos ventos), e outros. Um dispositivo automático transmite ao SCD1 as informações coletadas, inclusive em locais remotos de difícil acesso como o interior da floresta amazônica. A região de cobertura da antena de Cuiabá abrange um círculo de cerca de 3000 km, limitado ao sul pelo paralelo 38. A Tabela 3 mostra as principais características dos satélites da série SCD.

TABELA 3 – CARACTERÍSTICAS DOS SATÉLITES DA SÉRIE SCD

	SCD-1 E SCD-2	SCD-3
Massa	115Kg	280Kg
Altitude	750Km	1100Km
Complexidade	Pequena	Média
Vida Útil Prevista	1 a 2 anos	4 anos
Lançamento	1993 e 1998	-
Missões	Coleta de Dados Ambientais	- Coleta de Dados;
		-Telecomunicações em Órbita Baixa Equatorial

Satélites de Observação da Terra ou de Recursos Naturais

O estudo da viabilidade de uso de sensores a bordo de satélites artificiais para coleta de dados sobre a superfície terrestre, para fins de levantamento dos recursos naturais renováveis e não renováveis foi, na primeira fase, realizado por equipamentos colocados em plataformas tripuladas.

Nesse contexto, a primeira plataforma tripulada que obteve fotografias da superfície terrestre foi o satélite Mercury ano de 1961. As fotografias obtidas nesta missão mostraram grande potencial de aplicações no reconhecimento de recursos terrestres (Novo, 989).

Durante as missões da série Gemine foi solicitado aos astronautas que tirassem fotografias de áreas de interesse da superfície terrestre. Ainda segundo os relatos de Novo (1989), o primeiro experimento formal, visando à utilização de sensores para levantamento terrestres, foi realizado em 1967 quando se tinha em mente obter fotografias coloridas por meio de câmeras automáticas a bordo da espaçonave Apollo 6.

No ano de 1973, a NASA lançou um importante programa de Sensoriamento Remoto a bordo da estação espacial Skylab. Através de um conjunto de experimentos em sensoriamento remoto conhecido como EREP (Earth Resources Experiment Package) foi possível coletar dados através de diferentes sistemas sensores: três tipos de câmeras fotográficas, um espectrômetro infravermelho, um imegeador mulatiespectral com 13 canais, um radiômetro-escaterômetro de microondas e um radiômetro na banda L (200 mm). A análise de dados multiespectrais obtidos durante a Missão Apollo 9 fortaleceu o desenvolvimento do programa ERTS, mais tarde rebatizado por LANDSAT.

No ano de 1972 os americanos lançam o primeiro satélite de recursos naturais, o ERTS-1 iniciando assim, a era dos satélites não-tripulados desenvolvidos exclusivamente para coleta de dados sobre os recursos terrestres.

Principais Satélites de Recursos Naturais

a) Série LANDSAT

O programa LANDSAT é actualmente gerido pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e pelo United States Geological Survey (USGS). Este programa começou, em 1962, como uma pesquisa experimental patrocinada pela NASA, através da Earth Resources Survey, com a colaboração de várias agências federais dos Estados Unidos.

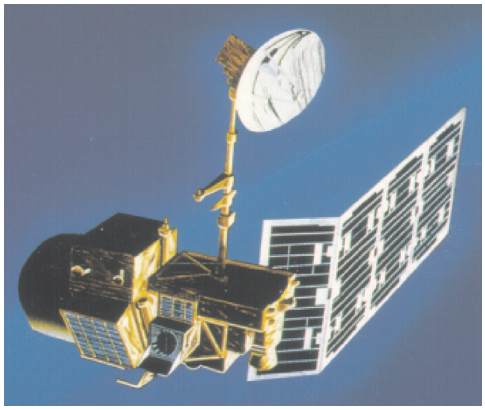


Figura 3.6. Plataforma dos satélites LANDSAT 4 e 5. Fonte: http://www.engesat.com.br/satelites/landsat5.htm.

O primeiro satélite de Sensoriamento Remoto de recursos terrestres não-tripulados foi o

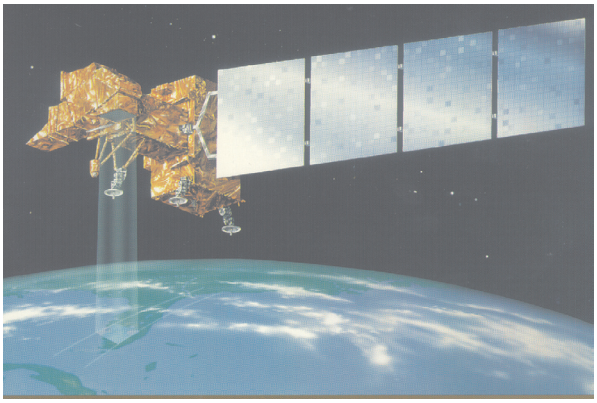


Figura 3.7. LANDSAT-7. Fonte: EROS Data Center (1990).

Earth Resources Tecnology Satellite 1 (ERTS-1), lançado no ano de 1972 pelos norte-americanos. O ERTS-1 foi construído a partir de uma modificação do satélite meteorológico NIMBUS e carregou a bordo dois tipos de sensores: um sistema de varredura multiespectral, o MSS (multiespectral Scanner Subsystem) e um sistema de varredura constituído por três câmeras de televisão (Return Beam Vidicon), conhecido por RBV. Após o lançamento do ERTS-1 o programa foi rebatizado para LANDSAT e 6 outros satélites foram colocados em órbita da Terra. A figura 3.6 mostra o LANDSAT 4 e o 5, enquanto a figura 3.7 ilustra o LANDSAT-7. A Tabela 4 apresenta as principais características do programa LANDSAT.

Tabela 4 – Principais características do Programa

	Landsat 1 (ERTS 1)	Landsat 2 (ERTS 2)	Landsat 3 (ERTS 3)	Landsat 4	Landsat 5	Landsat 6	Landsat 7
Entidade Responsável	NOAA (National Oceans and Atmosferic Administration)						
Data de Lançamento	23.JUL.72	22.JAN.75	05.MAR.78	16.JUL.82	01.MAR.84	05.OUT.93	15.MAI.98
Data de Fim de Vida	1978	1982	1983	1987	1998	05.OUT.93	n.d.
Situação Actual	Desactivado	Desactivado	Desactivado	Desactivado	Activo	Desactivado	Activo
Tipo de Órbita	Circular, quase polar, sincronizada com o Sol	Circular, quase polar, sincronizada com o Sol	Circular, quase polar, sincronizada com o Sol	Circular, quase polar, sincronizada com o Sol	Circular, quase polar, sincronizada com o Sol	-	Circular, quase polar, sincronizada com o Sol
Altitude Média	907 Km	908 Km	915 Km	705.3 Km	705.3 Km	-	705 Km
Inclinação	99.9°	99.2°	99.1°	98.3°	98.3°	-	98.2º
Período	103.14 min.	103.16 min.	103.15 min.	98.94 min.	98.94 min.	-	99 min.
Peso	816 Kg	953 Kg	960 Kg	1942 Kg	1938 Kg	1740 Kg	2000 Kg
Hora Local no Nodo Descendente	08:50	09:08	09:31	09:39	09.39	-	10.00
Finalidade	Observação da Terra	Observação da Terra	Observação da Terra	Observação da Terra	Observação da Terra	Observação da Terra	Observação da Terra
Sensores	RBV e MSS	RBV e MSS	RBV e MSS	TM e MSS	TM e MSS	ETM	ETM e ALS

b) Programa SPOT

O programa SPOT foi planejado e projetado como um sistema operacional e comercial, estabelecido pelo governo francês em 1978, com a participação da Suécia e Bélgica. O Programa é gerenciado pelo Centro Nacional de

Estudos Espaciais – CNES, que é o responsável pelo desenvolvimento e operação dos satélites. Os quatro primeiros satélites da série continham a bordo sistemas sensores passivos de média resolução. O SPOT-5 carrega a bordo um sistema sensor com média resolução espacial, porém possui um sensor pancromático com alta resolução espacial (2,5 m x 2,5 m). O primeiro satélite foi lançado em fevereiro de 1986, seguido de mais quatro satélites: SPOT-2 (janeiro de 1990), SPOT-3 (setembro de 1993), o SPOT-4 (março de 1998), Figura 3.8, e o SPOT-5 (maio de 2002). A órbita desses satélites é circular heliossíncrona, com altitude aproximada de 830 km Mantém um período orbital de aproximadamente 104 min e inclinação de 98º, repetindo seu ciclo a cada 26 dias. Atualmente estão em operação os dois últimos.

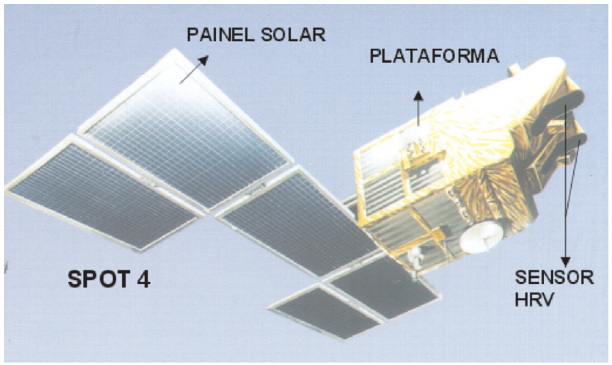


Figura 3.8. Foto do satélite SPOT-4.
Fonte: http://www.spot.com/

c) Programa IRS (Indian Remote Sensing)

O programa IRS é operado pela Indian Space Research Organization (ISRO) e pela National Remote Sensing Agency (NRSA). O principal objetivo das suas missões é fornecer dados de sensoriamento remoto para a National Natural Resource Management System (NNRMS) da Índia. O primeiro satélite da série foi lançado no ano de 1998, seguido por mais cinco satélites.

Os satélites IRS carregam a bordo dois sensores de imageamento avançados, o Linear Imaging Self Scanners - LISS-I com uma resolução espacial de 72,5 m e os LSS-IIA e LISS-IIB com uma resolução de 36,25 m. O LISS-I imageia uma faixa no terreno de 148 km, enquanto que a faixa imageadas pelos sensores LISS-IIA e LISS-IIB é de 145 km.

O IRS-P2 lançado em 16 de outubro de 1994 carrega a bordo o sensor LISS-II, um sistema imageador similar ao sensor a bordo do satélite IRS-1B, porém com uma resolução temporal de 24 dias. A segunda geração dos satélites IRS, denominada IRS-1C e IRS-1D, tem a bordo uma câmara pancromática com uma resolução espacial de 5,8 m e a largura da faixa imageada é de 70 km.

Nessa segunda série o sensor LISS-III opera em quatro faixas espectrais, sendo três na região do visível e uma no infravermelho próximo. A resolução espacial dos dados coletados por esse sensor é de 23 metros nas bandas do visível e de 70 metros no infravermelho. Esses satélites levam a bordo um outro sensor com campo largo de visada operando no visível e na região do infravermelho próximo, com uma resolução de 188 m e uma faixa de cobertura 810 km, com resolução temporal de 5 dias. A inexistência de gravador a bordo e de uma antena de recepção tem dificultado a utilização dos dados dessas plataformas na América do Sul.

Satélites equipados com sensores de Alta resolução Espacial

a) Satélite IKONOS

A Space Imaging desenvolveu o Programa IKONOS com o objetivo de fornecer informação com qualidade e rapidez largamente superiores aos padrões atuais de mercado. Os produtos são vendidos pela companhia CARTERRA™. A órbita do satélite IKONOS II (Figura 3.9) é descendente, sol-síncrona, com duração de 98 minutos para dar uma volta na Terra. O satélite, lançado em 24/09/99, situa-se a 681 km, com uma inclinação de 98,1^0 e velocidade de deslocamento de 7 km/s. O satélite IKONOS possui a bordo quatro sensores, sendo três multiespectral (Azul 0.45 - 0.52μ; Verde 0.52 - 0.60μ; Vermelho 0.63 - 0.69μ; Infravermelho próximo 0.76 - 0.90μ) com resolução espacial no terreno de 4 m x 4 m. Na banda pancromática (pan:0.45 a 0.90μ) a resolução espacial é de 1m x 1m. O tamanho das faixas imageadas varia de 11 km x 100 km até 11 km x 1000 km. O tempo de revisita é de 2.9 dias (pan) e 1.5 dias (multiespectral).

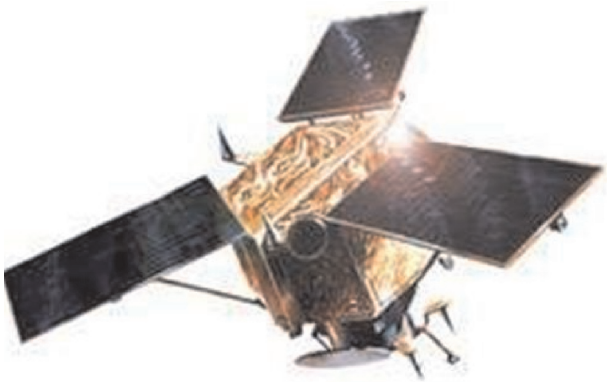


Figura 3.9. Satélite IKONOS II.

b) Satélite QuickBird

O QuickBird é um satélite desenvolvido pela empresa norte americana EarthWatch, cujo lançamento foi em outubro de 2001, a 450 km de altitude. Síncrono com o Sol e gira numa órbita quase polar, com inclinação de 98° em relação ao pólo (Figura 3.10).

O sensor a bordo deste satélite apresenta alta resolução espacial, menos de um metro no pancromático e de cerca de três metros no multiespectral. É capaz de gerar imagens estereoscópicas com uma resolução temporal de dois a três dias. Na Tabela 5 é apresentado um resumo das características do satélite.

Figura 3.10. Satélite QuickBird.
Fonte: http://www.aurensa.es/satelites/quickbird.htm

Tabela 5 – Principais características do satélite QuickBird

Data de lançamento	Outubro de 2001
Veículo de lançamento	Boeing Delta II
Local de lançamento	Vandenberg Air Force Base, California
Capacidade de armazenamento de dados	128 Gbytes, aproximadamente 57 áreas imagens simples
Altitude da órbita	450 km
Inclinação da órbita	98 graus, em sincronismo com o Sol
Velocidade	7.1 km / segundo
Horário de passagem	10:30 h
Duração da órbita	98 minutos
Capacidade de envio de dados	320 Mbps em banda X
Peso, tamanho	953 kg, 3.04-metros de comprimento
Tempo de vida útil	No mínimo de 7 anos
Tempo de revisita	1 a 3,5 dias, dependendo da latitude (30o off-nadir)
Largura do imageamento	16.5 km x 16.5 km, no nadir
Precisão métrica	Horizontal: 23 metros (CE 90%) Vertical : 17 metros (LE 90%)
Digitalização	11 bits
Resolução	Pan: 61 cm (nadir) to 72 cm (25o off-nadir) Multiespectral: de 2.44 m (nadir) até 2.88 m (25o off-nadir)
Formatos disponíveis	GeoTIFF 1.0, NITF 2.1 ou NITF 2.0
Bandas	Pancromática 450 - 900 nm
	Azul: 450 - 520 nm
	Verde: 520 - 600 nm
	Vermelho: 630 - 690 nm
	Infravermelho próximo : 760 - 900 nm

Satélite Brasileiro de Recursos Naturais - CBERS

O Programa de Satélites Sino-Brasileiros de Recursos Terrestres (CBERS) resultou de uma cooperação internacional entre Brasil e China no setor técnico-científico espacial, assinada em 6 de julho de 1988 com o objetivo de desenvolver satélites de observação da Terra. Este programa combina os recursos financeiros e especialistas dos dois países para estabelecer um sistema completo de sensoriamento remoto, que é competitivo e compatível com o presente cenário internacional. Com isto, o Brasil ingressou no seleto grupo de países detentores da tecnologia de sensoriamento remoto. E desta forma, obteve uma poderosa ferramenta para monitorar seu imenso território com satélites próprios de sensoriamento remoto, buscando consolidar uma importante autonomia neste segmento (CBERS, 2008).

Inicialmente o programa CBERS contemplou apenas dois satélites de sensoriamento remoto: CBERS-1 e 2. O satélite CBERS-1 foi lançado com sucesso na madrugada do dia 14 de outubro de 1999, às 1h15 (horário de Brasília). O satélite CBERS-2, segundo satélite desenvolvido em conjunto com a China, foi lançado com sucesso no dia 21 de outubro de 2003, às 11:16h (horário de Pequim), o que corresponde a 1:16h em Brasília. Com o sucesso destes

satélites o programa foi estendido para lançar mais 3 satélites (CBERS-2B, CBERS-3 e CBERS-4). O lançamento do CBERS-2B ocorreu no dia 19 de setembro de 2007, a partir da mesma base de lançamento de Taiyuan, na China, com o mesmo foguete chinês - Longa Marcha 4B, que fez o lançamento dos CBERS-1 e 2. Os lançamentos dos novos satélites CBERS-3 e CBERS-4 estão previstos para 2009 e 2011, respectivamente.

Uma característica singular do CBERS (Figura 3.11) é a sua carga útil e múltiplos sensores, com resoluções espaciais e frequências de observações variadas. No CBERS 1, 2 e 2B existem três sensorem a bordo do satélite: Imageador de Visada Larga (WFI), Câmara de Alta Resolução (CCD), Varredor multiespectral Infravermelho (IRMSS) para o CBERS 1 e 2 e Câmera Pancromátiva de alta resolução (HRC) para o CBERS-2B.

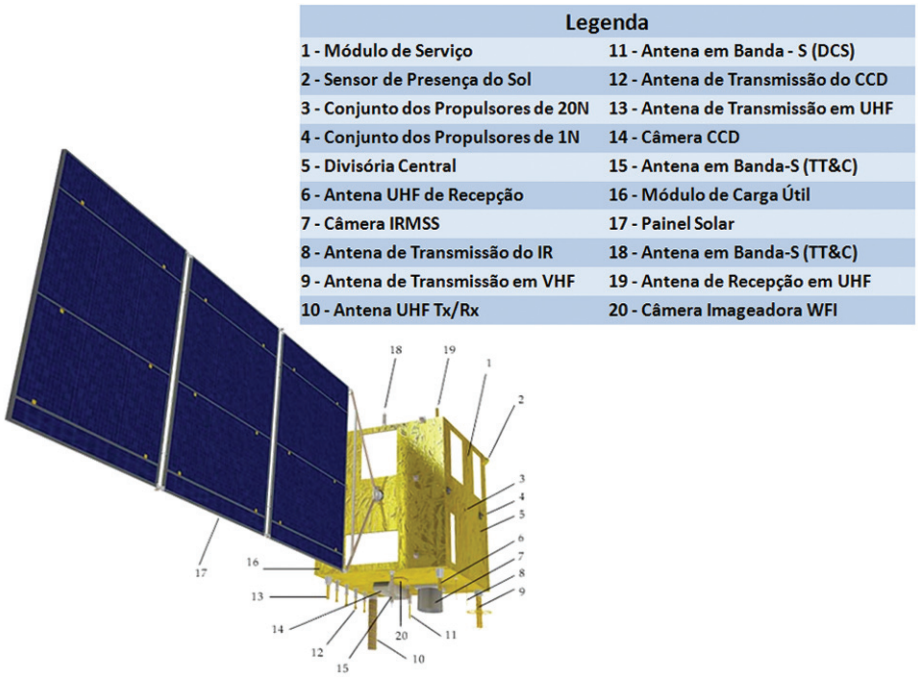
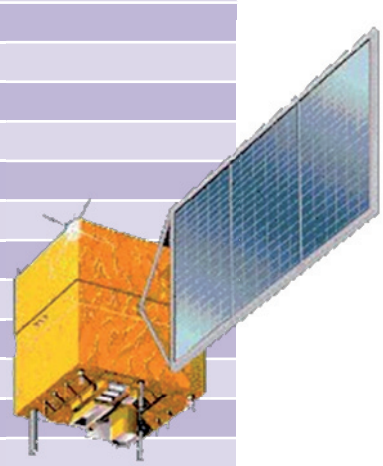


Figura 3.11. Satélite CBERS 2.
Fonte: CBERS/IINPE.

TABELA 6 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS SATÉLITES CBERS-1, CBERS-2 E CBERS-2B

Massa total	1450kg
Potência gerada	1100 W
Baterias	2 x 30 Ah NiCd
Dimensões do corpo	(1,8 x 2,0 x 2,2) m
Dimensões do painel	6,3 x 2,6 m
Altura da órbita hélio-síncrona	778 km
Propulsão a hidrazina	16 x 1 N; 2 x 20 N
Estabilização	3 eixos
Supervisão de bordo	distribuída
Comunicação de Serviço (TT&C)	UHF e banda S
Tempo de vida (confiabilidade de 0,6)	2 anos
Altitude média	778 km
Inclinação	98,504 graus
Revoluções/dia	14 + 9/26
Período nodal	100,26 minutos



O satélite obtém a cobertura da Terra em 26 dias. Esse é o tempo necessário para se ter imagens de todo o globo terrestre com suas câmeras CCD e IRMSS, que possuem campos de visada de 113 km a 120 km, respectivamente. Já com a câmera WFI, que consegue imagear uma faixa de 890 km de largura, o tempo necessário para uma cobertura global é de 5 dias. No caso do CBERS-2B, a câmara HRC, com pixel de 2,7 metros em uma banda larga no visível, cobre apenas 27 km, é adotada uma sistemática especial de imageamento, de modo a que o país tenha cobertura completa em alta resolução a cada cinco ciclos de 26 dias imageamento, ou seja, a cada 130 dias. A capacidade de apontamento lateral da câmera CCD de alta resolução aliada ao tipo de órbita do satélite torna possível obter-se pares estereoscópicos de certa região com um intervalo de três dias entre duas imagens. A Figura 3.12 mostra as diferentes imagens obtidas pelos sensores WFI, CCD e HRC presentes no CBERS-2B.

Figura 3.12 – Imagens da mesma área do centro de Florianópolis – Santa Catarina utilizando os sensores a bordo do satélite CBERS-2B. Disponível em: <www.dgi.inpe.br>

Câmera Pancromática de Alta Resolução - HRC

Banda espectral: 0,50 - 0,80 μm (pancromática)
Campo de Visada: 2,1º
Resolução espacial: 2,7 x 2,7 m
Largura da faixa imageada: 27 km (nadir)
Resolução temporal: 130 dias
Quantização: 8 bits

Câmera Imageadora de Alta Resolução - CCD

Bandas espectrais:
0,51 - 0,73 μm (pan)
0,45 - 0,52 μm (azul)
0,52 - 0,59 μm (verde)
0,63 - 0,69 μm (vermelho)
0,77 - 0,89 μm (infravermelho próximo)

Campo de Visada: 8,3º
Resolução espacial: 20 x 20 m
Largura da faixa imageada: 113 km
Resolução temporal: 26 dias

Imageador de Amplo Campo de Visada WFI

Bandas espectrais:
0,63 - 0,69 μm (vermelho)
0,77 - 0,89 μm (infra-vermelho)

Campo de Visada: 60º
Resolução espacial: 260 x 260 m
Largura da faixa imageada: 890 km
Resolução temporal: 5 dias

Satélites com Sistemas Sensores Ativos

O Radar ("**Ra**dio **D**etection **A**nd **R**anging") é um sistema sensor ativo que opera na faixa espectral de radio ou de microondas. O princípio de funcionamento do radar consiste na emissão de pulso de microondas e registro do sinal de retorno. O registro da energia refletida, após a interação do sinal com os alvos da superfície terrestre, contém duas grandezas distintas: o tempo de retorno e a intensidade do sinal.

O tempo de retorno refere-se diretamente à distância entre o alvo e a fonte (antena) emissora. Este parâmetro foi e está sendo largamente utilizado para mensuração de distância e azimute em radares convencionais, por exemplo, na determinação e posicionamento de aeronaves em aeroportos e em espaços aéreos determinados.

A intensidade do sinal está intimamente relacionada ao sensoriamento remoto. Neste caso, o sinal é associado a um nível de cinza registrado na imagem, que por sua vez, é proporcional à intensidade do sinal recebido na antena. A Tabela 7 apresenta informação sobre a utilização das faixas espectrais de sistemas sensores ativos.

Tabela 7 - Faixas espectrais e suas utilizações em satélites com sensores ativos

Banda	Comprimento de onda (cm)	Freqüência MHz	Utilização mais comum
Ka	0,75 – 1,10	40000 – 26500	Comunicações
K	1,10 – 1,67	26500 – 18000	Comunicações
Ku	1,67 – 2,40	18000 – 12500	Comunicações e RADARES de espaço aéreo
X	2,40 – 3,75	12500 – 8000	RADARES de espaço aéreo e Sensoriamento remoto
C	3,75 – 7,50	8000 – 4000	Sensoriamento remoto
S	7,50 – 15	4000 – 2000	Transponder de satélites de comunicações
L	15 – 30	2000 – 1000	Sensoriamento remoto; VLBI*; GPS**
P	30 – 100	1000 – 300	Sensoriamento remoto

* Very Large Baseline Interferometry.

** Global Position System

Como representantes dos sistemas de sensores ativos orbitais (Sistema de Radar) temos o RADARSAT-1, O JERS-1 e o ERS-1.

Programa RADARSAT

O RADARSAT é um sofisticado satélite de observação da Terra, desenvolvido pela Canadian Space Agency (CSA) ano de 1989, com a colaboração dos Estados Unidos, através da NASA (National Aeronautics and Space Administration), responsável pelo lançamento do satélite. As empresas envolvidas no seu design e construção são a *Spar Aerospace* (principal colaborador), *MacDonald Dettwiler & Associates, SED Systems, CAL Corporation, COM DEV, Fleet Industries, IMP* e a *FRE Composites* (Figura 3.13, Tabela 8).

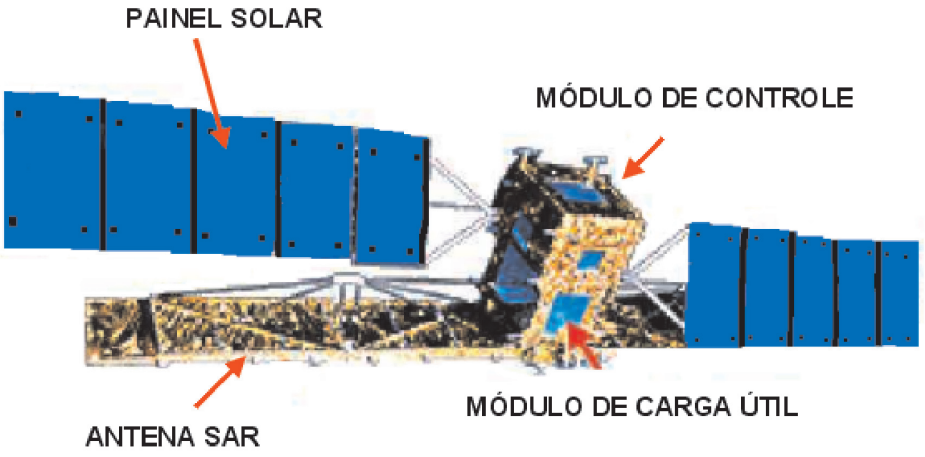


Figura 3.13. Foto do satélite RADARSAT – 1.
Fonte: http://snig.cnig.pt/ROT/english/radsens.html

Tabela 8 – Características do satélite RADARSAT

Radarsat	Observações
Entidade Responsável	CSA (Canadian Space Agency)
Data de Lançamento	11-ABR-95
Data de Fim de Vida	2000
Situação Atual	Ativo
Tipo de Órbita	Quase circular, sincronizada com o Sol
Altitude Média	798 km
Inclinação	98.6°
Período	101 minutos
Peso	2713 kg
Hora Local no Nodo Descendente	18:00

O principal objetivo deste projeto é auxiliar o estudo das mudanças climáticas e dos recursos renováveis. No entanto, as imagens do RADARSAT podem também serem utilizadas em vários campos de aplicação, tais como: agricultura, cartografia, hidrologia, oceanografia e monitoramento de zonas costeiras.

Uma vez que o sensor do RADARSAT é um radar de alta tecnologia, a obtenção de imagens por parte deste satélite não se encontra dependente das condições climáticas, nomeadamente da nebulosidade, como acontece com a maioria dos satélites de detecção remota com sensores ópticos.

O Programa JERS

O "Japan Earth Resources Satellite-1 (JERS-1)" é um satélite de observação terrestre avançado, que foi colocado em órbita da Terra no dia 11 de Fevereiro de 1992. O JERS-1 é resultado de um projeto de cooperação da NASDA e MITI. A NASDA é a responsável pelo desenvolvimento do satélite e a MITI, responsável pelo desenvolvimento dos instrumentos de medida. O satélite foi lançado em 1992. Embora tenha sido desenvolvido para uma vida útil de dois anos o satélite continuou ativo por mais de 6 anos, sendo desativado em 12 de outubro de 1998. Este satélite carregava a bordo um Radar de Abertura Sintética (SAR), cujo sinal é capaz de penetrar as nuvens

e um sensor ótico (OPS), que opera em quatro bandas do visível e uma do infravermelho próximo. As principais características do JERS-1 são: altitude: 568 km; órbita síncrona com o sol e periodicidade de 44 dias. Para substituir o JERS-1 foi lançado no início deste ano (2006), pela *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), o *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS) que tem o apelido de "DAICHI". Este satélite leva a bordo o sensor PALSAR que adquire imagens com alta resolução (10m) e em várias polarizações.

A Agência Espacial Européia (ESA) lançou da base de Kouru, na Guiana Francesa, a bordo de um foguete francês Ariane, em 17 de julho de 1991 o primeiro *European Remote-Sensing Satellite* (ERS). O ERS-1 foi o primeiro satélite do ambicioso plano em longo prazo da ESA, no domínio da observação da Terra que operou durante toda a década de 90. O satélite ERS-2 foi lançado três anos após o ERS-1. O ERS leva a bordo vários instrumentos sensores de microondas ativos que tem como finalidade, proporcionar parâmetros experimentais e pré-operacionais relacionados com a superfície terrestre e, mais especificamente com relação ao oceano e ao gelo.

Muitas das características dos sensores a bordo do ERS, foram baseadas nos resultados obtidos com os experimentos da NASA com o SEASAT-1, lançado em 1978, que demonstrou a viabilidade do monitoramento do oceano e de regiões de gelo desde o espaço, usando sensores ativos de microondas. Além destas informações o ERS é de especial interesse para países tropicais, onde a constante cobertura de nuvens inviabiliza freqüentemente a coleta de dados. O ERS está a uma altitude de 777 km, e, em função das missões programadas, a sua repetitividade pode variar entre três dias, como inicialmente previsto, até 35 dias para garantir a cobertura SAR global.

O ERS-2 deu continuidade ao programa e proporcionou significante contribuição a química da atmosfera, pois, além dos sensores que estão a bordo do ERS-1 ele leva também o Global Ozone Monitoring Experiment (GOME). Este instrumento mede os traços dos gases da troposfera e estratosfera. O programa ERS contribui também para a futura Missão da Plataforma Polar Européia. Mais recentemente, em 2002, foi lançado o ENVISAT que leva a bordo 10 sensores, um deles é o ASAR, um sistema avançado de radar.

Referências Bibliográficas

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo. ed. : Edgard Blücher, 1989, 308p.

4. CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS DE SENSORES REMOTOS

Bernardo F. T. Rudorff
Divisão de Sensoriamento
Remoto/INPE
São José dos Campos-SP
bernardo@ltid.inpe.br

Introdução

Um sensor a bordo de uma aeronave ou satélite pode gerar dados de sensoriamento remoto em forma de imagem. Mais adiante vamos ver que um sensor remoto também pode ser utilizado para obter dados, em forma de tabela ou gráfico, a poucos metros da superfície terrestre ou mesmo de amostras em laboratório para estudos específicos.

Antes do advento dos satélites de sensoriamento remoto na década de 70, do século passado, o uso de fotografias aéreas era muito comum e até hoje estas fotografias são insubstituíveis para muitas aplicações. Entretanto, notamos que com o avanço tecnológico as imagens dos sensores de satélites de sensoriamento remoto estão se aproximando da qualidade das fotografias aéreas. Todavia, para o momento, vamos nos ater às imagens obtidas por satélites de sensoriamento remoto e deixar as fotografias aéreas para outra discussão.

Existe hoje um grande número desses satélites em órbita ao redor da Terra. Eles obtêm imagens com características distintas que dependem tanto do satélite quanto do sensor. Os sensores podem ser comparados aos nossos olhos. Se olharmos para uma floresta que está distante conseguimos ver apenas uma mancha de árvores. À medida que nos aproximamos desta floresta começamos a identificar árvores isoladas e se nos aproximarmos ainda mais das árvores poderemos até identificar os diferentes tipos de folhas. A mesma experiência poderia ser feita à distância se dispuséssemos de um binóculo ou de uma luneta. Assim, precisamos entender algumas das características básicas dos satélites e de seus sensores para conhecermos a finalidade a que se destina cada produto ou imagem de sensoriamento remoto e o que podemos e não podemos "enxergar" nestas imagens com a tecnologia atualmente disponível para esta finalidade e de uso civil.

Característica Espectral

Uma imagem de sensoriamento remoto colorida é resultante da combinação das três cores básicas (azul, verde e vermelho), associadas através de filtros às

imagens individuais obtidas em diferentes comprimentos de onda ou faixas espectrais, conforme é apresentado nas Figuras 4.1, 4.2 e 4.3. Notamos que um mesmo objeto, por exemplo uma floresta, pode aparecer em tonalidade verde escuro (Figura 4.1), vermelho (Figura 4.2) ou verde intenso (Figura 4.3) dependendo da associação feita entre as cores e as imagens obtidas em nas diferentes faixas do espectro eletromagnético em que opera o sensor. Por exemplo, um sensor que opera na faixa visível do espectro eletromagnético, em geral, possui três bandas espectrais que correspondem aos comprimentos de onda do azul, verde e vermelho. As imagens apresentadas nas Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 foram obtidas pelo sensor Enhanced Thematic Mapper (ETM+) a bordo de um dos satélites americanos da série LANDSAT. Cabe lembrar que o sensor capta a energia refletida pelo objeto num determinado comprimento de onda, portanto, objetos claros refletem muita energia (p. ex. solo exposto) enquanto objetos escuros (p. ex. água sem sedimentos) refletem pouca energia. A vegetação reflete uma quantidade muito pequena de energia na faixa espectral do vermelho, pois ela utiliza boa parte desta energia no processo da fotossíntese e, portanto, aparece em tonalidade escura na banda que correspondente à faixa do vermelho (banda ETM-3; Figura 4.2). Já na faixa do infravermelho próximo a vegetação reflete muita energia, em função da estrutura celular das folhas, de tal forma que aparece em tonalidade clara na banda que corresponde à faixa do infravermelho próximo do espectro eletromagnético (banda ETM-4; Figura 4.2)

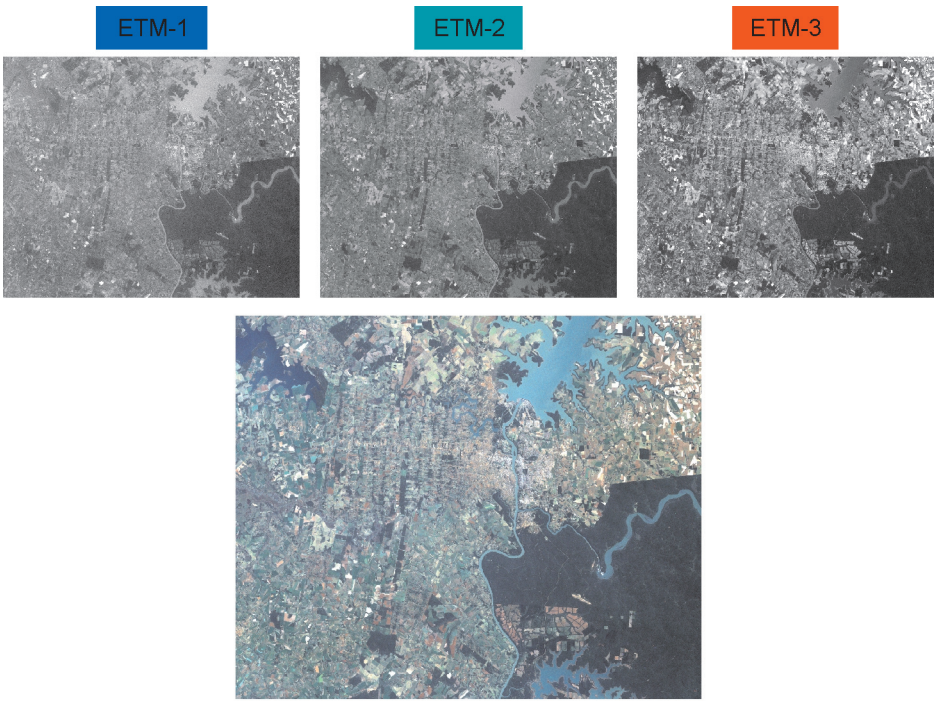


Figura 4.1. Imagem em composição colorida utilizando as bandas ETM-1 (azul), ETM-2 (verde) e ETM-3 (vermelho) do sensor ETM+ do satélite LANDSAT-7 (órbita 224, ponto 78) de 05 de agosto de 1999.

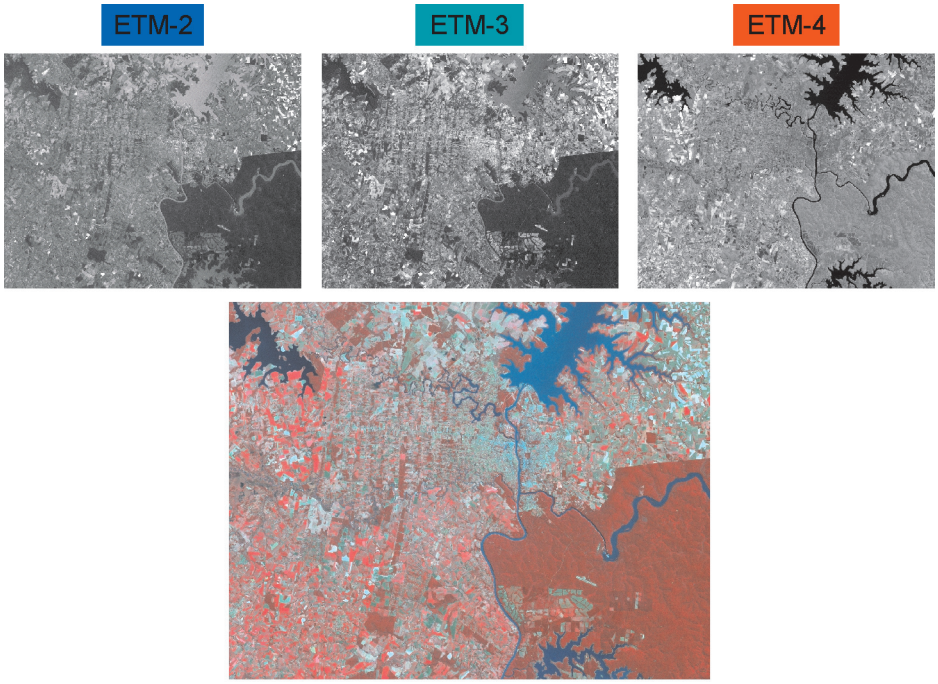


Figura 4.2. Imagem em composição colorida utilizando as bandas ETM-2 (verde), ETM-3 (vermelho) e ETM-4 (infravermelho próximo) do sensor ETM+ do satélite LANDSAT-7 (órbita 224, ponto 78) de 05 de agosto de 1999.

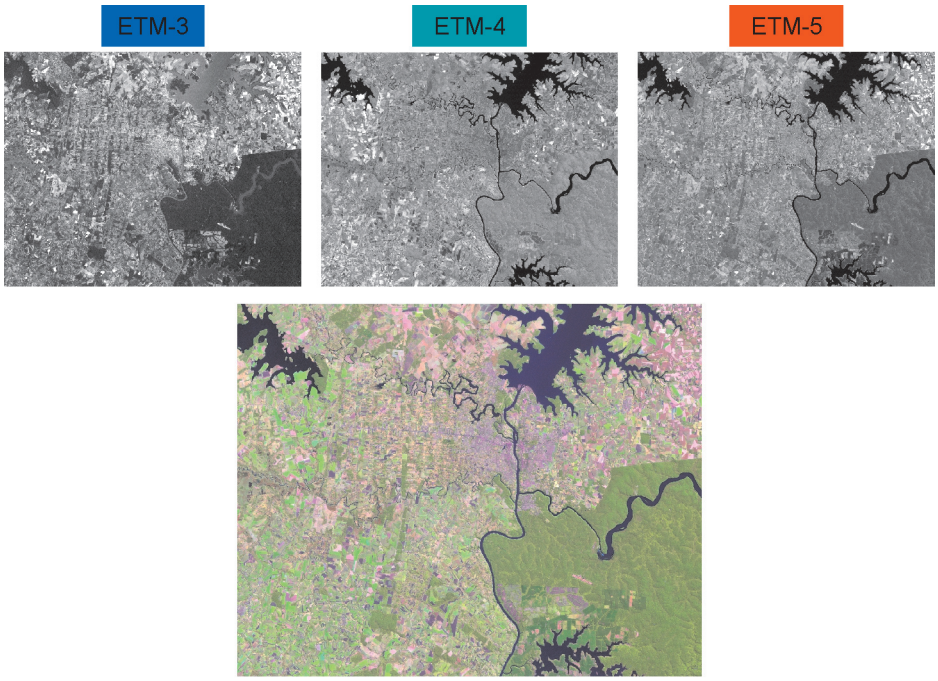


Figura 4.3. Imagem em composição colorida utilizando as bandas ETM-3 (vermelho), ETM-4 (infravermelho próximo) e ETM-5 (infravermelho médio) do sensor ETM+ do satélite Landsat-7 (órbita 224, ponto 78) de 05 de agosto de 1999.

Característica Espacial

O nível de detalhe com que podemos observar os objetos da superfície terrestre é outra característica importante das imagens de sensoriamento remoto à qual damos o nome de resolução espacial, ou seja, a capacidade que o sensor possui para discriminar objetos em função do seu tamanho. As atuais imagens do satélite LANDSAT têm uma resolução espacial de 30 metros, o que implica que objetos com dimensões menores do que 30 x 30 m não podem ser identificados. A resolução espacial dos sensores a bordo dos

satélites de sensoriamento remoto varia de 0,60 metro até 1 km. A Figura 4.4 apresenta uma imagem do satélite IKONOS-II com resolução espacial de 1 x 1 m na qual podemos observar nitidamente feições locais como o traçado das ruas e até mesmo árvores e casas. A Figura 4.5 apresenta uma imagem do sensor WFI, a bordo do satélite sino-brasileiro CBERS-1 (*China-Brazil Earth Resources Satellite*), com resolução espacial de 260 x 260 m na qual podemos observar feições regionais como a distribuição das cidades ao longo do eixo Rio-São Paulo. Na Figura 4.6 é apresentada uma imagem do sensor AVHRR, a bordo do satélite NOAA, com uma resolução espacial de 1 x 1 km na qual observamos feições globais como por exemplo distribuição da cobertura vegetal no território brasileiro.

Figura 4.4. Imagem do satélite IKONOS-II com resolução espacial de 1x1m (cedida pela Intersat), permitindo uma visão local.

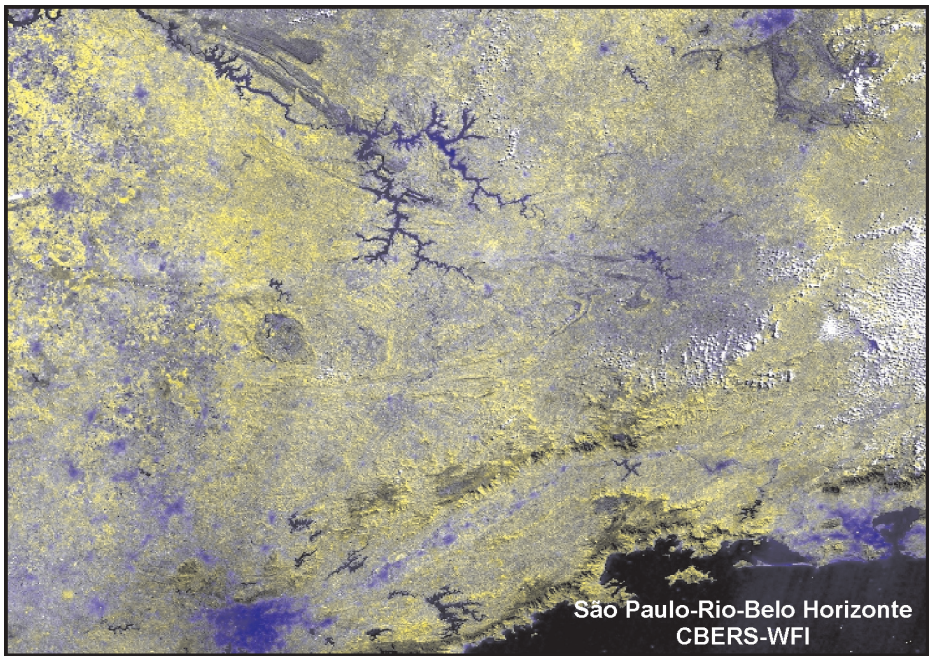


Figura 4.5. Imagem do WFI, a bordo do satélite CBERS-1, com resolução espacial de 260x260m, permitindo uma visão regional de parte dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

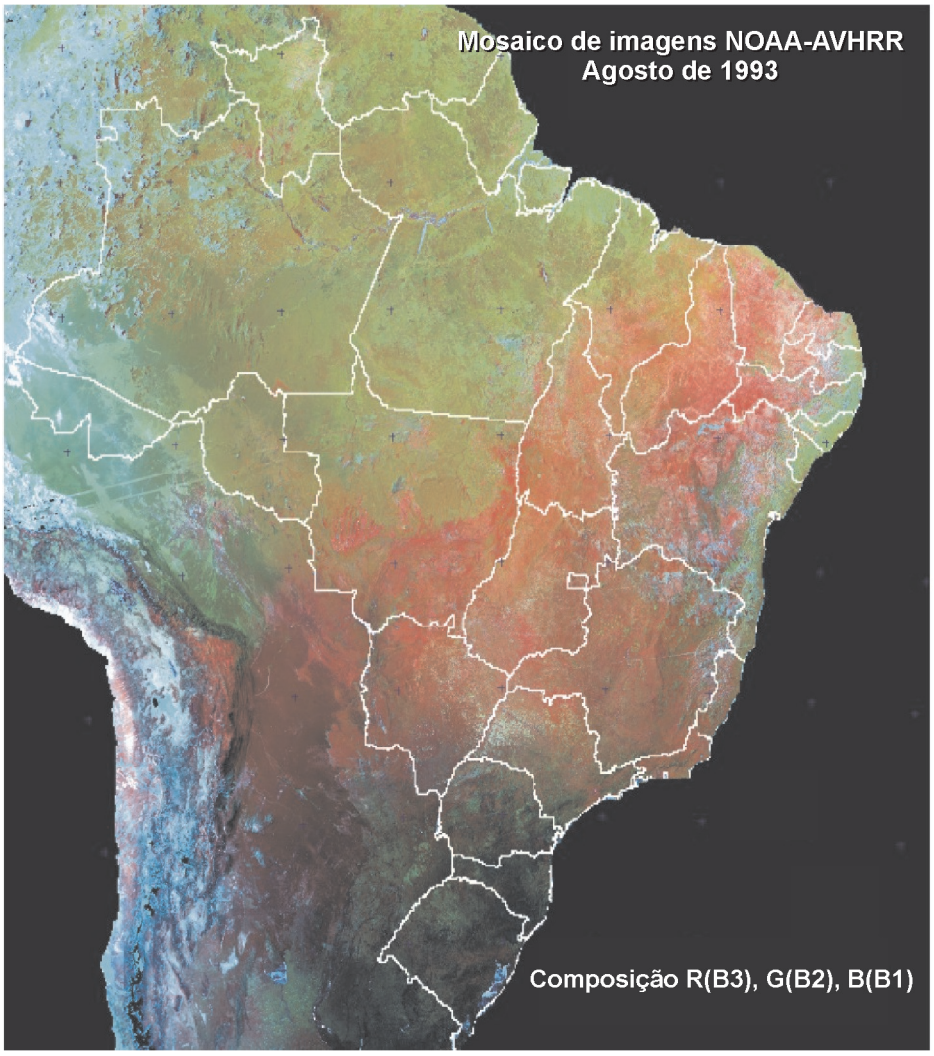


Figura 4.6. Imagem do satélite NOAA do sensor AVHRR com resolução espacial de 1000x1000m (Shimabukuro & Rudorff, 2000), permitindo uma visão global.

Característica Temporal

A freqüência com que a superfície terrestre é observada ou imageada é uma terceira característica importante das imagens de sensoriamento remoto. Os satélites de sensoriamento remoto orbitam ao redor da Terra em órbitas quase polar, ou seja, de um polo a outro a uma distância da superfície terrestre em torno de 400 a 800 km, conforme é exemplificado para o satélite CBERS na Figura 4.7. Através da combinação sincronizada da velocidade do satélite com a rotação da Terra é possível recobrir todo planeta após um certo número de dias. Cada passagem do satélite é chamada de órbita. Dependendo das características do sensor, a órbita de imageamento pode ser mais larga ou mais estreita semelhante ao *zoom* de uma câmara fotográfica (se "aproximamos" o objeto o campo de visada fica menor ou se "distanciamos" o objeto o campo de visada fica maior). Satélites com sensores de órbita de imageamento larga, como o NOAA-AVHRR que imageia uma faixa de 2.700 km de largura na superfície terrestre, recobrem o globo terrestre diariamente, enquanto que satélites com órbita de imageamento estreita, como o IKONOS-II que imageia uma faixa de apenas 11 km de largura,

podem levar quase um ano para imagear todo o planeta. Os sensores mais recentes dos satélites da série LANDSAT têm uma largura de órbita de 185 km e recobrem todo o planeta a cada 16 dias, ou seja, podemos obter uma imagem de uma determinada área a cada 16 dias e dizemos que a resolução temporal do LANDSAT é de 16 dias. Entretanto, é importante notar que para se obter imagens da superfície terrestre não pode haver a presença de nuvens pois elas formam um anteparo entre o satélite e a superfície. Durante o período de inverno que corresponde à estação seca a probabilidade de se obter imagens livres de nuvens é alta.

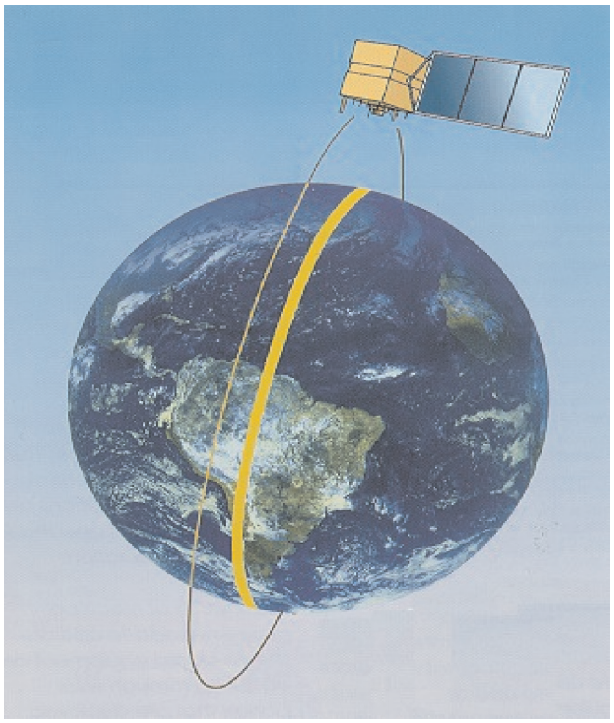


Figura 4.7. Órbita do satélite CBERS: altitude 778 km; inclinação 98,504o; período 100,26 min.

Característica Espacial *versus* Temporal

Com base no exposto acima concluímos que existe uma relação entre o nível de detalhe (resolução espacial) e a freqüência de observação (resolução temporal) da superfície terrestre. A Figura 4.8 é uma representação da órbita de imageamento dos três sensores do satélite CBERS – CCD, IRMSS e WFI. O sensor CCD distingue objetos com dimensões de até 20 x 20 m e sua largura de órbita é de 120 km, fazendo com que a freqüência de revisita seja de 26 dias. O sensor WFI, que distingue objetos com dimensões de 260 x 260 m, possui uma largura de órbita de 890 km e recobre todo o planeta em menos de 5 dias. Neste momento podemos perguntar: – qual destes sensores é melhor? E a resposta vai depender do que estamos querendo observar na superfície terrestre. Se, por exemplo, queremos observar o andamento do cultivo da soja no Paraná certamente vamos optar pelas imagens do WFI, pois o objetivo é observar grandes áreas e várias vezes ao longo do ciclo de

desenvolvimento da cultura. Se por outro lado, quisermos mapear as áreas plantadas com café no estado do Paraná vamos optar pelas imagens do CCD, pois queremos observar áreas relativamente pequenas e basta uma ou duas imagens por ano para realizarmos este mapeamento anualmente.

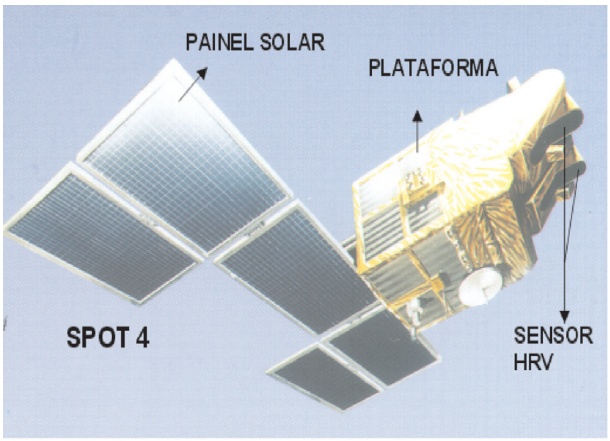


Figura 4.8. As diferentes larguras das órbitas de imageamento dos sensores a bordo do CBERS: WFI (890 km); CCD (120 km); e IRMSS (113 km).

Imagens adquiridas no Brasil

O Brasil recebe as imagens dos satélites de sensoriamento remoto para todo o território brasileiro e boa parte da América do Sul através de uma antena de recepção localizada no centro geométrico da América do Sul em Cuiabá-MT. Existem hoje dezenas de satélites de sensoriamento remoto pertencentes a diferente países. O Brasil pode receber atualmente imagens dos satélites Landsat-5 e -7, CBERS, SPOT (até o SPOT-4), NOAA-AVHRR, Terra-MODIS e Aqua-MODIS. Imagens do satélite IKONOS-II e de outros satélites de alta resolução espacial podem ser adquiridas sobre o Brasil através de um gravador de bordo dos satélites e posterior transmissão dos dados para uma estação de recepção localizada em outra parte do planeta, por exemplo, EUA. Desde fevereiro de 2001, o Brasil está gravando também as imagens do satélite canadense RADARSAT. Este satélite gera imagens na faixa das microondas na qual a radiação proveniente da superfície terrestre é detectada por meio de antenas, e não através de um sistema de lentes e detectores como é o caso dos demais satélites de sensoriamento remoto ótico destacados neste capítulo.

Dados de Espectrorradiômetro

Como havíamos mencionado anteriormente, um sensor remoto também pode ser utilizado para obter dados a poucos metros da superfície terrestre ou mesmo de amostras em laboratório. Neste caso não se obtém imagens, mas sim um gráfico que relaciona a quantidade de energia refletida com o comprimento de onda. Chamamos de comportamento espectral de alvos aos estudos relacionados com a obtenção de medidas a campo ou em laboratório, utilizando sensores denominados de espectrorradiômetros,

com a finalidade de verificar como os alvos ou objetos refletem a energia incidente, em função das suas características bio-fisico-químicas ao longo de determinadas faixas do espectro eletromagnético. Estes estudos propiciam definir adequadamente as bandas espectrais de sensores a bordo de satélites, além de permitir um melhor entendimento sobre a interação da radiação eletromagnética com os objetos e consequentemente identificá-los de forma correta nas imagens dos satélites. A Figura 4.9 mostra a obtenção de medidas com um espectrorradiômetro a campo sobre a cultura do trigo.

Figura 4. 9. Comportamento espectral de alvos na região visível e infravermelho próximo do espectro eletromagnético.
Crédito das imagens CBERS e LANDSAT: INPE.

Bibliografias Recomendadas

DIAS, N.W.; BATISTA, G.; NOVO, E.M.M.; MAUSEL, P.W.; KRUG, T. **Sensoriamento remoto:** aplicações para a preservação, conservação e desenvolvimento sustentável da Amazônia. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2003. 1 CD-ROM educacional. Disponível em: www.ltid.inpe.br/cdrom. Acesso em: 22 mar. 2006.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

5. INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS

Teresa Gallotti Florenzano
Divisão de Sensoriamento
Remoto/INPE
São José dos Campos-SP
teresa@dsr.inpe.br

A partir da interpretação de imagens de satélite é possível obter muitas informações sobre os ambientes da superfície terrestre e gerar mapas como os de geologia, solos, relevo, vegetação e uso da terra. No processo de interpretação de uma imagem, isto é, de identificação dos objetos nela representados, utilizamos suas variações de cor, forma, tamanho, textura (impressão de rugosidade), padrão (arranjo espacial dos objetos), localização e contexto. Assim, por exemplo, na imagem colorida da Figura.5.1, identificamos pela forma e localização a ilha de São Sebastião no litoral do Estado de São Paulo. Pelas cores diferenciamos:

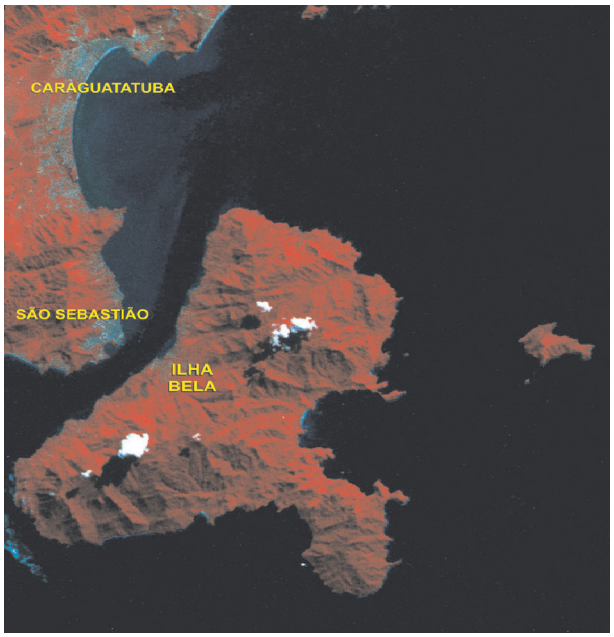


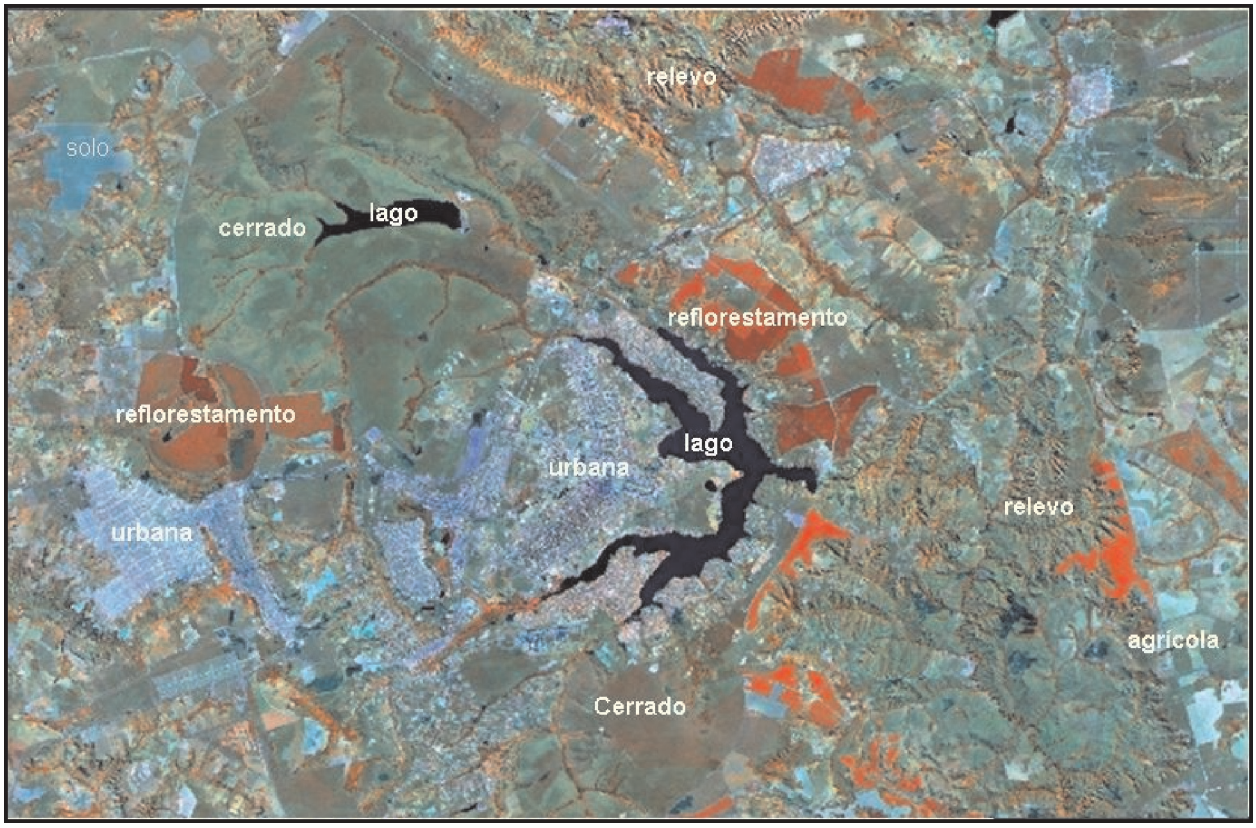
Figura 5.1. Imagem do litoral norte do Estado de São Paulo obtida pelo sensor CCD, a bordo do satélite sino-brasileiro CBERS-1, em 03-05-2000. Crédito da imagem: INPE.

- a água limpa (preto), da água turva (azul / verde);
- as áreas urbanas de Caraguatatuba e São Sebastião, bem como as praias pela cor cian;
- as áreas de cobertura vegetal densa como as da Mata Atlântica estão representadas em vermelho neste tipo de composição colorida (denominada de falsa-cor);
- as nuvens (em branco) sobre a ilha, com as respectivas sombras (em preto), formam um padrão que ajuda a identificá-las.

A textura e a sombra permitem destacar o relevo montanhoso da ilha e o da Serra do Mar, no continente.

Um outro exemplo de interpretação é apresentado com a imagem de satélite do Distrito Federal (Figura 5.2) na qual podemos distinguir a área urbana de Brasília e a das cidades satélites pela cor cian e textura ligeiramente rugosa; a vegetação de cerrado mais aberta e seca pela cor verde, a mais fechada e menos seca em tons avermelhados; o reflorestamento em vermelho escuro e forma regular (geométrica); lagos em preto e forma irregular; o solo exposto (sem cobertura vegetal) e as áreas agrícolas com o solo preparado para o plantio das culturas aparecem em cian/verde, textura lisa e forma regular (geométrica); o relevo dissecado pela drenagem pode ser discriminado principalmente pela textura rugosa.

Figura 5.2. Imagem do Distrito Federal obtida pelo sensor TM, a bordo do satélite LANDSAT-5, em 25-05-1984.
Crédito da imagem: INPE.



Mais um exemplo é mostrado através da imagem da região do delta do rio Parnaíba (Figura 5.3). Pela cor azul (água turva) e a forma linear identificamos o rio Parnaíba; pela forma irregular e em preto é representada a água limpa das lagoas; pela cor e localização discriminamos a vegetação de cerrado (verde claro) da vegetação de mangue (verde escuro), localizada no litoral; a área urbana da cidade de Parnaíba pela cor rosa (magenta) e textura ligeiramente rugosa; as áreas de solo exposto (sem cobertura vegetal) são discriminadas pela cor magenta e textura lisa; as praias pelo branco e forma retilínea, além da localização (litoral); as dunas pelo branco, localização (próxima ao litoral) e forma.

Figura 5.3. Imagem do delta do Parnaíba obtida pelo sensor TM, a bordo do satélite LANDSAT-5, em 10-06-1991.
Crédito da imagem: INPE.

O último exemplo apresentado refere-se à imagem TM-LANDSAT de um setor do Rio de Janeiro (Figura 5.4) na qual pela cor cinza esverdeado/marron claro e textura ligeiramente rugosa podemos identificar a área urbana construída; pela cor discriminamos a água do oceano mais limpa e profunda (em preto) da água turva, mais próxima da costa, com tonalidades mais claras; em verde identificamos a cobertura vegetal; pela forma linear e pela localização podemos identificar a ponte Rio-Niterói e as pistas do aeroporto do Galeão; também pela forma e localização (no oceano) a ilha do Governador e do Fundão; pela cor (branca), forma (alongada), tamanho e localização identificamos os navios na Baía de Guanabara.

Figura 5.4. Imagem do Rio de Janeiro obtida pelo sensor TM, a bordo do satélite LANDSAT-5, em 05-08-1985. Fonte: http://www.dgi.inpe.br/html/gal-1.htm

Com relação à cor dos objetos, cabe destacar que as imagens de satélite são originalmente processadas em preto e branco. Com o uso de programas de computador elas podem ser transformadas em imagens coloridas. A partir das três cores primárias (azul, verde e vermelho), associadas a três imagens preto e brancas, podem ser realizadas várias combinações e assim geradas diferentes composições coloridas como as mostradas nos exemplos anteriores. Quanto à forma, devemos lembrar que a dos objetos vistos de cima (visão vertical) e representados em imagens é diferente daquela que os objetos têm quando olhamos para eles de uma visão lateral (horizontal).

Quanto maior for a nossa experiência e o conhecimento sobre: sensoriamento remoto (satélites, sensores, comportamento espectral dos objetos, processamento dos dados) características dos objetos e a área geográfica representada, maior é a quantidade de informação que podemos extrair de uma imagem de satélite.

Ter conhecimento prévio sobre a área representada em uma imagem facilita o processo de interpretação. Por isto, sugere-se iniciar explorando imagens da própria região. Mais informação sobre o processo de interpretação de imagens pode ser obtida na bibliografia recomendada.

Bibliografias Recomendadas

DIAS, N.W.; BATISTA, G.; NOVO, E.M.M.; MAUSEL, P.W.; KRUG, T. **Sensoriamento remoto**: aplicações para a preservação, conservação e desenvolvimento sustentável da Amazônia. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2003. 1 CD-ROM educacional. Disponível em: www.ltid.inpe.br/cdrom. Acesso em: 22 mar. 2006.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

6. APLICAÇÕES DE SENSORIAMENTO REMOTO

Angelica C. Di Maio
Departamento de Análise Geoambiental IG/UFF

Tania Maria Sausen
Departamento de Coordenação de Gestão Científica/INPE

Toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana e seus inter-relacionamentos. Para este tipo de análise é grande a contribuição da tecnologia de Sensoriamento Remoto.

Por exemplo, no mapeamento multitemático para subsidiar diagnósticos, avaliações e prognósticos ambientais bem como o ordenamento territorial. Na seleção dos dados para os diferentes tipos de análises é importante considerar as características das imagens orbitais. A resolução espectral não é suficiente para discriminar, por exemplo, entre classes de uso da terra (uso "cultural" da terra) em função da escala geográfica de análise da máxima generalização ao máximo detalhamento, é necessário levar em conta também a resolução espacial e a temporal. Esta última, principalmente quando a questão do dinamismo dos fenômenos é preponderante, ou seja, impactos e mudanças de curto prazo.

A vantagem do sensoriamento remoto por satélite é que as informações podem ser atualizadas com freqüência devido à característica de repetitividade de aquisição das imagens, e ainda a existência de dezenas de programas espaciais voltados à obtenção de dados para estudos de ambientes continentais, aquáticos e atmosféricos (neste caso com o uso de satélites meteorológicos).

Desde 1972, após o lançamento do primeiro satélite de recursos terrestres, o LANDSAT-1, foram feitos muitos estudos de levantamento, análise e monitoramento de recursos naturais com o uso de imagens orbitais. A observação da Terra por meio de sensores remotos é uma forma eficaz e econômica de coletar os dados necessários para monitorar e modelar fenômenos que ocorrem na superfície terrestre, especialmente em países de grande extensão territorial, como o Brasil. País de dimensões continentais, o Brasil enfrenta desafios relativos à ocupação, uso e manejo do seu imenso e diversificado espaço de 8.514.215,3 km^2, com uma população de cerca de 170.000.000 de habitantes (censo IBGE de 2002).

A partir da série LANDSAT, os estudos ambientais deram um enorme salto de qualidade, agilidade e número de informações. Desta forma, países em desenvolvimento, como o Brasil, foram os grandes beneficiados com essa tecnologia, pois por meio de seu uso, hoje é possível:

- atualizar a base cartogáfica do País;
- desenvolver mapas e obter informações sobre áreas minerais, bacias de drenagem, agricultura, florestas;
- melhorar e fazer previsões com relação ao planejamento urbano e regional;
- monitorar desastres ambientais tais como enchentes, poluição de rios e reservatórios, erosão, deslizamentos de terras;
- monitorar desmatamentos;
- promover estudos sobre correntes oceânicas e movimentação de cardumes, aumentando assim a produtividade na pesca;
- estimar a taxa de desflorestamento da Amazônia Legal;
- dar suporte aos planos diretores municipais;
- promover estudos de Impacto Ambiental (EIA) e Relatórios de Impacto sobre Meio Ambiente (RIMA);
- promover levantamento de áreas favoráveis para exploração de mananciais hídricos subterrâneos;
- monitorar mananciais e corpos hídricos superficiais;
- promover levantamento integrado de diretriz para rodovias e linha de fibra ótica;
- monitorar lançamento e dispersão de efluentes em domínios costeiros ou em barragens;
- estimar áreas plantadas em propriedades rurais para fins de fiscalização do crédito agrícola;
- identificar áreas de preservação permanente e avaliação do uso do solo;
- promover estudos de implantação de pólos turísticos ou industriais;
- promover avaliação do impacto de instalação de rodovias, ferrovias ou de reservatórios;

Vale ressaltar que o uso do sensoriamento remoto reduz o custo dos levantamentos de campo, sendo que o preço por km^2 das imagens orbitais é inferior a execução de missões de recobrimentos aerofotogramétricos.