

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA



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)

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



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 ($c = 300.000 \text{ Km/s}$, 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 frequência da radiação eletromagnética.

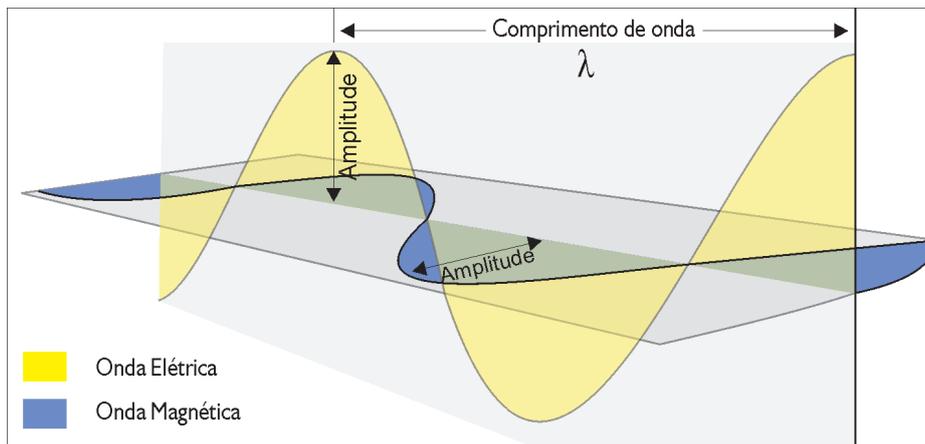


Figura 1.1. Comprimento de onda.

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

$$c=f.\lambda$$

onde:

c = velocidade da luz (m/s)

f = frequência (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 frequência e é definida por:

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

onde "h" é a constante de Planck ($6,625 \cdot 10^{-34}$ 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 frequência 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: $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$, nanômetro: $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) para comprimento de onda e múltiplas do Hertz (quilohertz: $1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz}$, megahertz: $1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$) para frequência.

Espectro Eletromagnético

A energia eletromagnética pode ser ordenada de maneira contínua em função de seu comprimento de onda ou de sua frequência, 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 frequência 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 frequências. 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.

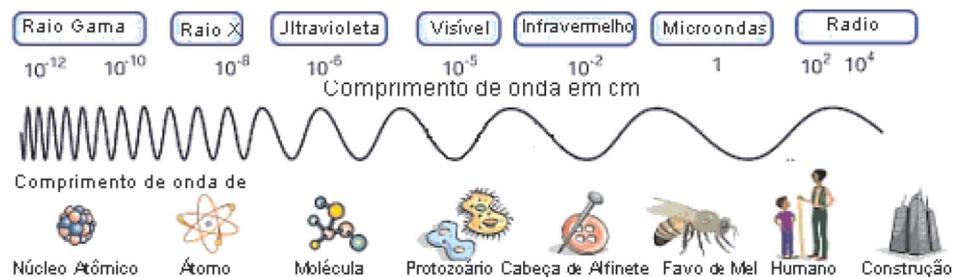


Figura 1.2. O espectro eletromagnético.
Fonte: <http://imagers.gsfc.nasa.gov/ems/waves3.html>

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 0,38 μm . 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.

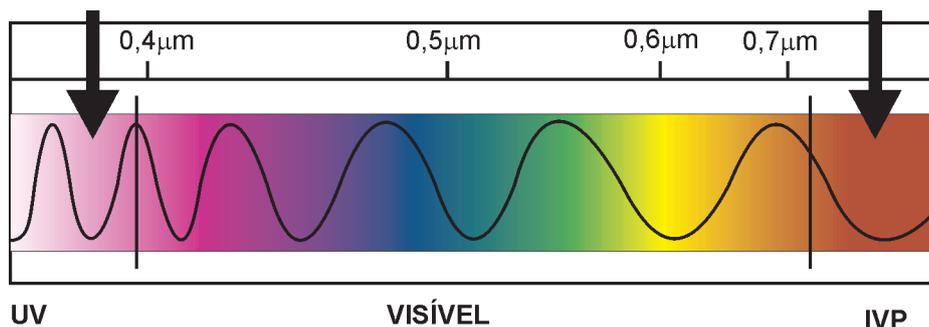


Figura 1.3. Distribuição de cores do espectro visível.

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>

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 frequência menor que 300 MHz (comprimento de onda maior que 1 m). 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 as 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.

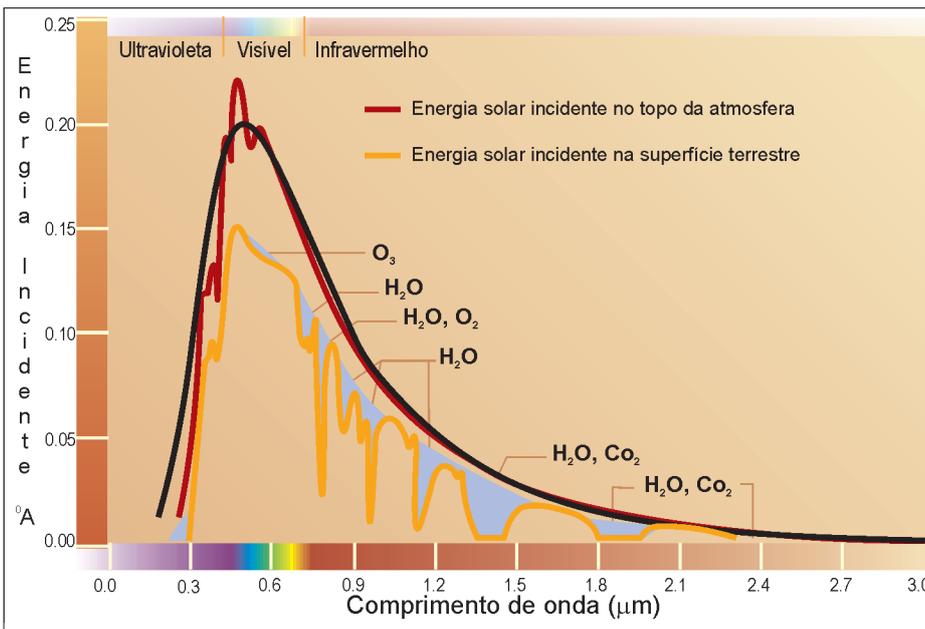
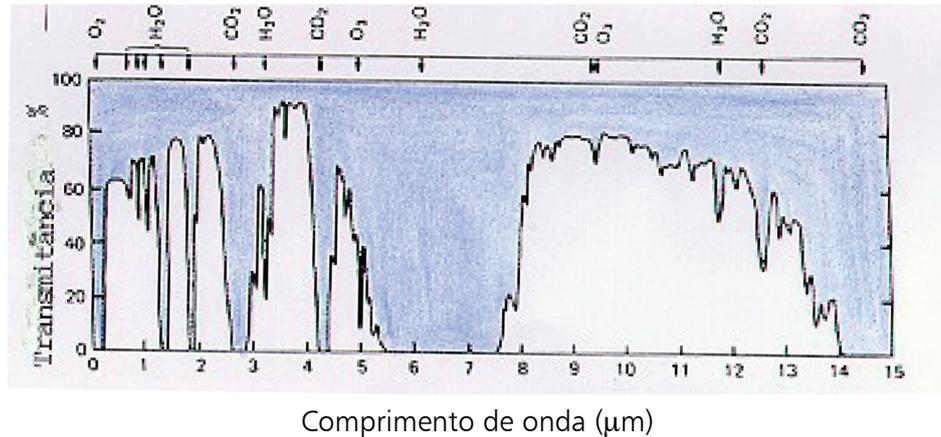


Figura 1.5. Curvas da distribuição espectral da energia solar na atmosfera/superfície terrestre. Fonte: <http://imagers.gsfc.nasa.gov/ems/gamma.html>

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 $9,6 \mu\text{m}$. 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 $14 \mu\text{m}$ 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 rádio.

!A atmosfera pode ser dividida 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.

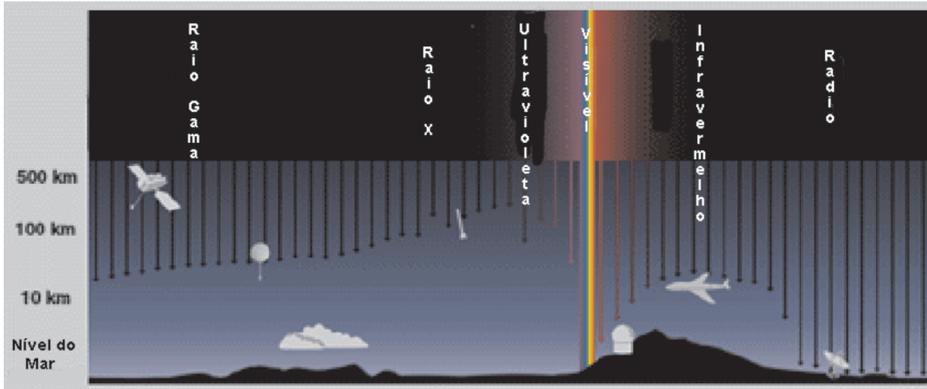


Figura 1.7. Extinção da radiação eletromagnética na atmosfera.

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.

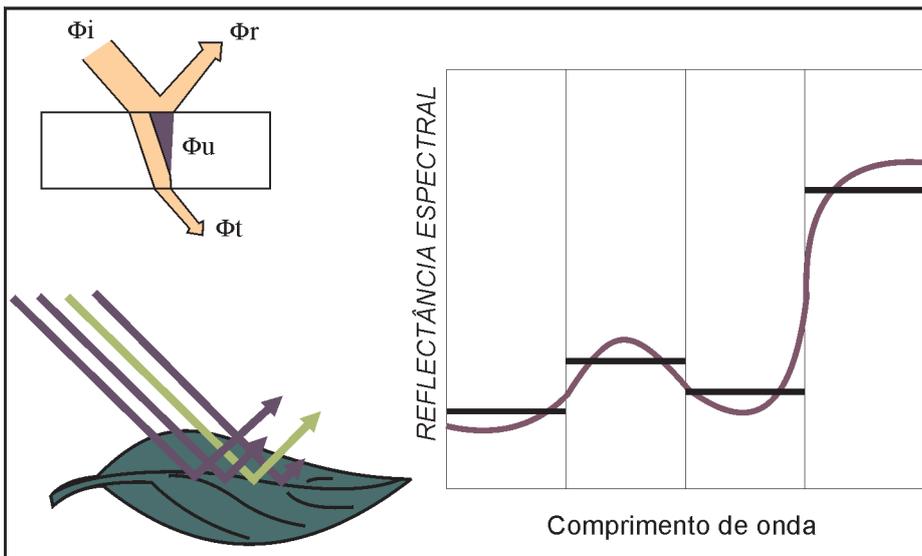


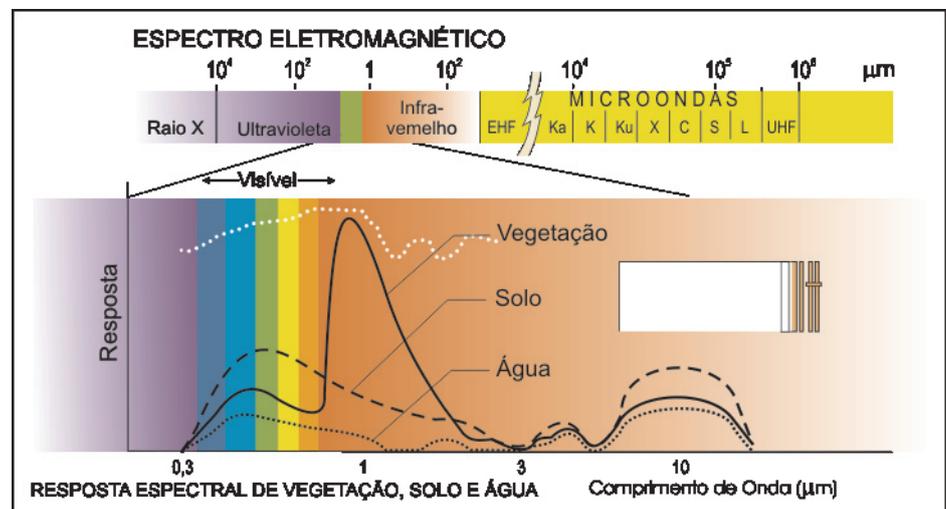
Figura 1.8. Interação da energia eletromagnética com o objeto, B (azul), G (verde) e R (vermelho).

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 0,7 μ m e máxima absorção acima de 0,7 μ m. 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 2 μ m.

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.

STEFEEEN, 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.

STEFEEEN, 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 detetor e pela digitalização do sinal elétrico produzido pelo detetor; e
- e) **unidade de saída:** é um componente capaz de registrar os sinais elétricos captados pelo detetor para posterior extração de informações.

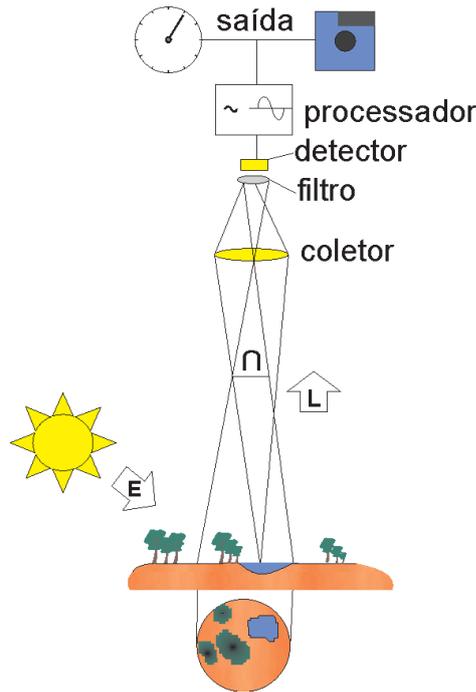


Figura 2.1. Componentes de um sensor.

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 detetor, 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 detetor. 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.

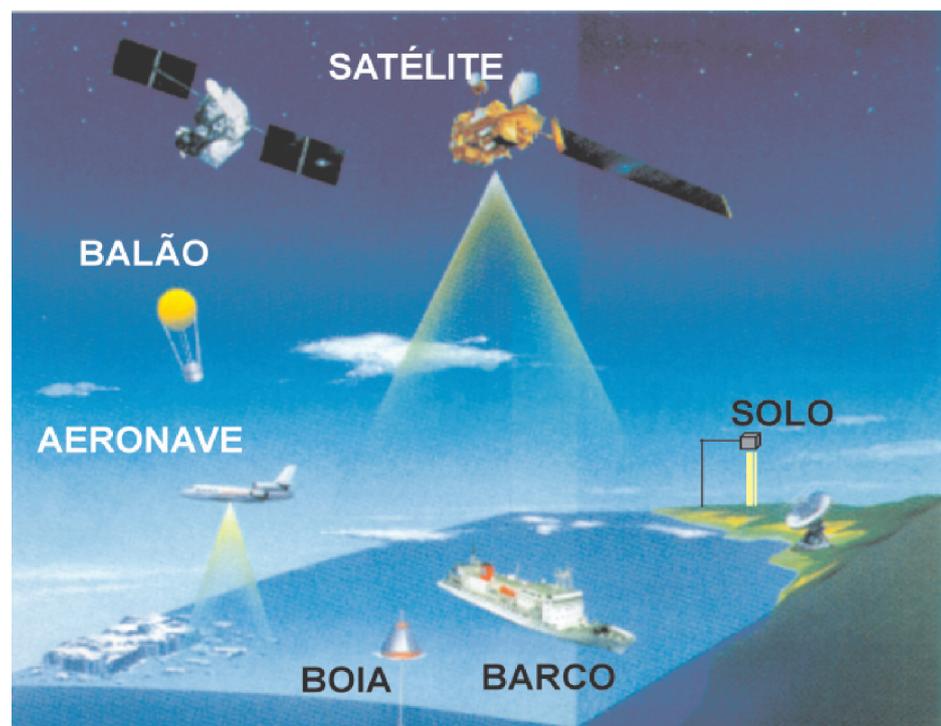


Figura 2.2. Níveis de Coleta de Dados.
Fonte: Moreira (2001)

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 aerolevanteamento.

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).

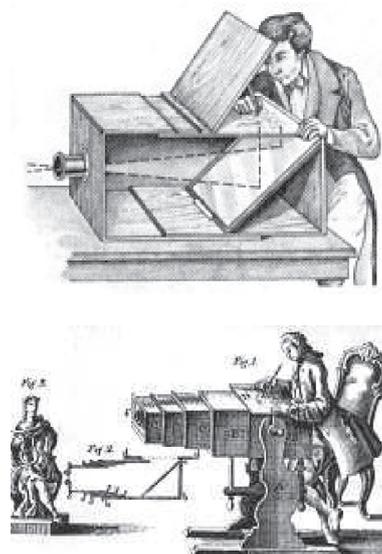


Figura 3.1. Câmeras escuras.
Fonte: <http://www.cotianet.com.br/photo/hist/camesc.htm>

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.

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 Wright 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



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

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.

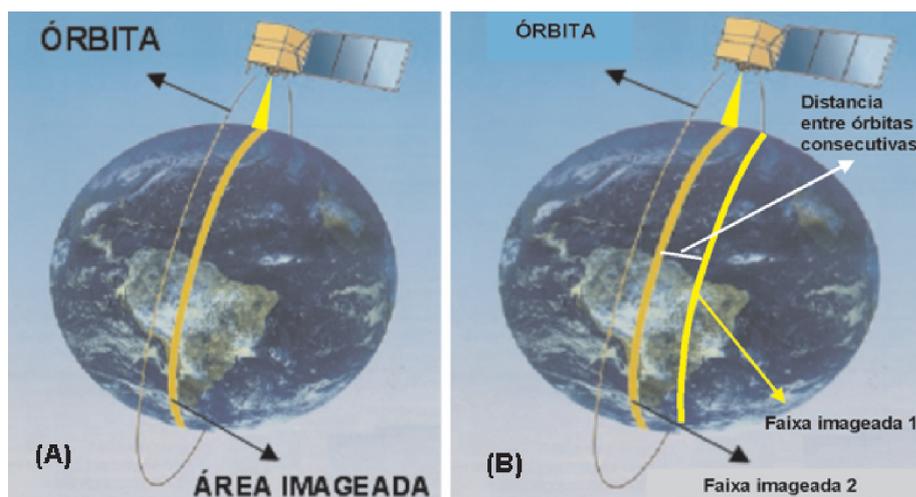
No sensoriamento remoto, a palavra satélite é empregada para se referir aos engenhos construídos pelo homem e que giram em torno da Terra ou de outros planetas e/ou satélites naturais. Nessa concepção, podemos dizer que os satélites são plataformas que carregam a bordo vários tipos de dispositivos destinados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

O desenvolvimento de satélites artificiais teve início na década de 50, quando no ano de 1957 a imprensa 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 torno 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 título 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 Enterprise 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 chave 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 98,2°, período orbital de 98,88 minutos e hora de 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

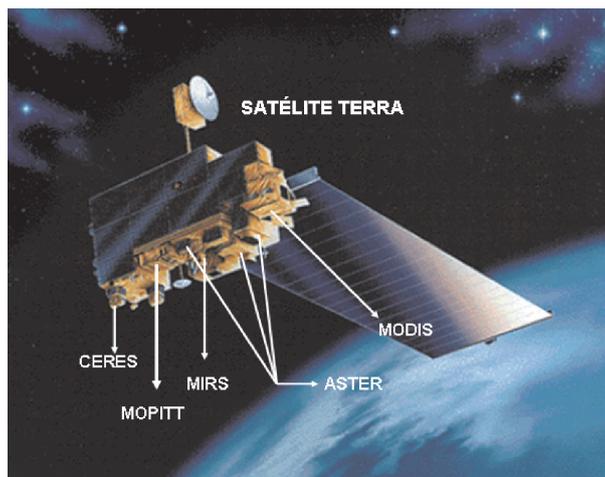


Figura 3.4. Foto do satélite EOS-AM.
Fonte: NASA (1992)

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.

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.

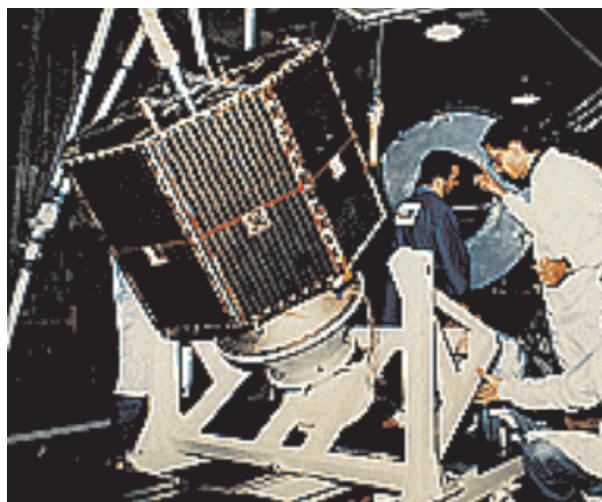


Figura 3.5. Foto do satélite SCD-1.

Fonte:

<http://www.inpe.br/programas/mecb/Port/fotos/satelite.htm>

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, 1989).

Durante as missões da série Gemini 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 imageador multiespectral 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.

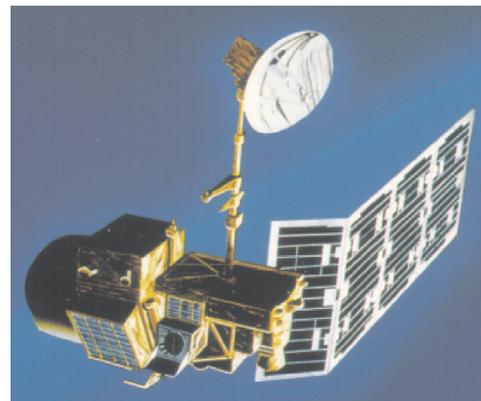


Figura 3.6. Plataforma dos satélites LANDSAT 4 e 5.
Fonte: <http://www.engesat.com.br/satelites/landsat5.htm>.

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

Earth Resources Technology 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 câmaras 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.

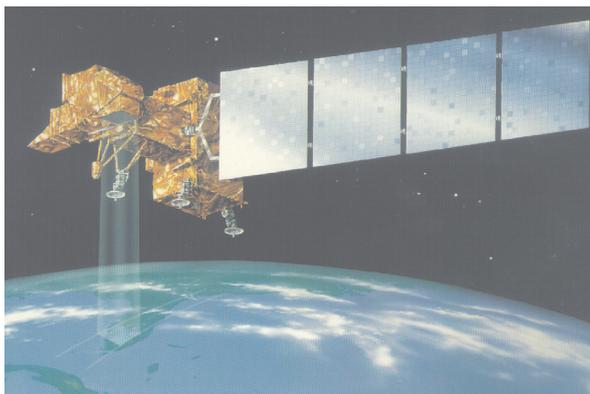


Figura 3.7. LANDSAT-7.
Fonte: EROS Data Center (1990).

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 Atmospheric 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°	-	98.2°
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

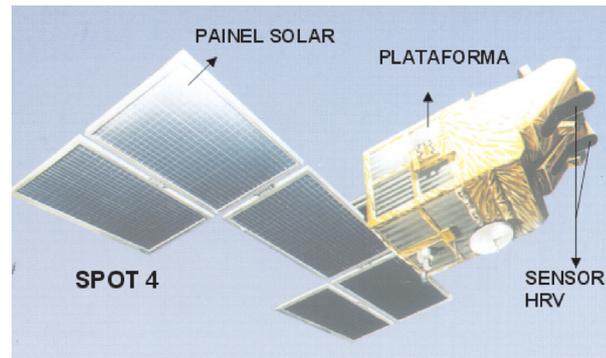


Figura 3.8. Foto do satélite SPOT-4.
Fonte: <http://www.spot.com/>

heliossíncrona, com altitude aproximada de 830 km. Mantém um período orbital de aproximadamente 104 min e inclinação de 98°, repetindo seu ciclo a cada 26 dias. Atualmente estão em operação os dois últimos.

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 LISS-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

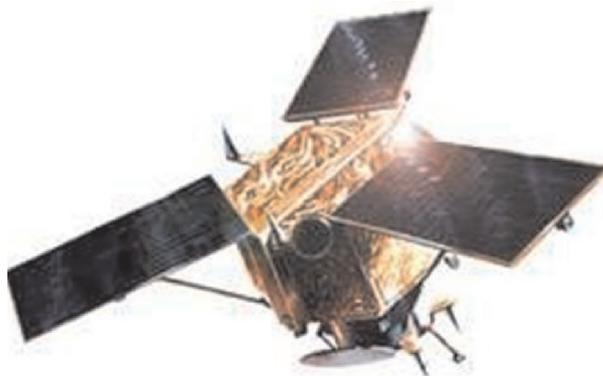


Figura 3.9. Satélite IKONOS II.

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 $98,1^\circ$ e velocidade de deslocamento de 7 km/s. O satélite IKONOS possui a bordo quatro sensores, sendo três multiespectral (Azul $0.45 - 0.52\mu$; Verde $0.52 - 0.60\mu$; Vermelho $0.63 - 0.69\mu$; Infravermelho próximo $0.76 - 0.90\mu$) com resolução espacial no terreno de $4\text{ m} \times 4\text{ m}$. Na banda pancromática (pan: 0.45 a 0.90μ) a resolução espacial é de $1\text{ m} \times 1\text{ m}$. O tamanho das faixas imageadas varia de $11\text{ km} \times 100\text{ km}$ até $11\text{ km} \times 1000\text{ km}$. O tempo de revisita é de 2.9 dias (pan) e 1.5 dias (multiespectral).

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 sensores 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 Câmara Pancromática de alta resolução (HRC) para o CBERS-2B.

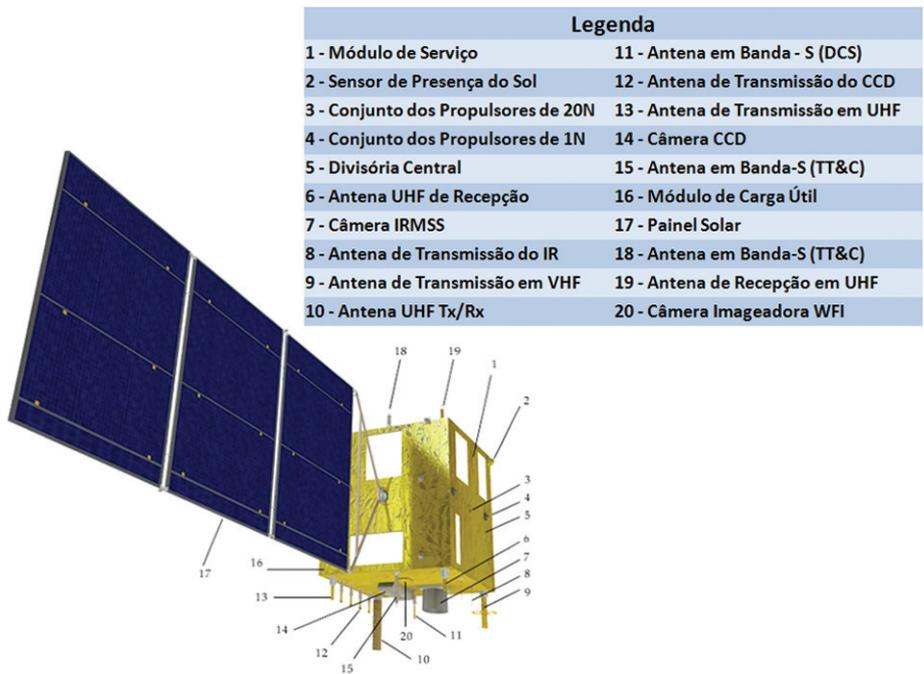
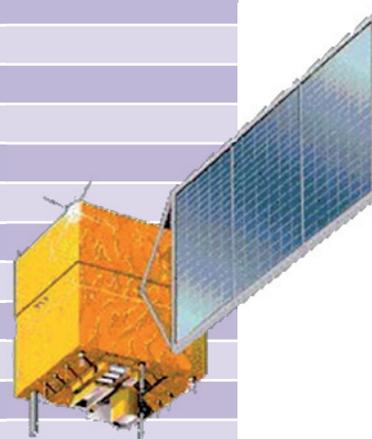


Figura 3.11. Satélite CBERS 2.
Fonte: CBERS/IINPE.

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: 2,1°

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: 8,3°

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: 60°

Resolução espacial: 260 x 260 m

Largura da faixa imageada: 890 km

Resolução temporal: 5 dias

Satélites com Sistemas Sensores Ativos

O Radar (“**R**adio **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>

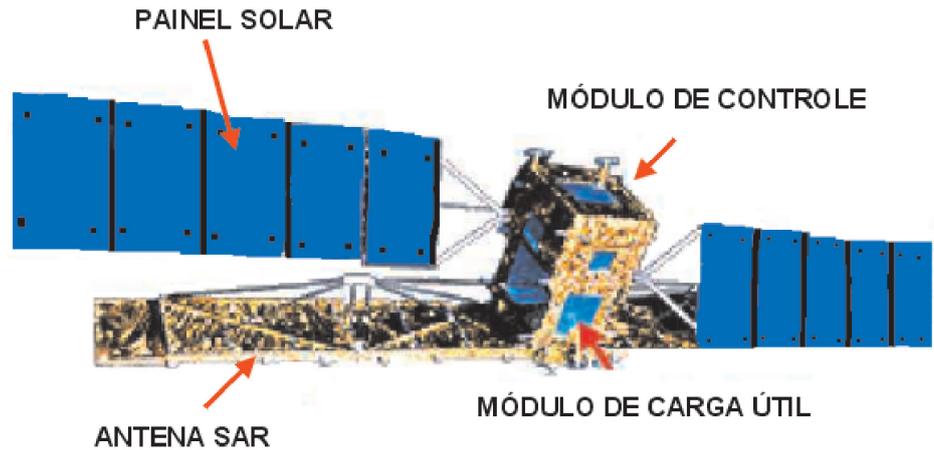


TABELA 8 – CARACTERÍSTICAS DO SATÉLITE RADARSAT

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 Kourou, 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 significativa 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@ltd.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)

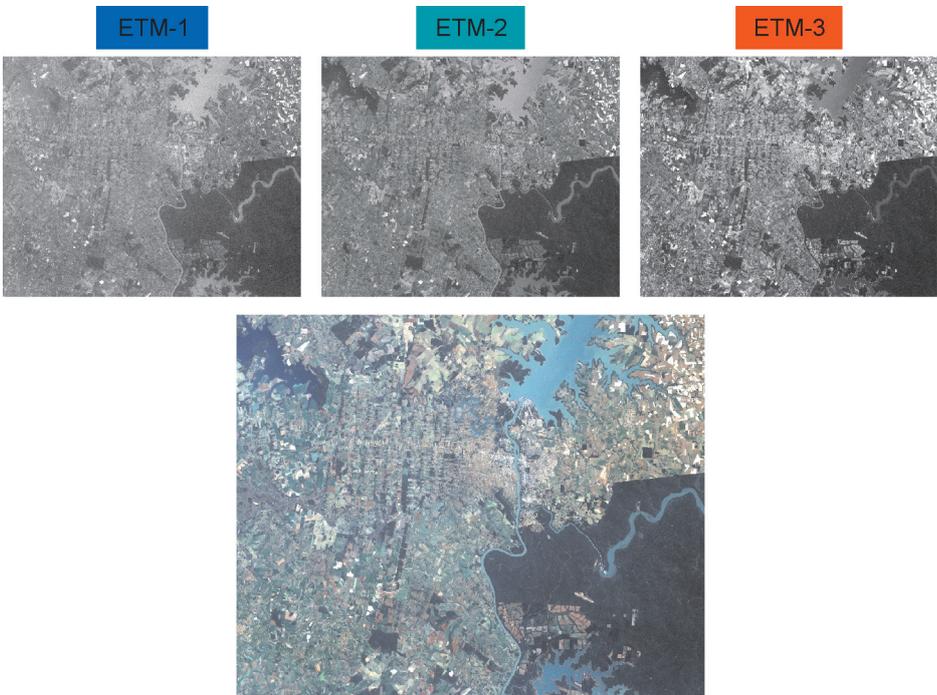


Figura 4.1. Imagem em composição colorida utilizando as bandas ETM-1 (azul), ETM-2 (verde) e ETM-3 (vermelho) do sensor ETM+ do satélite LANDSAT-7 (órbita 224, ponto 78) de 05 de agosto de 1999.

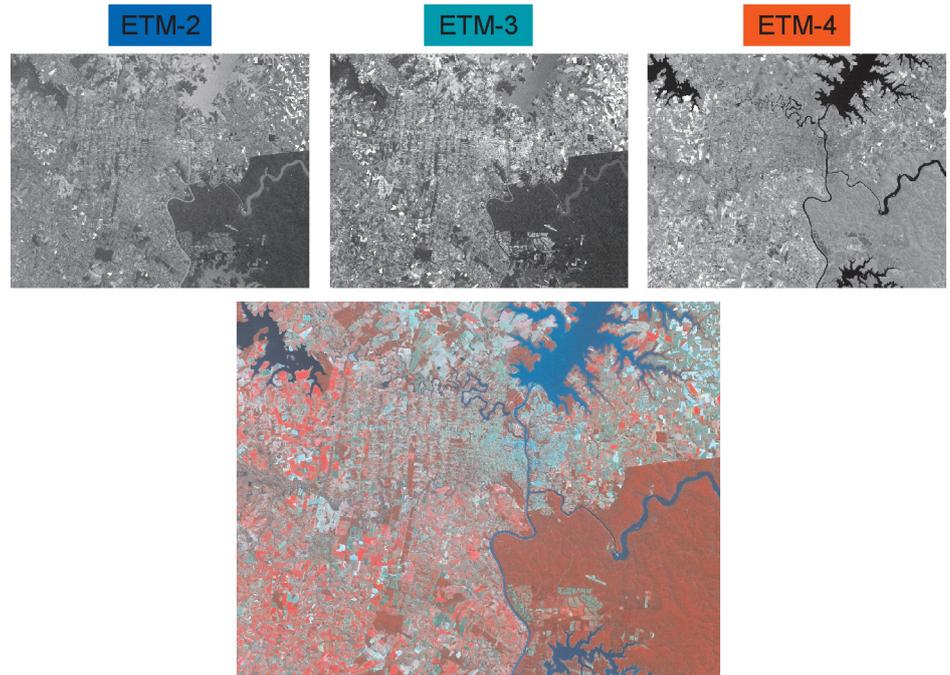


Figura 4.2. Imagem em composição colorida utilizando as bandas ETM-2 (verde), ETM-3 (vermelho) e ETM-4 (infravermelho próximo) do sensor ETM+ do satélite LANDSAT-7 (órbita 224, ponto 78) de 05 de agosto de 1999.

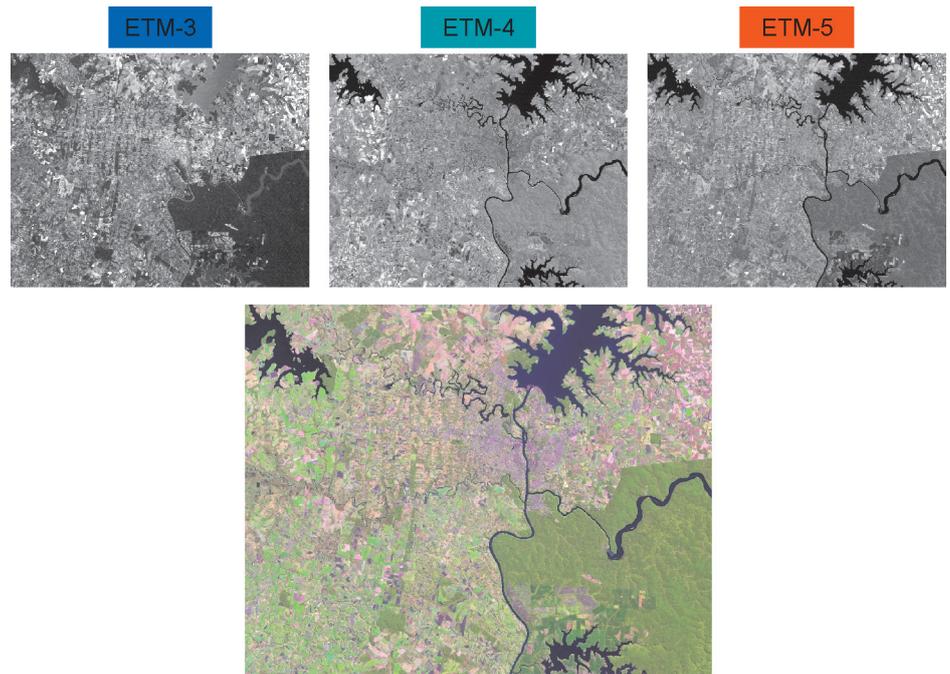


Figura 4.3. Imagem em composição colorida utilizando as bandas ETM-3 (vermelho), ETM-4 (infravermelho próximo) e ETM-5 (infravermelho médio) do sensor ETM+ do satélite Landsat-7 (órbita 224, ponto 78) de 05 de agosto de 1999.

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.

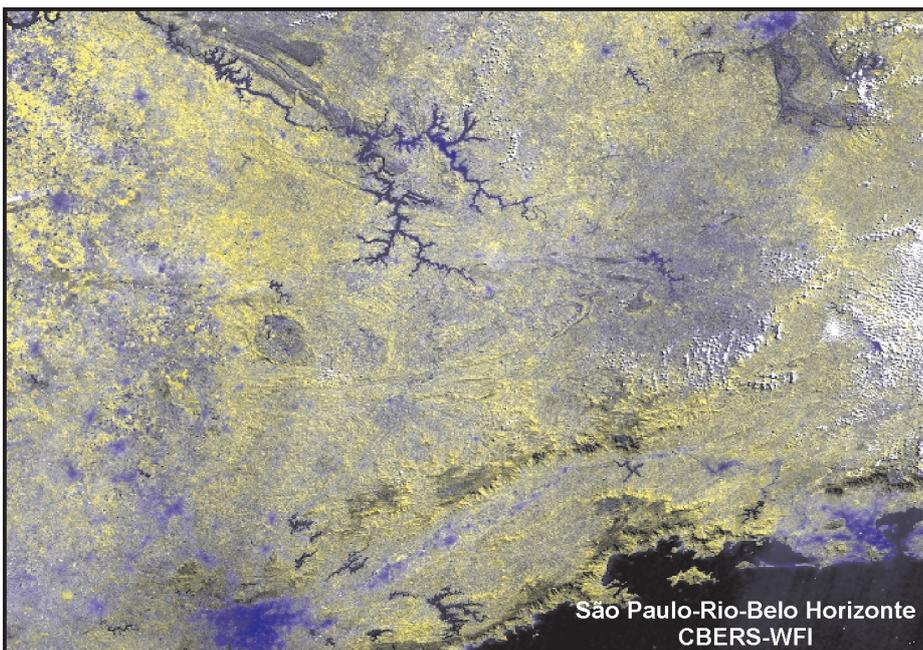


Figura 4.5. Imagem do WFI, a bordo do satélite CBERS-1, com resolução espacial de 260x260m, permitindo uma visão regional de parte dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

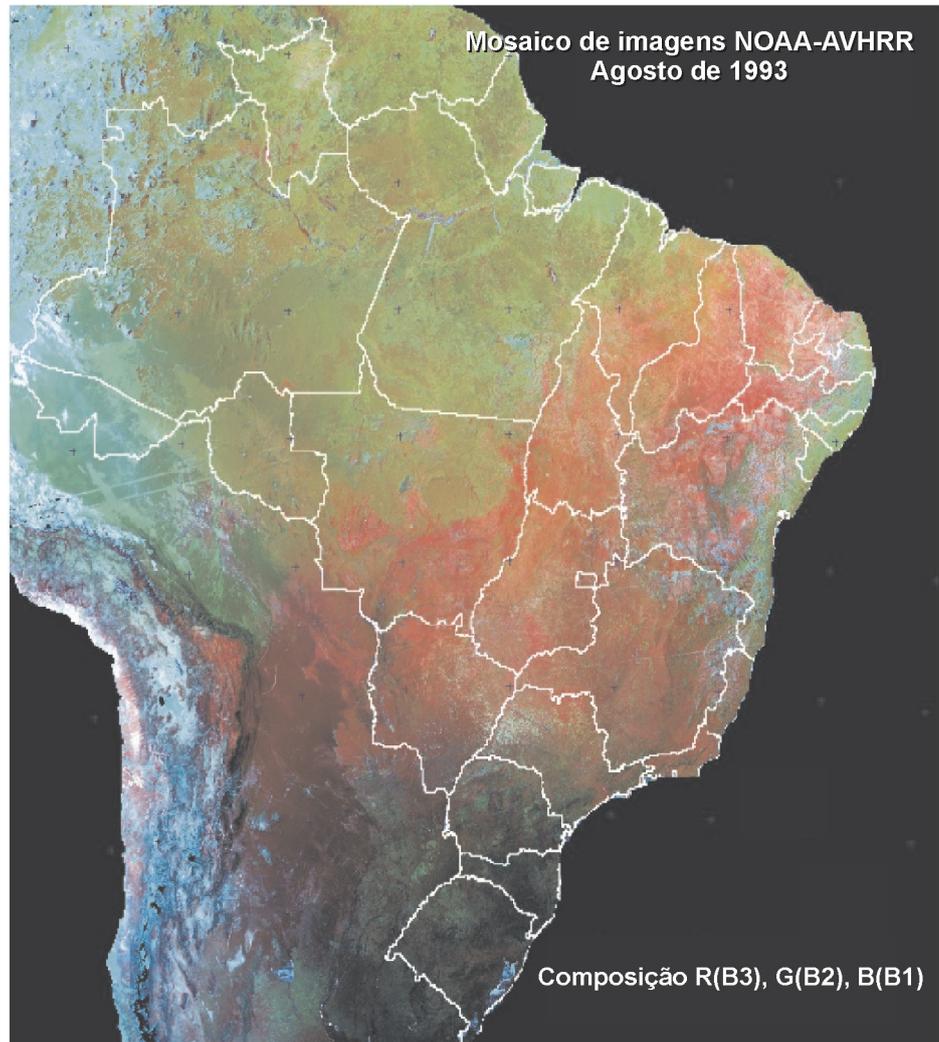


Figura 4.6. Imagem do satélite NOAA do sensor AVHRR com resolução espacial de 1000x1000m (Shimabukuro & Rudorff, 2000), permitindo uma visão global.

Característica Temporal

A frequência 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.

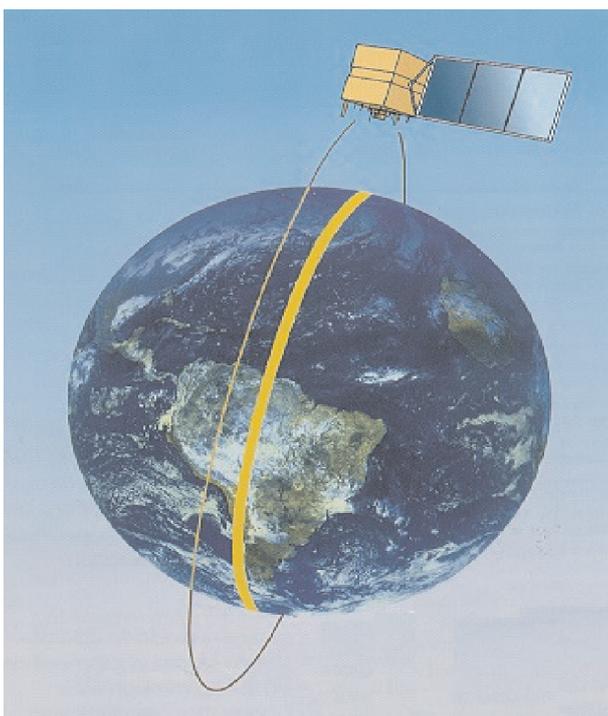


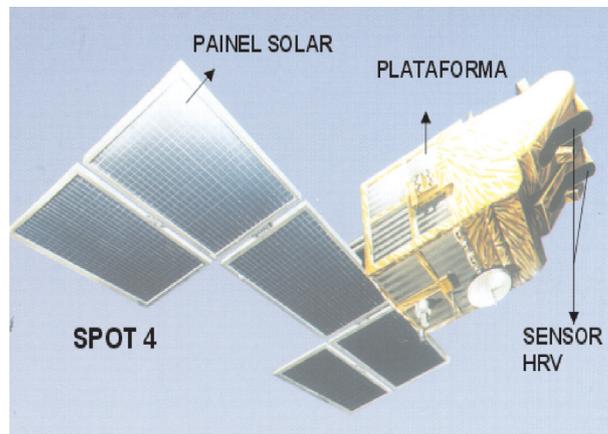
Figura 4.7. Órbita do satélite CBERS: altitude 778 km; inclinação 98,504o; período 100,26 min.

Característica Espacial versus Temporal

Com base no exposto acima concluímos que existe uma relação entre o nível de detalhe (resolução espacial) e a frequência 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 frequência 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 anual.

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 diferentes 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 óptico 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-físico-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 conseqüentemente 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.



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.

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>

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 frequência 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 km², 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 cartográfica 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 km² das imagens orbitais é inferior a execução de missões de recobrimentos aerofotogramétricos.

Níveis de Coleta de Dados

Dependendo do nível de coleta, os dados apresentam diferentes resoluções espaciais e temporais. Assim, de acordo com Sausen (2006), dados coletados a partir de satélites podem ser utilizados para:

- **estudos continentais**, tais como mapeamento e monitoramento de massas d'água oceânicas ou de toda a extensão territorial do país, utilizando-se os dados do satélite NOAA-AVHRR .
- **estudos regionais**, tais como mapeamento de uma região inteira ou da área de um estado, utilizando imagens do sensor do sensor WFI do satélite CBERS;
- **estudos regionais/locais**, utilizando-se, por exemplo, dados da banda pancromática do sensor TM do satélite LANDSAT-7, imagens do satélite SPOT ou do sensor CCD do CBERS para planejamento urbano-regional, estudos de áreas agrícolas em média escala ou em escala mais local;
- **estudos em detalhe**, de áreas urbanas em escala local por meio de imagens de altíssima resolução espacial, por exemplo, 1m, no caso do satélite norte americano IKONOS.

Como foi visto anteriormente (tópico II), os sensores a bordo dos satélites operam em diferentes faixas do espectro eletromagnético. Conhecendo o comportamento espectral dos alvos na superfície terrestre é possível escolher as imagens das bandas mais adequadas para estudar os recursos naturais como indica a Figura 6.1.

Banda 1
0,45-0,52 μm
(azul)



Banda 2
0,52-0,59 μm
(verde)

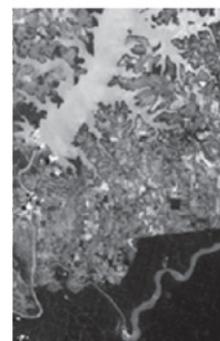
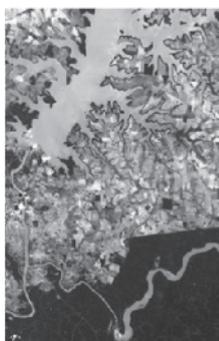


Figura 6.1. Aplicações das bandas da Câmara CCD do satélite CBERS.

Fonte: http://www.herbario.com.br/fotomicrografia07/senso_aplic_rec_natur.htm

- Mapeamento de águas costeiras;
- Diferenciação entre solo e vegetação;
- Diferenciação entre vegetação conífera e decídua.
- Mapeamento de vegetação;
- Estudo da qualidade d'água.

Banda 3
0,63-0,69 μm
(vermelho)



Banda 4
0,77-0,89 μm
(infravermelho próximo)

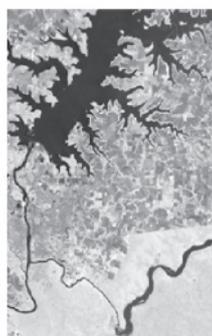


Figura 6. I. continuação.

- Absorção de clorofila;
 - Diferenciação de espécies vegetais;
 - Áreas urbanas, uso do solo;
 - Agricultura;
 - Qualidade d'água.
- Delineamento de corpos d'água;
 - Mapeamento geomorfológico;
 - Mapeamento geológico;
 - Áreas de queimadas;
 - Áreas úmidas;
 - Agricultura;
 - Vegetação.

Podemos destacar várias aplicações do sensoriamento remoto em diferentes áreas do conhecimento como, por exemplo: em **Oceanografia**, no monitoramento de cardumes, correntes marítimas, vazamento ou derramamento de óleo, etc; **Limnologia**, no estudo dos habitats e dos ecossistemas de água doce; **Geografia**, na identificação, mapeamento e monitoramento do uso de terra das bacias hidrográficas e de extração mineral de areia (cavas de areia), planejamento urbano e regional, etc; **Hidrologia**, no estudo das transformações ocorridas com a construção de represas e reservatórios, monitoramento a variação da lamina d'água de lagos, rios e represas, etc; **Biologia**, no estudo e monitoramento da vegetação aquática. Exemplos do uso de sensoriamento remoto para estudos ambientais podem ser encontrados em Florenzano (2002). A seguir são apresentadas algumas aplicações de sensoriamento remoto que envolvem grandes projetos e instituições.

Aplicações em Agropecuária

O sensoriamento remoto representa hoje um dos principais instrumentos para o monitoramento de uma realidade ampla e dinâmica como nosso país. Através do Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite CNPM, conhecido como Embrapa Monitoramento por Satélite, a pesquisa agropecuária brasileira emprega os mais modernos e sofisticados instrumentos para garantir um conhecimento circunstanciado do uso das terras no Brasil, de sua dinâmica espaço-temporal e de seus impactos ambientais. As atividades agrossilvopastoris são responsáveis em mais de 90%

pela ocupação das terras. São praticadas diversas culturas desde a escala da subsistência, passando pelas pequenas e médias organizações rurais, até as grandes empresas agro-industriais (Embrapa, 2006).

Deteccção e Monitoramento de Queimadas

As queimadas no Brasil têm sido objeto de preocupação. Elas atingem os mais diversos sistemas ecológicos e tipos de agricultura, gerando impactos ambientais em escala local e regional. No contexto local, elas destroem a fauna e flora, empobrecem o solo, reduzem a penetração de água no subsolo, e em muitos casos causam mortes, acidentes e perda de propriedades. No âmbito regional, causam poluição atmosférica com prejuízos à saúde de milhões de pessoas e à aviação e transportes; elas também alteram, ou mesmo destroem ecossistemas.

E do ponto de vista global, as queimadas são associadas com modificações da composição química da atmosfera, e mesmo do clima do planeta. A queimada é parte integrante e necessária de alguns ecossistemas, onde ocorrem naturalmente devido a raios, como no Cerrado, mas apenas uma ou no máximo duas vezes por década, e não tão freqüentemente como se constata.

No Brasil, a quase totalidade das queimadas é causada pelo Homem, por razões muito variadas: limpeza de pastos, preparo de plantios, desmatamentos, colheita manual de cana-de-açúcar, vandalismo, balões de São João, disputas fundiárias, protestos sociais, e etc. Com mais de 300.000 queimadas e nuvens de fumaça, cobrindo milhões de km², detectadas anualmente através de satélites, o País ocupa lugar de destaque como um grande poluidor e devastador.

Conjugando sensoriamento remoto, cartografia digital e comunicação eletrônica, é realizado, desde 1991, um monitoramento efetivo das queimadas em todo o Brasil (INPE, 2006). Neste sentido, a equipe do Dr. Alberto Setzer (CPTEC/INPE) vem desenvolvendo e aprimorando desde a década de 1980 um sistema operacional de deteção de queimadas. A partir de 1998 o trabalho passou a ser feito conjuntamente com o IBAMA/PROARCO, dando ênfase particular à Amazônia.

Os dados são obtidos nas imagens termais dos satélites meteorológicos NOAA quatro vezes ao dia e GOES, oito vezes ao dia, e dos satélites TERRA e AQUA duas vezes por dia. Em seguida, são integrados a dois sistemas geográficos de informações (SpringWeb-Queimadas e TerraLib-Queimadas) que podem ser utilizados pela Internet. As informações são disponibilizadas operacionalmente aos usuários cerca de 20 minutos após as passagens dos satélites.

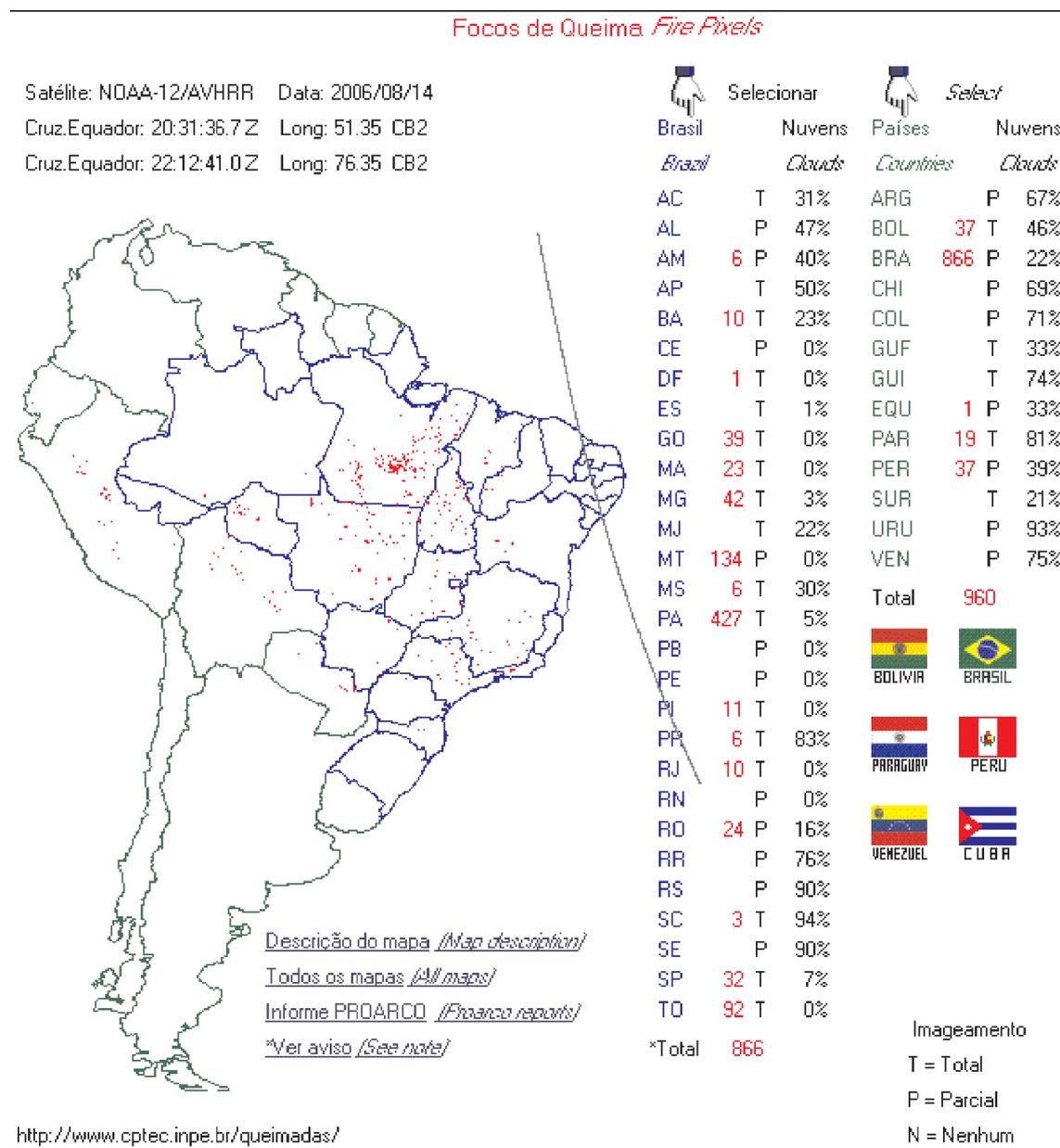
Todo o País e grande parte da América do Sul são cobertos por essas imagens, pois se utiliza recepção das estações do INPE em Cachoeira Paulista, SP e de Cuiabá, MT. Com o Programa de Monitoramento de Queimadas e Prevenção e Controle de incêndios Florestais no Arco do Desflorestamento na Amazônia

– PROARCO -. o monitoramento de queimadas é feito para Brasil, Bolívia, Paraguai e Peru (<http://www.cptec.inpe.br/queimadas/apresentacao.htm>).

A Página Internet de Queimadas (Figura 6.2) abre com um mapa da América do Sul resumindo as últimas queimadas detectadas nas imagens mais recentes dos satélites NOAA. Os dados são atualizados várias vezes por dia durante o ano todo. As opções indicadas nas margem esquerda do portal permitem acesso a dezenas de produtos relacionados, como mapas de risco de queimadas, de distribuição mensal de queimadas, de ocorrência de queimadas por estados, de dias sem precipitação, de precipitação acumulada, de estimativas de fumaça e sua dispersão. O CPTec/INPE também gera outros produtos de queimadas que não são divulgados neste portal, atendendo necessidades individuais; um exemplo é o dos e-mails automáticos quando queimadas são detectadas em áreas de interesse especial.

Figura 6.2. Página Internet de Queimadas no site do CPTec/INPE.

Fonte: <http://www.cptec.inpe.br/queimadas>



Detecção e Monitoramento de Desmatamento

Projeto: Sistema DETER

O sistema DETER (Detecção de Desmatamento em Tempo Real) utiliza dados de sensores com alta frequência de observação para reduzir as limitações da cobertura de nuvens:

- (a) o sensor MODIS a bordo dos satélites: TERRA e ACQUA (NASA), com resolução espacial de 250 m e frequência de cobertura do Brasil de três a cinco dias;
- (b) o sensor WFI a bordo do CBERS-2, com resolução espacial de 260 m e frequência de cobertura do Brasil de cinco dias.

Mesmo com a resolução espacial reduzida do MODIS e do WFI, é possível detectar desmatamentos recentes cuja área seja superior a 0.25 km².

As deficiências de resolução espacial são compensadas pela maior frequência de observação. Isto permite que o DETER forneça aos órgãos de controle ambiental informação periódica sobre eventos de desmatamento, para que o Governo possa tomar medidas de contenção. Como o sistema produz informação em tempo “quase real” sobre as regiões onde estão ocorrendo novos desmatamentos, a sociedade brasileira passa a dispor de uma ferramenta inovadora de suporte à gestão de terras na Amazônia.

O objetivo do DETER não é estimar a área total desmatada na Amazônia.

Para isto, o INPE continuará a utilizar imagens de melhor resolução dos sensores TM/LANDSAT (30 m) e CCD/CBERS (20 m). Estimativas de áreas desmatadas obtidas a partir do DETER estão sujeitas a erros, devido à pior resolução espacial dos sensores MODIS e WFI/CBERS.

O DETER é um projeto do INPE/MCT, com apoio do MMA e do IBAMA e faz parte do Plano de Combate ao Desmatamento da Amazônia do Governo Federal (<http://www.obt.inpe.br/deter/index.html>).

Desde 1989, o INPE vem produzindo estimativas anuais das taxas de desflorestamento da Amazônia Legal. A partir do ano de 2003, estas estimativas estão sendo produzidas por classificação digital de imagens. A principal vantagem deste procedimento está na precisão do geo-referenciamento dos polígonos de desflorestamento, de forma a produzir um banco de dados geográfico multitemporal.

Os dados mais recentes publicados pelo INPE são:

Dados de entrada 2000-2005: Dados de entrada usados para o cálculo das estimativas anuais.

Ano 2002-2003: Taxas de desflorestamento obtidas por classificação de 189 imagens LANDSAT. Após processamento do restante das imagens de Agosto de 2002 a Agosto de 2003, a taxa total confirmada pelo INPE para o período de Agosto de 2002 a Agosto de 2003 é de 24.865 km².

Ano 2003-2004: Taxas de desflorestamento obtidas por classificação de 207 imagens LANDSAT. O INPE estima que o desmatamento no período de Agosto de 2003 a Agosto de 2004 seja de 27.361 km².

Ano 2004-2005: Taxas de desflorestamento parcial obtidas por classificação de aproximadamente 115 imagens LANDSAT. O INPE estima que o desmatamento no período de Agosto de 2004 a Agosto de 2005 seja de 18.900 km², com uma margem de erro de 4%.

Aplicações na Área de Saúde Pública

Em 1970, Cline escreve o artigo *"New eyes for epidemiologists: aerial photography and other remote sensing techniques"*, sugerindo que o SR também era aplicável ao monitoramento dos surtos de doenças (Am J Epidemiol 1970 Aug; 92(2):85-9, citado em Correia et al., 2006).

A Escola Nacional de Saúde Pública Fundação Oswaldo Cruz vem desenvolvendo estudos para o mapeamento de doenças endêmicas com o uso de recursos de sensoriamento remoto. Os dados levantados são do seguinte tipo: espécie de vegetação e tipo de cultura agrícola; habitat de vetores e reservatórios; fonte de alimentação e áreas de repouso; crescimento da vegetação; chuvas; formação de habitat; movimento de reservatórios, vetores e hospedeiros.

Outras informações de Sensoriamento Remoto relacionadas às endemias: Ecótonos; Zona de contato ou transição entre duas formações vegetais com características distintas; Áreas de contato entre homem e vetores; Água permanente; Habitat de larvas e caramujos.

São indicados, nas tabelas a seguir, exemplos do uso de dados de sensoriamento remoto no mapeamento e prevenção de doenças:

TABELA 8 - DOENÇA DE CHAGAS

PADRÃO	ÁREAS DE RISCO	O QUE MAPEAR	FATORES SR
Domiciliar	Cidades pequenas e núcleos de rural, com domicílios precários	Habitações precárias	Padrão de ocupação do terreno
Peri-domiciliar	Áreas de agricultura do semi-árido	Região seca, pedregosa e com abrigos de animais domésticos em regime semi-extensivo	Distância das casas em relação à vegetação natural Afloramentos rochosos
Silvestre	Áreas de extração de folhas de palma na Amazônia	Florestas de palmáceas	Tipo de vegetação

TABELA 9 - FEBRE AMARELA

PADRÃO	ÁREAS DE RISCO	O QUE MAPEAR	FATORES SR
Silvestre e Peri-urbano	Áreas com atividades extrativas na floresta amazônica	Áreas de desmatamento e vias de penetração nas florestas	Desmatamento
	Frentes agrícolas pioneiras	Matas ciliares	Vegetação
	Ecotónos com ocupações humanas próximas de florestas preservadas	Núcleos habitacionais na proximidade de florestas	Marcadores de pressão antrópica em áreas com cobertura florestal

TABELA 10 - LEPTOSPIROSE

PADRÃO	ÁREAS DE RISCO	O QUE MAPEAR	FATORES SR
Urbano	Áreas urbanas com saneamento precário Alta densidade de habitantes e roedores Sujeita a inundações ocasionais	Adensamento de habitações precárias e, áreas de baixa declividade (outras fontes)	Áreas inundadas em centros urbanos
Rural	Culturais agrícolas de cereais em áreas alagadas	Plantações de arroz irrigado por alagamento	Etapas do ciclo de cultivo de arroz com amadurecimento de sementes

Resumindo, é possível então citar alguns benefícios do sensoriamento remoto para a Epidemiologia:

1. Ampliar o conhecimento sobre: habitat, parasitas, reservatórios, vetores e hospedeiros.
2. Conhecimento da biogeocenose (unidade de natureza ativa que combina ambientes abióticos e comunidade bióticas, com os quais interagem) das áreas endêmicas.
3. Identificar alterações no ambiente que propiciam eclosão de epidemias
4. Vigilância no tempo e espaço, em diversas escalas.
5. Otimizar recursos disponíveis para áreas prioritárias.

Outras Aplicações

As áreas de atuação do estudo da água por sensoriamento remoto são muito importantes para o meio ambiente, pois sabemos que a Terra é um planeta praticamente aquático com dois terços de sua superfície coberta por água. Os processos que ocorrem nos oceanos são também importantes em relação ao impacto do aquecimento global provocado pelo aumento nas taxas de dióxido de carbono provenientes da queima de combustíveis fósseis. Os oceanos absorvem grande parte da poluição proveniente de derramamentos de óleo, esgotos domésticos e industriais, por isso é im-

portante o monitoramento das águas. Segundo Kampel, (2005), por meio do Sensoriamento Remoto é possível captar dados de pressão, umidade, temperatura da superfície do mar, os valores de TSM podem indicar, por exemplo, uma evolução gradual do fenômeno El Niño. Eventos como o El Niño causam enormes prejuízos materiais e até perdas de vidas humanas, e o potencial efeito do aquecimento global devido ao aumento nos níveis de dióxido de carbono na atmosfera que causam o efeito estufa, enfatizam a importância do monitoramento oceânico realizado com auxílio de satélites para estudos e previsões climáticas.

Na oceanografia pesqueira o principal objetivo do uso do Sensoriamento remoto é potencializar o aumento da captura de peixes de interesse, a partir da localização de áreas que apresentam indicações oceanográficas favoráveis à presença dos cardumes, considerando simultaneamente as características biológicas da espécie e a importância da manutenção dos estoques pesqueiros.

No Brasil, a utilização de dados de satélite aplicados à pesca teve início no final da década de 70, quando foram utilizadas imagens do satélite NOAA-5, no auxílio à determinação de zonas propícias à pesca da sardinha. Existe, para cada espécie de peixe, uma faixa de temperatura considerada ótima para seu metabolismo. As sardinhas, por exemplo, adaptam-se melhor às águas mais frias, com menos de 23°C.

Mais recentemente o monitoramento de animais via satélite (telemetria) tem revelado importantes dados sobre alguns animais de hábitos livres como as tartarugas, lobos-guará, onças, etc. Um bom exemplo vem de pesquisa do Instituto Mamirauá/MCT, no Amazonas. Com ajuda do INPE, oito peixes-boi monitorados por telemetria vêm evidenciando dados valiosos sobre hábitos da espécie - como a migração de até 150 quilômetros em busca de alimentos, entre as áreas de terra firme e planície, conforme os períodos das cheias e vazantes.

Meteorologia por Satélite

Existem vários tipos de satélites artificiais na órbita da terra, voltados a diferentes fins. Os satélites meteorológicos (chamados satélites geoestacionários) ficam, em relação a Terra, a aproximadamente 35.000 km de distância sobre a linha do equador. O GOES-12 e o METEOSAT são dois exemplos de satélites meteorológicos. Estes dois satélites são os mais usados no monitoramento e previsão de tempo do Brasil.

A imagem no canal visível corresponde à energia do sol refletida pelo alvo, existindo somente nos horários em que a luz do sol está presente. É utilizado para identificar os diferentes tipos de nuvens com relação à textura e a capacidade de refletir a radiação do sol, diferenciando as nuvens mais espessas das mais rasas.

A imagem no canal de vapor d'água identifica a quantidade de umidade que existe na região média e superior da troposfera (entre 700 e 300 mb tipicamente). É utilizada para determinar se uma massa de ar frio está sufi-

cientemente seca a ponto de causar geada e também para inferir os padrões de circulação da atmosfera superior.

A imagem no canal infra-vermelho é utilizada na identificação da posição dos sistemas meteorológicos (ex.: Frente Fria) a qualquer momento do dia ou da noite com o mesmo padrão, pois essa imagem identifica a temperatura emitida pelo topo das nuvens. As nuvens formadas por processos convectivos podem alcançar grande desenvolvimento vertical, e apresentar temperaturas de topo bastante frias, com valores menores do que -70°C (http://ciram.epagri.rct-sc.br:8080/cms/meteoro/1_imagem_satelite.jsp).

As aplicações de sensoriamento remoto para estudos da atmosfera terrestre, dos recursos naturais, monitoramento das águas são muitas e de relevância vital para a sociedade. Novos desenvolvimentos trazem mais possibilidades de descobertas e pesquisas em diversas áreas do conhecimento. Um exemplo é o sensor hiperspectral lançado pela NASA, a bordo da plataforma *Earth Observing-1* (EO-1), que coleta dados contínuos em 220 bandas espectrais posicionadas entre 400 e 2.500 nm, com resolução espacial de 30 m e em 16 bits.

O volume de dados coletado pelo Hyperion é aproximadamente 75 vezes maior quando comparado às seis bandas óticas do sensor ETM+. Estudos recentes indicam as vantagens do uso de dados obtidos a partir de bandas estreitas, localizadas em específicas posições do espectro, na obtenção de informações qualitativas ou quantitativas da vegetação.

Referências Bibliográficas

Correia, V.R.M.; Carvalho, M.S.; Sabroza, P.C. **Aplicações do Sensoriamento Remoto em Saúde: estado da arte e necessidades brasileiras.**

Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/saudavel/documentos/marilia.pdf>. Acesso em 14/08/2006.

Embrapa, Brasil visto do espaço.

Disponível em: <http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/txt/just.htm>. Acesso em 15/07/2006.

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

INPE Disponível em: Sistema DETER: Detecção de desmatamento em tempo real. <http://www.obt.inpe.br/deter/index.html>. Acesso em 10/08/2006.

KAMPEL, M. **Sensoriamento Remoto Aplicado à Oceanografia.** INPE.

Disponível em: www.dsr.inpe.br/vcsr/html/APOSTILA_PDF/CAP6_MKampel.pdf. Acesso em: Dez. 2005.

SAUSEN, T. M **Sensoriamento remoto e suas aplicações para recursos naturais.** Disponível em:

http://www.herbario.com.br/fotomicrografia07/senso_aplic_rec_natur.htm. Acesso em 14/08/2006.



7. O USO DO SENSORIAMENTO REMOTO COMO RECURSO DIDÁTICO

Teresa Gallotti Florenzano
DSR/INPE
teresa@dsr.inpe.br

Tania Maria Sausen
Departamento de
Coordenação de Gestão
Científica/INPE

Considerando as determinações da LDB (Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional Lei nº 9.394/96- Diretrizes e Bases da Educação Nacional, cap. IV, da educação superior, art. 43) e a Proposta para a Formação Inicial de Professores da Educação Básica em Cursos de Nível Superior (MEC – Maio/2000, cap. 4 p- 4.2.8: ausência de conteúdos relativos às tecnologias da informação e da comunicação) referentes, respectivamente, às finalidades da educação superior e à capacitação continuada de professores em novas tecnologias, constata-se a necessidade de buscar formas para ampliar esta capacitação. Neste contexto, insere-se este curso promovido pelo programa AEB-Escola.

Encontramos na Proposta de Formação Inicial de professores do MEC, citada acima, a seguinte afirmação: “Com abordagens que vão na contramão do desenvolvimento tecnológico da sociedade contemporânea, os cursos raramente preparam os professores para atuarem como fonte e referência dos significados que seus alunos precisam imprimir ao conteúdo da mídia. Presos às formas tradicionais de interação face a face, na sala de aula real, os cursos de formação ainda não sabem como preparar os professores que vão exercer o magistério nas próximas duas décadas, quando a mediação da tecnologia vai diversificar e ampliar as formas de interagir e compartilhar, em tempos e espaços nunca antes imaginados. Urge, pois, inserir as diversas tecnologias de informação e das comunicações no desenvolvimento dos cursos de formação de professores, preparando – os para a tarefa mais nobre da educação escolar: a gestão de referências éticas, científicas e estéticas para a troca e negociação de sentido, que acontece especialmente na interação e no trabalho escolar coletivo. Gerir e referir o sentido será o mais importante e o professor precisará aprender a fazê-lo em ambientes reais e virtuais” (PCN/BRASIL, 1997).

A tecnologia de sensoriamento remoto pode ser explorada no ensino das diferentes disciplinas e do tema transversal meio ambiente. Ao possibilitar a análise dos ambientes e dos impactos provocados pela ocupação do homem o sensoriamento remoto tornar-se um instrumento para a compreensão, conscientização e busca de soluções para os problemas da realidade socio-ambiental, contribuindo na formação da cidadania.

No ensino de geografia pode-se estudar através de imagens os diferentes aspectos físicos do território (relevo, hidrografia, etc.), bem como a intervenção do homem na paisagem (desmatamento, fronteiras agrícolas, expansão urbana, etc.). Ainda no ensino de geografia, e também de história, o sensoriamento remoto pode contribuir no estudo do processo de ocupação e transformação do espaço, no das mudanças e inovações tecnológicas ocorridas ao longo do tempo e do modelo de desenvolvimento adotado.

As Ciências, particularmente a física, podem explorar os fundamentos do sensoriamento remoto, que envolvem o estudo da energia eletromagnética, interação dessa energia com as propriedades físico-químicas dos componentes da superfície terrestre; como são obtidos as imagens e o processo de formação das cores. Dessa forma, ao mesmo tempo em que o aluno está apreendendo conceitos de Física, ele se torna mais capacitado para explorar os dados obtidos por sensoriamento remoto.

A matemática pode explorar o cálculo de ângulos, distâncias, proporções (escalas), áreas (urbanas, agrícolas, inundadas, queimadas), taxas ou índices (o índice de área verde de uma cidade, taxas de crescimento urbano, de desmatamento).

Na Educação Artística pode-se trabalhar a elaboração de mapas, maquetes e outros produtos cartográficos de expressão artística, a partir da interpretação de fotografias aéreas e imagens de satélite.

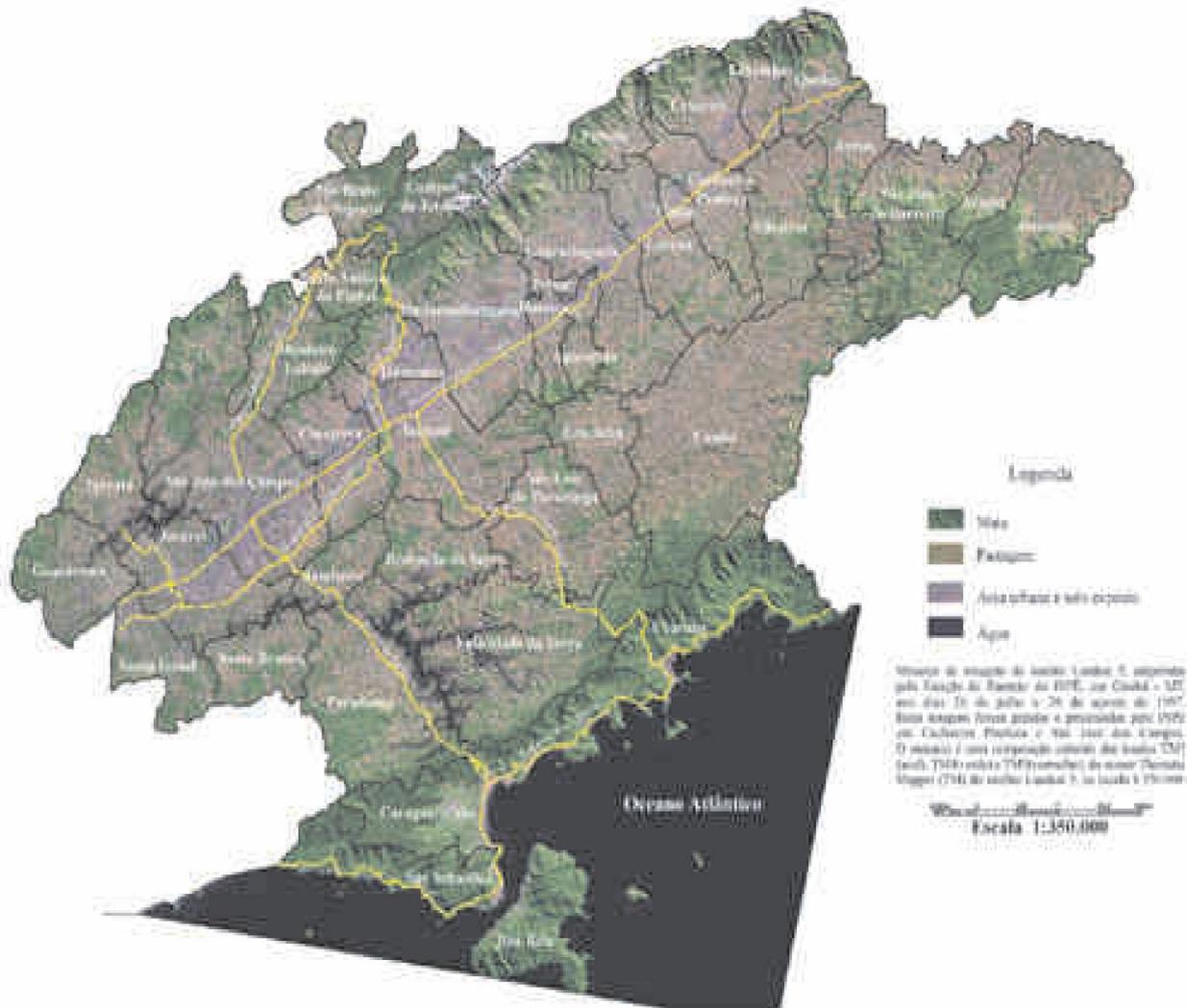
No desenvolvimento de novos projetos pedagógicos, ou naqueles já em andamento, além dos recursos já tradicionalmente utilizados, pode-se explorar também o uso de imagens de satélite. Para a familiarização com as imagens, recomenda-se buscar inicialmente aquelas que representam regiões conhecidas. É importante verificar também a possibilidade de fazer um trabalho de campo na área de estudo com os alunos. Exemplos de projetos escolares já desenvolvidos e que utilizaram esta tecnologia podem ser encontrados no endereço: www.dsr.inpe.br/vcsr/html/proj_old.htm. O próximo tópico (VIII) deste módulo traz diferentes atividades que podem ser realizadas em sala de aula.

A crescente disponibilidade das imagens de satélite no formato digital, gratuitamente, em endereços como www.dpi.inpe.br/mosaico; www.dgi.inpe.br, www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br; e no Google earth google.com/, entre outros, facilita seu acesso e promove a inclusão digital. Dicas de uso do Google earth encontram-se em: http://novaescola.abril.com.br/noticias/jul_05_15. Recomenda-se ainda consultar o sítio: (<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/index.htm>) do Projeto EducaSere. Os principais objetivos deste projeto são: disponibilizar, a baixo custo, para a comunidade em geral, dados de sensoriamento remoto para a área de recursos naturais; difundir o uso de dados de sensoriamento remoto como recurso didático nas disciplinas de ciência, geografia e educação ambiental. A seguir são mostrados dois exemplos de materiais disponíveis neste sítio.

Figura 7.1. Mosaico do Vale do Paraíba, Litoral Norte e Serra da Mantiqueira.

Fonte: <http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/index.htm>

- Mosaico do Vale do Paraíba, Litoral Norte e Serra da Mantiqueira, escala 1:350.000, gerado a partir de duas imagens TM-LANDSAT, publicado em parceria com o Jornal Vale Paraibano de São José dos Campos, na edição do dia 21 de agosto de 1999. Mais tarde foi impresso na forma de poster e distribuído para toda a rede de ensino de São José dos Campos.



- Carta Imagem de São José dos Campos elaborada com base em uma imagem do satélite TM-LANDSAT. Esta carta imagem foi desenvolvida em parceria com a Prefeitura Municipal de São José dos Campos. Foram impressos um total de 2000 exemplares e distribuídos para todas as escolas do ensino fundamental e médio de São José dos Campos.

**CARTA IMAGEM
SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, SP - BRASIL**



Livros e CD-Rom

O livro didático “Imagens de satélite para estudos ambientais” fornece, em linguagem simples, informações básicas de sensoriamento remoto, ilustra como são obtidas as imagens de satélites, descreve os tipos de sensores e satélites existentes e destaca o programa espacial brasileiro. Aborda a relação entre imagem e mapa e o processo de interpretação de imagens obtidas por sensoriamento remoto. Ele mostra como as imagens de satélites podem contribuir para o estudo de fenômenos ambientais, de ambientes naturais e daqueles transformados pelo homem. Finalizando, ele destaca o uso do sensoriamento remoto como recurso didático multi e interdisciplinar, fornecendo sugestões de atividades.

O livro infantil “A Nave Espacial Noé” é a versão contemporânea da arca de Noé que as crianças tanto gostam. Nesta versão, a arca foi substituída por uma nave espacial, e o dilúvio, por um incêndio devastador provocado pelo próprio homem. Desta vez, além de pessoas e bichos, a cultura e o conhecimento acumulado também foram salvos na nave espacial.

Para saber quando o incêndio terminou e quando a vida tornou-se novamente possível na Terra, os passageiros da nave contaram com a ajuda das imagens de satélites, recebidas por meio de uma antena de recepção.

Misturando desenhos, fotografias e imagens de satélites, além de entreter, o livro visa familiarizar o pequeno leitor com as imagens de satélite, divulgadas diariamente na mídia, e estimular sua conscientização ambiental.

Figura 7.2

Fonte: <http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/index.htm>

Outras informações sobre este livro, sensoriamento remoto e dicas de uso deste recurso encontram-se no sitio: <http://www.ofitexto.com.br/anaveespatialnoe/>

O livro “Escola, cidadania e novas tecnologias: O sensoriamento remoto no ensino” destinado a professores em exercício e em formação, mostra a experiência da autora com o desenvolvimento de projetos educacionais que utilizaram a tecnologia do sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente para transformar informação em conhecimento.

O Cd-Rom “Atlas de Ecossistemas da América do Sul e Antártica” apresenta mais de 250 imagens de diversos satélites, fotos da superfície da Terra, globo 3D e vídeos. O Atlas permite visualizar as características físicas, econômicas, políticas e humanas de todos os países da América do Sul e 21 ecossistemas por meio de imagens de satélite e fotos de campo. Ele traz também informações sobre os fundamentos de sensoriamento remoto, programas espaciais e estações terrenas de recepção de dados de satélites.

O Cd-Rom “Sensoriamento Remoto: Aplicações para a preservação, conservação e desenvolvimento sustentável da Amazônia” contem textos, exercícios, atividades, testes, visitas virtuais, fotos, áudio, músicas, tabelas, bloco de anotações, figuras, imagens de sensores remotos e um programa para o processamento de imagens. Este Cd-Rom pode ser adquirido em www.ltid.inpe.br/cdrom/

O Cd-Rom “Tópicos em meio ambiente e ciências atmosféricas — Utilização de recursos multimídia para o ensino médio e fundamental” tem recursos de realidade virtual, vídeos e animações 3D que ajudam professores e alunos a compreender as transformações do meio ambiente. É um dos resultados do projeto que mantém ainda um sitio associado ao conceito de educação à distância: <http://maca.cptec.inpe.br>.

Referências Bibliográficas

- CPTec/INPE. **Meio ambiente e ciências atmosféricas**. CD Multimídia sobre meio ambiente e ciências atmosféricas. 2002. www3.cptec.inpe.br/~ensinop/
- 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**. CD-ROM educacional, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003 (www.ltid.inpe.br/cdrom).
- FLORENZANO, T.G. **A Nave Espacial Noé**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo, Oficina de Textos, 2002.
- PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS: História e Geografia, Secretaria de Educação fundamental, Brasília, MEC/SEF, 1997.
- SANTOS, V.M.N. **Escola, cidadania e novas Tecnologias: o sensoriamento remoto no ensino**. São Paulo: Paulinas, 2002.
- SAUSEN, T.M. **Atlas de ecossistemas da América do Sul e Antártica**. São José dos Campos, SP, 2005. (INPE-12258-PUD/166). ISBN 85-17-00021-5. 1CD-ROM.



8. ATIVIDADES DE SENSORIAMENTO REMOTO

Angelica C. Di Maio

Departamento de Análise
Geoambiental IG/UFF

Teresa Gallotti Florenzano

DSR/INPE

A tecnologia de sensoriamento remoto permite aos professores de diferentes disciplinas, explorar aspectos relacionados aos conteúdos desenvolvidos em sala de aula, possibilitando a discussão da realidade socioambiental do aluno, levando-o a uma posição mais crítica e consciente da realidade que o rodeia.

A seguir, são apresentadas situações em que o material didático com sensoriamento remoto pode ser utilizado em sala de aula:

- traçado de áreas urbanas e rede viária que comunica a cidade com o entorno imediato;
- aspectos morfológicos da paisagem urbana;
- Formas de crescimentos das áreas urbanas e progressiva invasão do espaço agrícola;
- estudo geográfico do espaço imediato ao aluno;
- correlacionar o tipo de ocupação humana e distribuição do uso do solo no tempo e no espaço com os aspectos físicos, econômicos e sociais da região onde o aluno vive;
- explicar aspectos mais complexos como grandes complexos de relevo, bacias de drenagem, correntes oceânicas, uso do solo e áreas agrícolas de uma região, aspectos de inundação, etc;
- identificar áreas de preservação de mananciais e sua forma de ocupação;
- complementar a cartografia na compreensão de aspectos gerais como a distribuição de mares e terras, a forma dos continentes e as grandes artérias hidrográficas do mundo;
- os limites e as barreiras urbanas, tanto as que provém do meio natural (rios, serras, florestas) como as artificiais (estradas, complexos urbanos) criadas pelo homem;
- impactos ambientais causados pela ocupação humana;

- caracterização de áreas de preservação, tais como áreas alagadas, planícies fluviais, áreas costeiras, áreas de mangue, florestas naturais;
- visão sinóptica do local onde o aluno vive e sua relação com o contexto ao redor;
- reconstituição histórica do espaço em que o aluno vive.

Dentre as diversas aplicações do sensoriamento remoto, ilustramos algumas atividades que certamente podem ser desenvolvidas em sala de aula:

A. Atividades sobre conceitos básicos de sensoriamento remoto

1 - Conhecendo a escala da fotografia aérea (1:10.000) da Figura 8.1, responda:

- a) Qual a extensão (**tamanho**) do trecho da Rodovia Presidente Dutra indicado na foto com o número 1.
- b) Qual a área aproximada da construção indicada pelo número 2. Em relação a sua **forma** o que sugere em termos de uso?
- c) Com relação à feição de número 3, o que você poderia dizer com respeito a sua **textura** e **tonalidade** comparando com o seu entorno. Ela (3) se repete em outra parte da foto?
- d) Usando-se o elemento **aspecto associado** o que sugere a área referente ao número 3?
- e) Com relação ao **padrão** de ocupação apresentado na foto e pela **posição geográfica**, como você caracterizaria a área, urbana ou rural? Ocupação densa ou esparsa?



Figura 8.1. Fotografia aérea
pancromática escala original
1:10.000.

2 - Observe a Figura 8.2 e responda:

- a) Por que é importante o conhecimento do comportamento espectral dos diferentes alvos para a interpretação de um produto de sensoriamento remoto?
- b) O que é assinatura espectral de um alvo?
- c) Compare as curvas espectrais dos alvos apresentados no gráfico e responda como se dá o comportamento espectral da água em relação aos demais alvos.

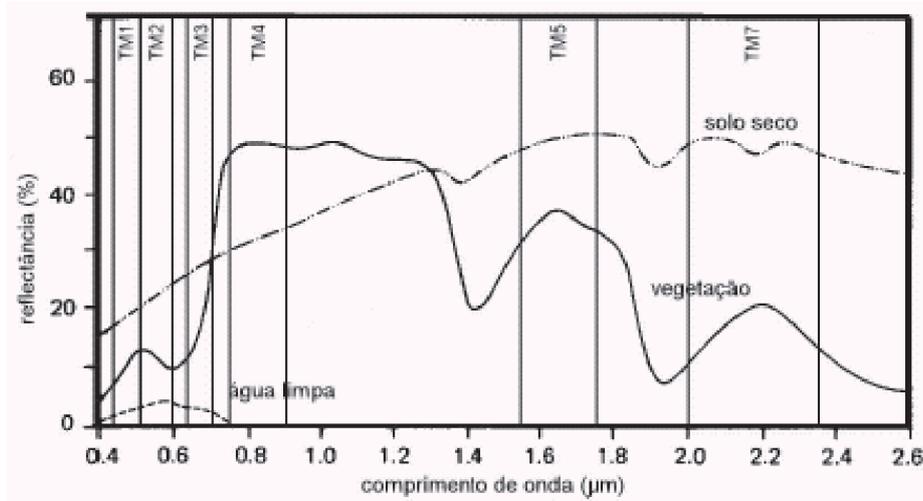


Figura 8.2. Comportamento espectral dos alvos: água, vegetação e solo.

3 - Observe e compare os dois produtos orbitais abaixo (Figuras 8.3 e 8.4) em relação à resolução espacial:

- comente sobre esta característica das imagens;
- identifique os alvos A e B na Figura 8.3;
- identifique os alvos A e B na Figura 8.4.

Figura 8.3. Imagem IKONOS Pancromática (resolução espacial de 1m) de um setor da cidade de São José dos Campos.



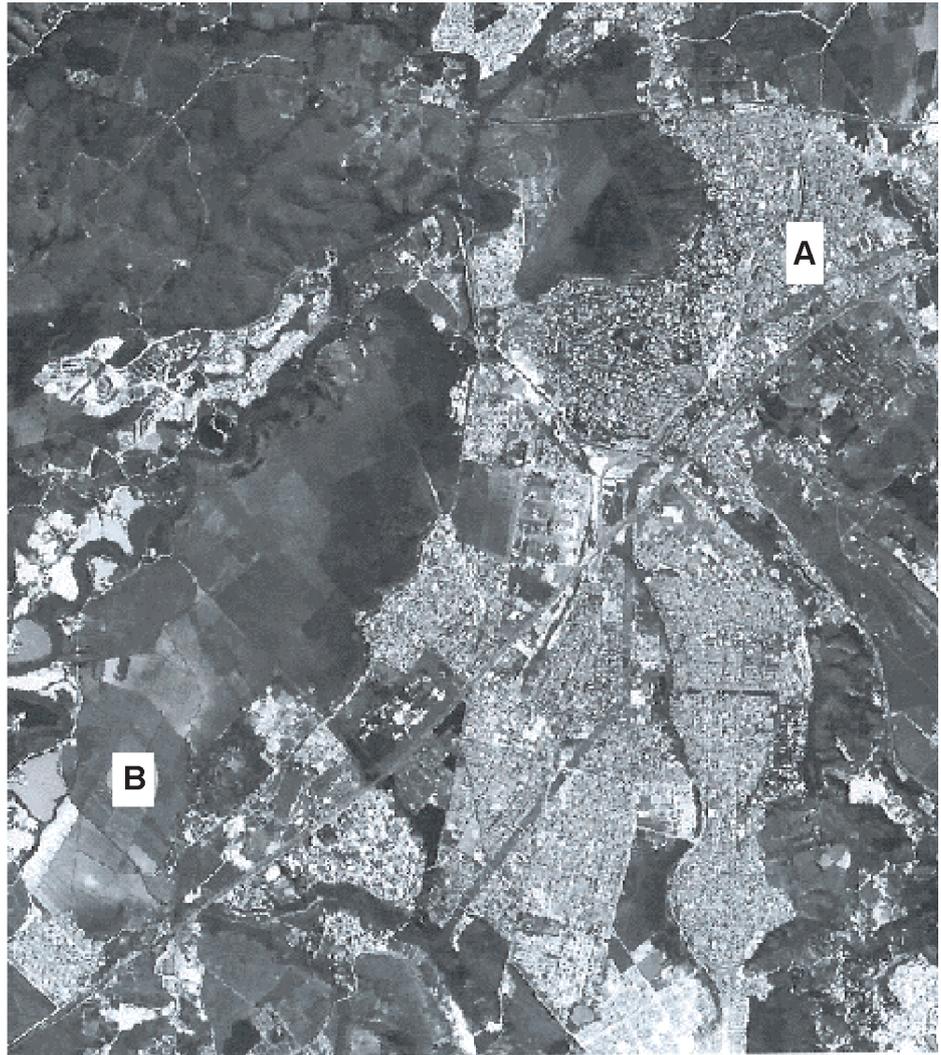


Figura 8.4. Imagem TM-LANDSAT (resolução espacial 30m) de São José dos Campos.

Para responder às questões 4, 5 e 6 analise a Figura 8.5

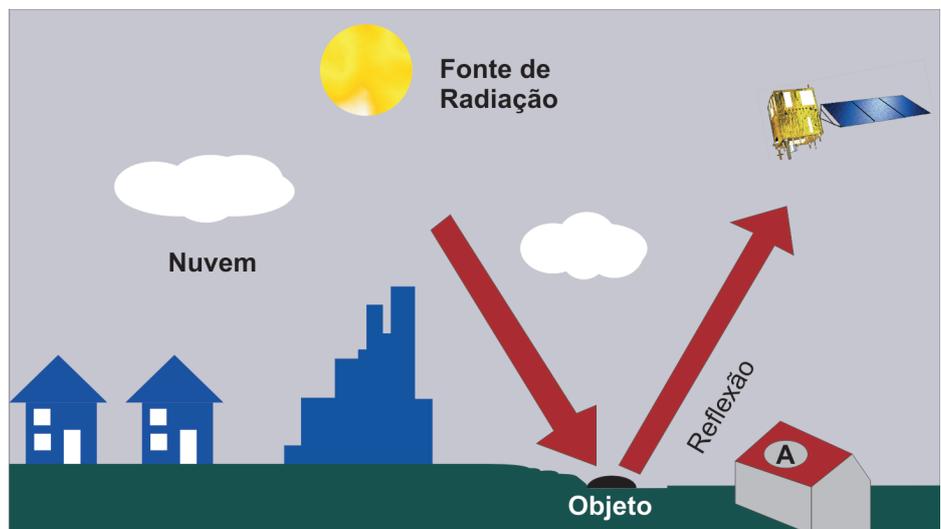


Figura 8.5. Esquema de aquisição de dados por sensoriamento remoto.

4 - Como se dá a obtenção de dados por sensoriamento remoto?

5 - Explique como a radiação eletromagnética se comporta ao atingir um alvo na superfície terrestre.

6 - Como a atmosfera afeta a propagação da radiação solar e a aquisição de dados por sensoriamento remoto? Em função disto explique o que é janela atmosférica?

B. Atividades sobre aplicações de sensoriamento remoto

1 - Analise as imagens da região do Estado de Mato Grosso próxima a divisa com o Pará, obtidas do satélite LANDSAT, cuja escala original é de 1: 500.000 e estão representadas nas figuras 8.6a e 8.6b. A partir do recurso da multitemporalidade das imagens orbitais e do elemento de interpretação **Tamanho** responda:

- a) Qual é a área (aproximada) desmatada em ambas as imagens.
- b) Houve crescimento ou decréscimo da área desmatada de uma data para outra.

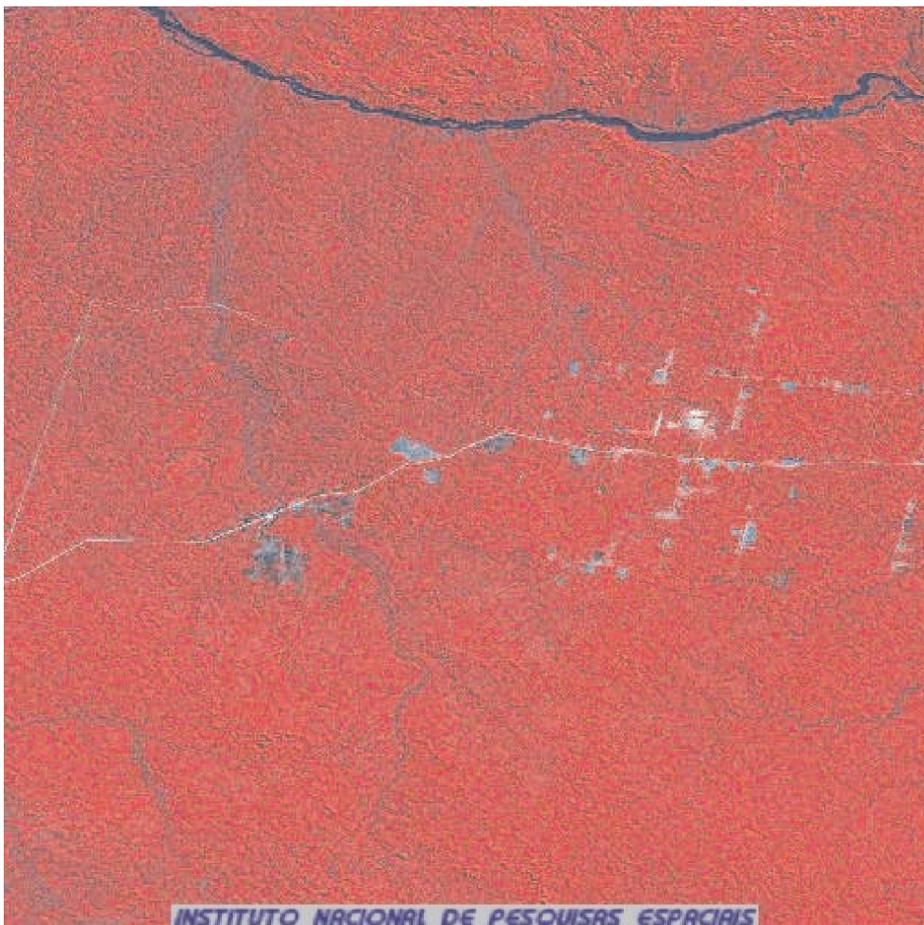


Figura 8.6a. Imagem MSS-LANDSAT-2 da região do rio Teles Pires (MT) obtida em 09-Julho-1977.
Fonte:
<http://www.dgi.inpe.br/html/gal-1.htm>

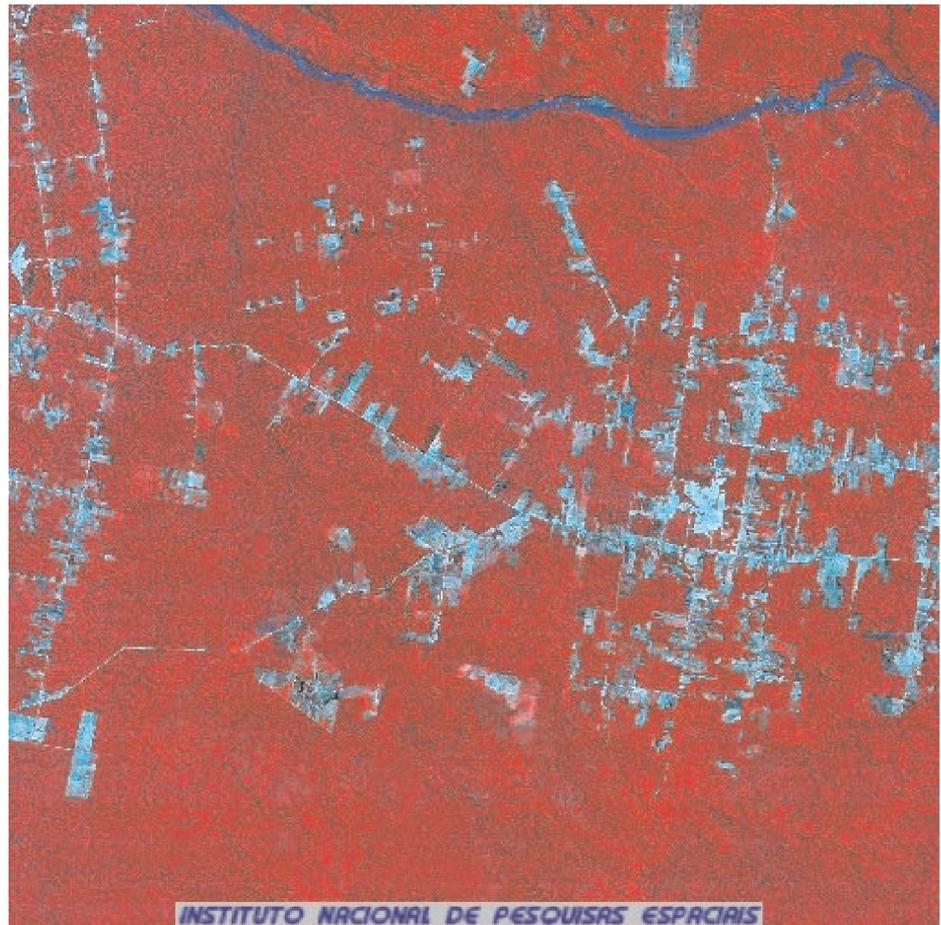


Figura 8.6b. Imagem TM-LANDSAT-5 da região do rio Teles Pires (MT) obtida em 08-Agosto-1984. Fonte: <http://www.dgi.inpe.br/html/gal-1.htm>

Obs. Para delimitar as áreas desmatadas pode ser utilizado papel vegetal milimetrado, o qual possibilita o cálculo dessas áreas com base na contagem dos quadrados do papel e da escala.

2 - Visite o sitio do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos CPTEC/INPE (<http://www.cptec.inpe.br/queimadas/>).

- a) Com base na imagem meteorológica construa o mapa de previsão de tempo para a sua região.
 - b) A partir dos dados em tempo real analise as ocorrências de queimadas no Brasil para a data de hoje.
 - c) Analise ao longo das estações do ano o número de queimadas na região amazônica no ano de 2005 (utilize o banco de dados no próprio sitio).
- b)Verifique o tipo de cobertura vegetal mais atingido.

3 - Visite um dos sitios abaixo e observe as imagens do satélite meteorológico de hoje, com base no conhecimento sobre imagens, elabore uma provável previsão do tempo, em seguida compare com a previsão feita nos sítios especializados ou no jornal.

Ajuda em: <http://www.uff.br/geoden/> (Módulo 3/previsão)

4 - Discuta sobre as mudanças climáticas globais.

5 - Visite o sitio do INPE e veja a Antártica (<http://www.cptec.inpe.br/antartica/>).

Pesquise sobre o buraco na camada de ozônio.

6 - Visite o sitio da Embrapa (<http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br/>).

- a) Clique nos estados da região norte. Verifique a situação dos diferentes estados quanto à ocorrência de solo exposto (área que não possui nenhum tipo de cobertura vegetal).
- b) Clique no seu estado e localize o município onde você mora. Quais as feições naturais ou artificiais você consegue reconhecer na imagem?

C. Roteiro para interpretar a imagem CBERS de Brasília, DF*

1 - Considerando que a pista do aeroporto mede 3,4 km, calcule a escala da imagem CBERS-2 de Brasília.

2 - Interpretar a imagem CBERS-2 de Brasília seguindo as etapas:

- a) Fixar com fita crepe o papel vegetal somente na parte superior da imagem.
- b) Selecionar uma área desta imagem para a atividade (um retângulo) que seja heterogênea e representativa.
- c) Delimitar o retângulo selecionado sobre o papel vegetal.
- d) Com base nos elementos de interpretação (cor, textura, forma, tamanho, sombra, padrão, localização e contexto) delimitar e identificar as seguintes classes de cobertura e uso da terra:
 - Rede viária principal
 - Aeroporto
 - Área Urbana
 - Área Urbana do Plano Piloto
 - Rede de Drenagem Principal/Mata ciliar
 - Lago/Represa
 - Ponte
 - Cerrado
 - Reflorestamento
 - Área Agrícola
 - Área Queimada
- e) Criar uma legenda para essas classes, por meio de símbolos e cores. A legenda pode ser criada baseada na lógica perceptiva (Ajuda em: <http://www.uff.br/geoden/>).
- f) Interprete a imagem CBERS-1 de Brasília no sitio: <http://www.dgi.inpe.br/html/gal-2.htm> e destaque o que mudou nas especificações da imagem (satélite e data) e na área representada.

*imagem distribuída durante a oficina do curso.

- g) Interprete a imagem de alta resolução espacial de Brasília no Google Earth (<http://earth.google.com/>), identifique e indique exemplos de alvos que podem ser discriminados nesta imagem.

De maneira geral, o objetivo dessas atividades é ensinar ao participante a identificar informações sobre a superfície terrestre contidas em imagem de sensoriamento remoto. A partir das informações, dentre outras possibilidades, o participante poderá relacionar as imagens com mapas locais, cartas topográficas e até mesmo fotos.

Materiais necessários para as oficinas:

- folhas de papel vegetal tamanho A3;
- mapas da cidade – novos e antigos;
- uma caixa de lápis de cor; não pode ser lápis de cera;
- régua;
- borracha;
- lápis preto;
- cartões postais do Distrito Federal que mostrem paisagens. Podem ser fotos pessoais, desde que na foto apareça alguma paisagem.

Homepages com imagens de satélites grátis

Nos sites relacionados abaixo, o professor poderá ter acesso a várias cartas imagens que podem ser utilizadas para o desenvolvimento de atividades com sensoriamento remoto.

Satélite CBERS

http://www.cbears.inpe.br/pt/programas/p_imagens.htm

Satélite IKONOS – Imagens de alta resolução

www.spaceimaging.com

Homepage da EMBRAPA com imagens de satélite de todos os estados brasileiros. Clique sobre a imagem com o mouse para obter imagens mais detalhadas da área de interesse.

<http://www.cdbrazil.cnpm.embrapa.br>

Homepage ENGESAT – galeria de imagens de satélite

<http://www2.engesat.com.br/?system=publicações&action=categorias>

Homepage da SATMÍDIA – galeria de imagens de satélite

<http://www.satmídia.com.br>

Homepage da Divisão de Geração de Imagens do INPE

<http://www.dgi.inpe.br>

Galeria de imagens, do mundo todo, da *Earth Observatory*

<http://earthobservatory.nasa.gov/observatory>

Our Earth as Art

earthart.gsfc.nasa.gov/index.htm (Este site tem imagens lindíssimas)

LANDSAT

<http://landsat.gsfc.nasa.gov/images>

Earth from Space

<http://eol.jsc.nasa.gov/sseop/EFS/>

<http://eol.jsc.nasa.gov/Coll/>

<http://eol.jsc.nasa.gov/cities/>

The Gateway to Astronaut Photography of Earth

<http://eol.jsc.nasa.gov/sseop/>

Visible Earth-NASA

<http://www.visibleearth.nasa.gov/>

Site da UFRGS onde está toda a cobertura do RS em imagem LANDSAT. Para obter as imagens *full* basta se cadastrar

<http://www.sct.rs.gov.br/programas/mosaico/index.htm>

ENGESAT

<http://www.engesat.com.br>

Todos os meses eles colocam na rede, uma imagem LANDSAT *full*, gratuitamente.



AUTORES



Angelica Carvalho Di Maio é Doutora em Geografia – Área de concentração em Análise da Informação Espacial (Geoprocessamento) pela Universidade Estadual Paulista – UNESP-Rio Claro (2004); Mestre em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais –INPE (1994); Formada em Engenharia Cartográfica pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ (1989);

Atuação profissional: Atividades de ensino, pesquisa e coordenação (curso de Geografia e de Pós-graduação Lato Sensu “Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento: Princípios e Aplicações”) na Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP de 1992 a 2006. A partir de 2006, atividades de ensino e pesquisa na UFF. Leciona disciplinas na graduação e na pós-graduação (Cartografia, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento). Coordena o Curso de pós-graduação Lato Sensu: Geotecnologias Aplicadas a Análise Ambiental de Bacias hidrográficas. Desenvolve investigação científica na área de Cartografia e Geotecnologias aplicadas ao ensino básico (homepage educativa www.univap.br/~geodem). Co-autora do Atlas de Ecossistemas da América do Sul e Antártica através de Imagens de Satélite. CD-ROM. INPE- UNIVAP, 2005.



Bernardo Friedrich Theodor Rudorff é Doutor em Agronomia pela Universidade de Maryland, nos Estados Unidos (1990 a 1993); Mestrado em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, SP, (1981 a 1984); Graduação em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, MG (1976 – 1980).

Atuação profissional: Pesquisador Titular III na Divisão de Sensoriamento Remoto da Coordenação de Observação da Terra do INPE, São José dos Campos, SP. Realiza

pesquisas em Sensoriamento Remoto aplicadas à agricultura; orienta alunos no curso de pós-graduação em Sensoriamento Remoto e no curso de especialização “Curso Internacional em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas”; ensina em cursos de curta duração entre eles os de formação de professores do ensino fundamental e médio promovidos pelo INPE e pelo programa AEB-Escola.



Elisabete Caria Moraes é Doutora em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, Brasil – Fevereiro de 2001. Mestre em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, Brasil – Março de 1986. Graduada em Física pela Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, Brasil (1977 – 1980).

Atuação profissional: Tecnologista Sênior III na Divisão de Sensoriamento Remoto da Coordenação de Observação da Terra do INPE, São José dos Campos, SP. De 07/1984 até 04/1990: Pesquisa e Desenvolvimento em Meteorologia por Satélite da Divisão de Meteorologia por Satélite. De 05/1990 até o presente: Pesquisa e Desenvolvimento em Sensoriamento Remoto nas seguintes áreas: Radiômetria de alvos; Detecção da Radiação e Caracterização de sua Interação com a Atmosfera; Modelagem de transferência radiativa e Modelagem climática; atividades de ensino e orientação no curso de pós-graduação em Sensoriamento Remoto e no curso de especialização “Curso Internacional em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas”; coordenação, organização e ensino em cursos de curta duração presencial na capacitação de professores do ensino fundamental e médio promovidos pelo INPE; e ensino em cursos a distância (e-learning) de curta duração na capacitação de professores universitários e profissionais públicos e liberais.



Gabriel Pereira é Mestre no curso de Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Graduado em Geografia pela Universidade do Estado de Santa Catarina (2004) e técnico em Meteorologia pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina - CEFET/SC (2005).

Atuação profissional: Atualmente, é bolsista na mesma instituição onde desenvolve trabalhos com queimadas, poluição e doenças do trato respiratório. É colaborador do Grupo de Modelagem da Atmosfera e Interfaces (GMAI) do CPTEC/INPE, onde desenvolve pesquisas para quantizar a emissão de queimadas a partir de dados de sensores orbitais e da energia radiativa do fogo. Participa do Grupo EUREQA (Epidemiologia

do uso e da resistência bacteriana a antibióticos na população) que investiga os fatores epidemiológicos comunitários relacionados ao surgimento de resistência bacteriana a antimicrobianos. Atua como formador nos cursos à distância e presenciais oferecidos pelo INPE na área de Sensoriamento Remoto. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Sensoriamento Remoto, atuando principalmente nos seguintes temas: geoprocessamento, sensoriamento remoto, clima urbano, ilhas de calor e urbanização.



Mauricio Alves Moreira é Doutor em Solos e Nutrição de Plantas pela Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz” Esalq/USP, Piracicaba, SP, Brasil – Março de 1997. Mestre em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, Brasil – Março de 1983. Graduado em Fítotecnia pela Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa, Brasil (1974 – 1977).

Atuação profissional: Pesquisador Titular na Divisão de Sensoriamento Remoto da Coordenação de Observação da Terra do INPE, São José dos Campos, SP. Durante este período atua nas seguintes Áreas: Estimativa de áreas agrícolas através do Sensoriamento Remoto e Geoinformação; Estimativa de áreas agrícolas através de amostragem de área; Estudo do comportamento espectral de culturas agrícolas submetidas a estresses hídricos e nutricionais; Ensino e orientação no curso de pós-graduação em Sensoriamento Remoto e no curso de especialização “Curso Internacional em Sensoriamento Remoto”; Ensino em cursos de curta duração presencial na capacitação de professores do ensino fundamental e médio promovidos pelo INPE; Palestras sobre uso de dados de satélites no meio ambiente, ênfase na agricultura; Autor do livro **“Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação”**, 3ª Edição, pela Editora UFV, Viçosa, MG, Brasil; Participação na autoria de capítulos do livro **“O Sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil”**, editora Bookimage, São José dos Campos, 2006, 448p; e Autor do capítulo. Moreira, M. A; Shimabuku Y.E. Cálculo do Índice de Vegetação a partir do sensor VHRR. In: Ferreira, N.J. (org.) Aplicações Ambientais Brasileiras dos Brasileiras dos Satélites NOAA E TIROS-N. 1ª ed., Oficina de Textos, p79-101, 2004.



Tania Maria Sausen é Doutora em Geografia Física, Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Data: DEZ 1988; Mestre em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais São José dos Campos, SP, Data: NOV 1980; e Licenciatura Plena em Geografia, Instituto de Geociências da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS, Porto Alegre, RS Data: DEZ 1973.

Atuação profissional: Pesquisadora da Divisão de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de 02 de janeiro de 1975 até 06 de abril de 1992; de 30 de Setembro de 1993 até Fevereiro de 1998; Chefe do Setor de Treinamento do Instituto de Pesquisas Espaciais, de 06 Abril de 1992 até 30 de setembro de 1993; Pesquisadora da Coordenadoria de Ensino, Documentação e Programas Especiais, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de fevereiro de 1998 até janeiro de 2006; Pesquisadora da Coordenação de Gestão Científica de janeiro de 2006 até o momento; Coordenadora do Programa EDUCA SeRe- Elaboração de material Didático para o Ensino de Sensoriamento Remoto para Países em Desenvolvimento; Responsável pela Atividade de Treinamento e Difusão de Conhecimento em Ciência e Tecnologia espacial no INPE, desde 17 de março de 2000; Coordenadora da Ação de Difusão de Conhecimentos e Tecnologias Espaciais, no âmbito do Programa Nacional de Atividades Espaciais-PNAE, do Plano Plurianual-PPA/200-2003; Coordenadora da Ação de Funcionamento do Centro Regional de Educação em Ciência e Tecnologia Espaciais para América Latina e Caribe, do Plano Plurianual-PPA/2000-até o momento; Diretora do Campus Brasil do Centro Regional de Educação em Ciência e Tecnologia Espacial para América Latina e o Caribe-CRECTEALC-desde agosto de 2002; Coordenadora, pelo INPE, do Projeto Educa SeRe III - Elaboração de Carta Imagem para o Ensino de Sensoriamento Remoto - Utilização de Cartas Imagens-CBERS como recurso didático- Área Metropolitana de Porto Alegre; Coordenadora Geral do Projeto Educa SeRe II-Atlas de Ecossistemas da América do Sul e Antártica através de imagens de satélite.



Teresa Gallotti Florenzano é Doutora em Geografia Física, Departamento de Geografia da FFLCH-USP, São Paulo-SP, setembro de 1993; Mestre em Ciências (Especialidade: Sensoriamento Remoto) Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, dezembro de 1985; Bacharel em Geografia, Departamento de Geografia da FFLCH-USP, São Paulo-SP, dezembro de 1974.

Atuação profissional: Pesquisador titular III na Divisão de Sensoriamento Remoto, INPE, São José dos Campos, SP, exercendo atividades de pesquisa em Sensoriamento Remoto aplicado à Geomorfologia, estudos urbanos e na Educação; atividades de ensino e orientação no curso de mestrado em Sensoriamento Remoto e no curso de especialização “Curso Internacional em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas”; coordenador dos Cursos: “O Uso Escolar de Sensoriamento Remoto no Estudo do Meio Ambiente” e de cursos de Sensoriamento Remoto de curta duração na modalidade à distância e híbridos; autor dos livros: Imagens de Satélite para Estudos Ambientais (2002) e A Nave Espacial Noé (2004), ambos editados pela Oficina de Textos.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA



INSTITUIÇÕES PARCEIRAS

Apoio:



Realização:



Ministério da
Educação

Ministério da
Ciência e Tecnologia



AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA

Programa AEB Escola

SPO - Área 5 - Quadra 3 - Bloco Q - Salas 03 a 09 - CEP: 70610-200 Brasília DF

Fone: (61) 3411-5678 | 3411-5517

<http://www.aeb.gov.br> | e-mail: aebescola@aeb.gov.br