

Teresa Gallotti Florenzano

IMAGENS DE SATÉLITE PARA ESTUDOS AMBIENTAIS

Sensoriamento Remoto

Texto - Cópias





Capítulo 1

IMAGENS OBTIDAS POR SENSORIAMENTO REMOTO

Os sensores instalados em satélites artificiais são o resultado da evolução da ciência e da tecnologia espacial. As imagens obtidas de satélites, de aviões (fotografias aéreas) ou mesmo na superfície ou próximo a ela como, por exemplo, uma fotografia da sua casa, escola ou de uma paisagem qualquer, tirada com uma máquina fotográfica comum, são todos dados obtidos por sensoriamento remoto. Por isto, inicialmente, vamos definir o que é sensoriamento remoto.

1.1 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. O termo sensoriamento refere-se à obtenção dos dados, e remoto, que significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita à distância, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e a superfície terrestre, como ilustrado na Fig. 1.1.

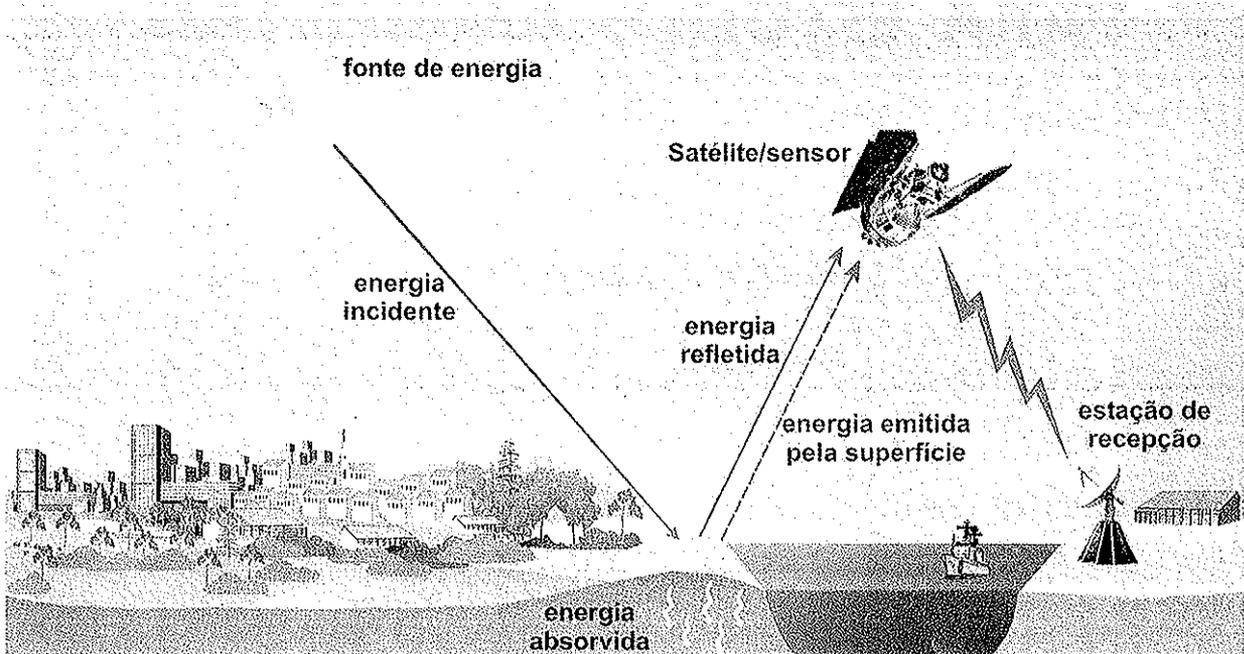


Fig. 1.1 Obtenção de imagens por sensoriamento remoto

Na Fig. 1.1 podemos observar que o sol ilumina a superfície terrestre. A energia proveniente do Sol, refletida pela superfície em direção ao sensor, é captada e registrada por este. Como veremos mais adiante, dependendo do tipo de sensor, a energia

emitida pela superfície da Terra também pode ser captada e registrada. Observe que, na sua trajetória, a energia atravessa a atmosfera, que interfere na energia final registrada pelo sensor. Quanto mais distante o sensor estiver da superfície terrestre,

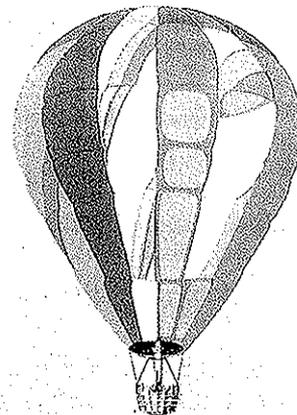
História do Sensoriamento Remoto

A origem do sensoriamento remoto vincula-se ao surgimento da fotografia aérea. Assim, a história do Sensoriamento Remoto pode ser dividida em dois períodos: um, de 1860 a 1960, baseado no uso de fotografias aéreas, e outro, de 1960 aos dias de hoje, caracterizado por uma variedade de tipos de fotografias e imagens. O Sensoriamento Remoto é fruto de um esforço multidisciplinar que integra os avanços da Matemática, Física, Química, Biologia e das Ciências da Terra e da Computação. A evolução das técnicas de sensoriamento remoto e a sua aplicação envolve um número cada vez maior de pessoas de diferentes áreas do conhecimento.

A história do Sensoriamento Remoto está estreitamente vinculada ao uso militar dessa tecnologia. A primeira fotografia aérea data de 1856 e foi tirada de um balão. Em 1862, durante a guerra civil americana, o corpo de balonistas de um exército fazia o reconhecimento das tropas confederadas através de fotografias aéreas. A partir de 1909, inicia-se a fotografia tomada por aviões e na primeira Grande Guerra Mundial seu uso intensificou-se. Durante a II Guerra Mundial houve um grande desenvolvimento do sensoriamento remoto. Nesse período, foi desenvolvido o filme infravermelho, com o objetivo de detectar camuflagem (principalmente para diferenciar vegetação de alvos pintados de verde), e introduzidos novos sensores, como o radar, além de ocorrerem avanços nos sistemas de comunicações. Posteriormente, durante o período da Guerra Fria, vários sensores de alta resolução foram desenvolvidos para fins de

espionagem. Recentemente, com o fim da Guerra Fria, muitos dados considerados de segredo militar foram liberados para o uso civil.

Na década de 1960, as primeiras fotografias orbitais (tiradas de satélites) da superfície da Terra foram obtidas dos satélites tripulados Mercury, Gemini e Apolo. A contribuição mais importante dessas missões foi demonstrar o potencial e as vantagens da aquisição de imagens orbitais, o que incentivou a construção dos demais satélites de coleta de dados meteorológicos e de recursos terrestres. Com o lançamento do primeiro satélite meteorológico da série TIROS, em abril de 1960, começaram os primeiros registros sistemáticos de imagens da Terra. Em julho de 1972, foi lançado o primeiro satélite de recursos terrestres, o ERTS-1, mais tarde denominado de LANDSAT-1. Atualmente, além dos satélites americanos de recursos terrestres da série LANDSAT, existem outros como, por exemplo, os da série SPOT, desenvolvidos pela França. No Brasil, as primeiras imagens do LANDSAT foram recebidas em 1973. Hoje, o Brasil recebe, entre outras, as imagens do satélite CBERS, produto de um programa de cooperação entre o Brasil e a China.



como é o caso daquele a bordo de satélites artificiais, maior será a interferência da atmosfera. A presença de nuvens na atmosfera, por exemplo, pode impedir que a energia refletida pela superfície terrestre chegue ao sensor a bordo de um satélite. Neste caso, o sensor registra apenas a energia proveniente da própria nuvem.

A energia refletida ou emitida pela superfície terrestre e captada por sensores eletrônicos, instalados em satélites artificiais,

é transformada em sinais elétricos, que são registrados e transmitidos para estações de recepção na Terra, equipadas com enormes antenas parabólicas (Fig. 1.1). Os sinais enviados para essas estações são transformados em dados na forma de **gráficos, tabelas** ou **imagens**. A partir da interpretação desses dados, é possível obter informações a respeito da superfície terrestre. Como interpretar imagens obtidas por sensoriamento remoto você vai encontrar no Capítulo 4 deste livro.



1.2 Fontes de Energia Usadas em Sensoriamento Remoto

Qualquer atividade requer o uso de energia, assim como para a obtenção de dados por sensoriamento remoto. A energia com a qual operam os sensores remotos pode ser proveniente de uma fonte natural, como a luz do sol e o calor emitido pela superfície da Terra, e pode ser de uma fonte artificial como, por exemplo, a do flash utilizado em uma máquina fotográfica e o sinal produzido por um radar.

A energia utilizada em sensoriamento remoto é a radiação eletromagnética, que se propaga em forma de ondas eletromagnéticas com

a **velocidade** da luz (300.000 km por segundo). Ela é medida em **freqüência** (em unidades de hertz-Hz,) e **comprimento de onda** (em unidades de metro). A freqüência de onda é o número de vezes que uma onda se repete por unidade de tempo. Dessa maneira, como indicado na Fig. 1.2, quanto maior for o número, maior será a freqüência e, quanto menor, menor será a freqüência de onda. O comprimento de onda é a distância entre dois picos de ondas sucessivas: quanto mais distantes, maior é o comprimento e, quanto menos distante, menor será o comprimento de onda (Fig. 1.2). A freqüência de onda é diretamente proporcional à velocidade de propagação e inversamente proporcional ao comprimento de onda.

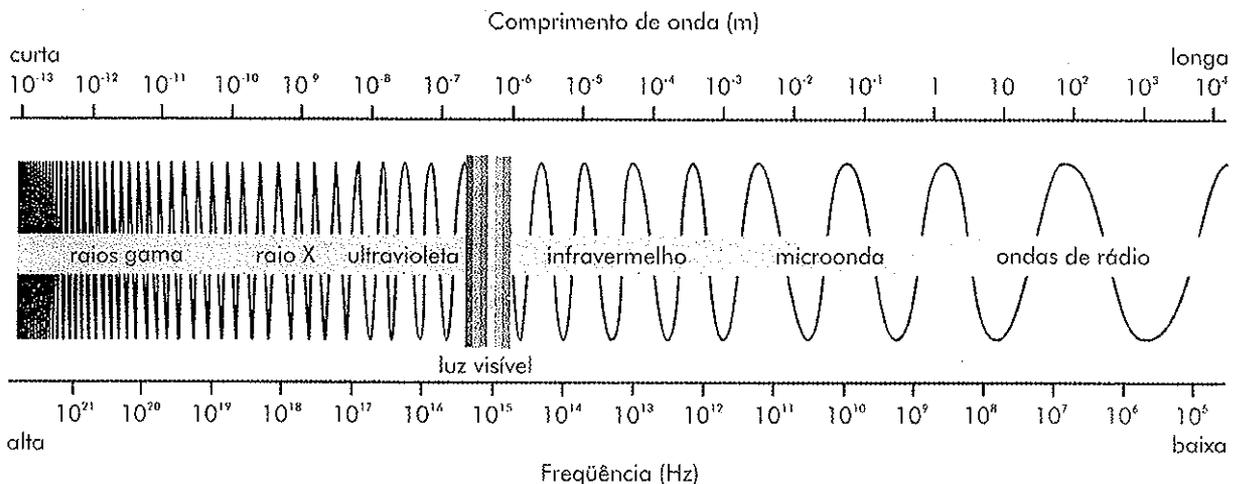


Fig. 1.2 O espectro eletromagnético

O **Espectro Eletromagnético** representa a distribuição da radiação eletromagnética, por regiões, segundo o comprimento de onda e a freqüência (Fig. 1.2). Observe que o espectro eletromagnético abrange desde curtos comprimentos de onda, como os raios cósmicos e os raios gama (γ), de alta freqüência, até longos comprimentos de onda como as ondas de rádio e TV, de baixa freqüência. Na região do espectro visível, o olho humano enxerga a energia (luz) eletromagnética, sendo capaz de distinguir as cores do violeta ao vermelho. A radiação do infravermelho (aquela do calor) é subdividida em três regiões: infravermelho próximo (0,7-1,3 μm) médio (1,3-6,0 μm) e distante ou termal (6,0-1000 μm).

1.3 A Energia Refletida da Superfície Terrestre

Os objetos da superfície terrestre como a vegetação, a água e o solo refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda, de acordo com as suas características bio-físico-químicas. As variações da energia refletida pelos objetos podem ser representadas através de curvas, como as mostradas na Fig. 1.3. Devido a essas variações, é possível distinguir os objetos da superfície terrestre nas imagens de sensores remotos. A representação dos objetos nessas imagens vai variar do branco (quando refletem muita energia) ao preto (quando refletem pouca energia) (Fig. 1.4).

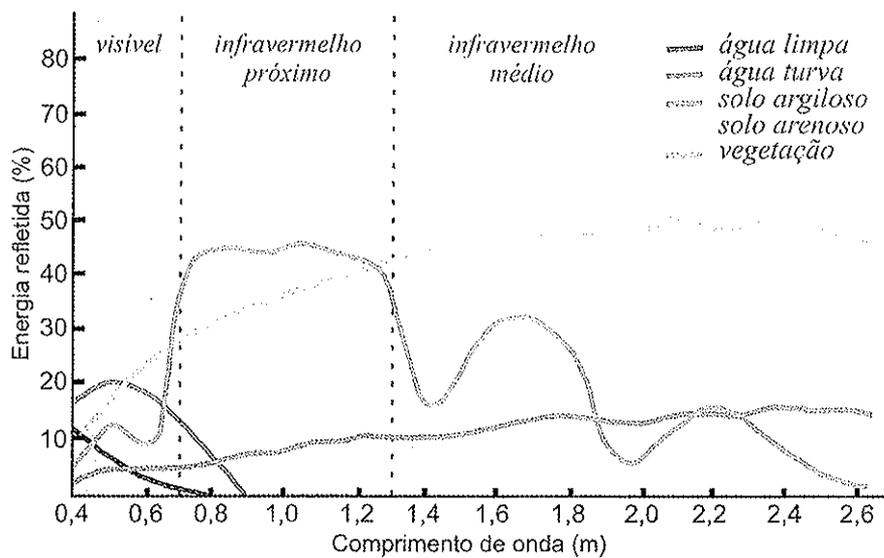


Fig. 1.3 Curva espectral da vegetação, da água e do solo

Analisando as curvas da Fig. 1.3, observamos que na região da luz visível a vegetação (verde e sadia) reflete mais energia na faixa correspondente ao verde. Esse fato explica porque o olho humano enxerga a vegetação na cor verde. Entretanto, verifica-se que é na faixa do infravermelho próximo que a vegetação reflete mais energia e se diferencia dos demais objetos. A curva do solo indica um comportamento mais uniforme, ou seja, uma variação menor, de energia refletida, em relação à vegetação, ao longo do espectro. A água limpa reflete pouca energia na região do visível e praticamente nenhuma energia na região do infravermelho, enquanto a água turbida (com sedimentos em suspensão ou poluída) reflete mais energia, porém somente na região do visível.

Na imagem da Fig. 1.4 podemos observar, por exemplo, que a vegetação da mata atlântica, que reflete muita energia nesta faixa (como indica a Fig. 1.3), é representada com tonalidades claras, enquanto a água, que absorve muita energia nessa faixa (como indica a

Fig. 1.3) é representada com tonalidades escuras.

Na região do visível, as variações da energia refletida resultam em um efeito visual denominado cor. Desta forma, um determinado objeto ou superfície é azul, quando reflete a luz azul e absorve as demais. O céu, por exemplo, é azul porque as moléculas de ar que compõem a atmosfera refletem na faixa de luz azul. Os objetos são verdes, como a vegetação, quando refletem na faixa de luz verde. Eles são vermelhos quando refletem na faixa de luz vermelha, como a maçã, por exemplo, e assim por diante. A luz branca é a soma das cores do espectro visível, portanto, um objeto é branco quando reflete todas as cores. O preto é a ausência de cores, por isto um objeto é preto quando absorve todas as cores desse espectro.

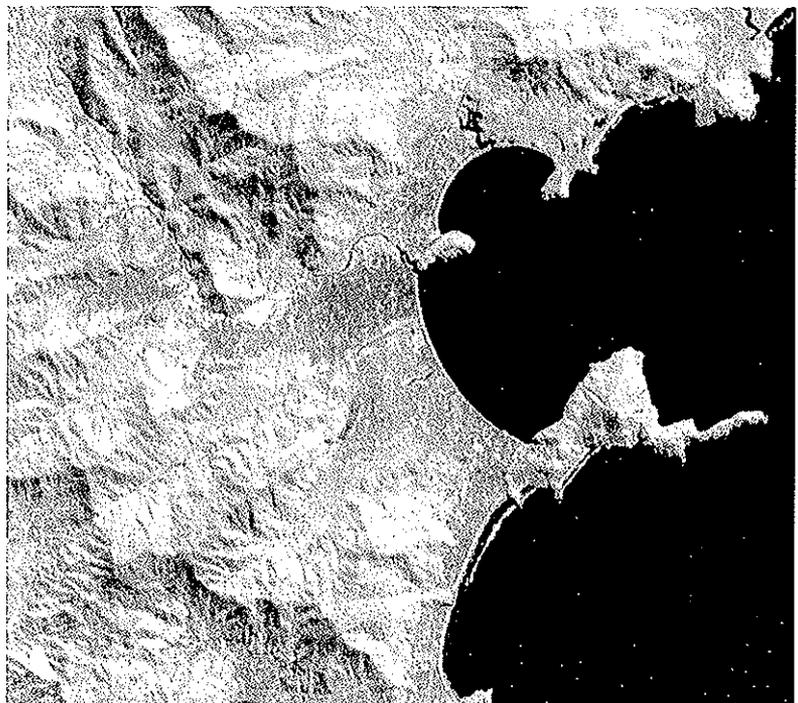


Fig. 1.4 Imagem de Ubatuba obtida na faixa do infravermelho próximo, no canal 4 do sensor ETM* (satélite LANDSAT-7), 11/08/1999.



1.4 Sensores Remotos

Os sensores remotos são equipamentos que captam e registram a energia refletida ou emitida pelos elementos da superfície terrestre. Dependendo de suas características, eles podem ser instalados em plataformas terrestres, aéreas (balões, helicópteros e aviões) e orbitais (satélites artificiais). As câmaras fotográficas, as câmaras de vídeo, os radiômetros, os sistemas de varredura (scanners) e os radares são exemplos de sensores.

Existem sensores operando em diferentes regiões do espectro eletromagnético. Dependendo do tipo, o sensor capta dados de uma ou mais

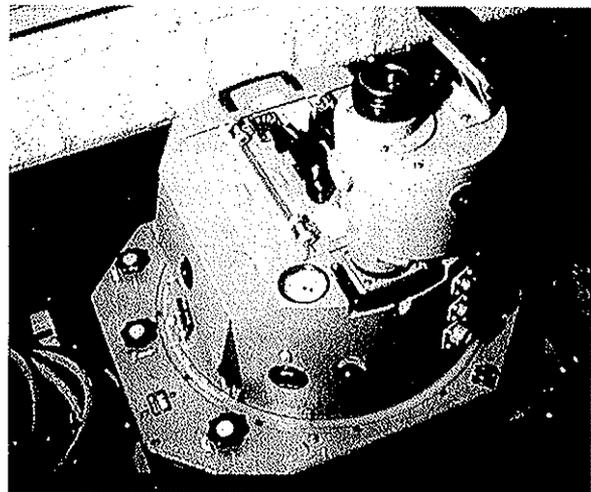
regiões do espectro. O olho humano é um sensor natural que enxerga somente a luz ou energia visível. Sensores artificiais nos permitem obter dados de regiões de energia invisível ao olho humano.

As câmaras fotográficas e de vídeo captam energia na região do visível e do infravermelho próximo. Nas câmaras fotográficas, o filme funciona como o sensor que capta e registra a energia proveniente de um objeto ou área. O sensor eletrônico multiespectral TM, do satélite LANDSAT-5, por exemplo, é um sistema de varredura que capta dados em diferentes faixas espectrais (três da região do visível e quatro da região do infravermelho).

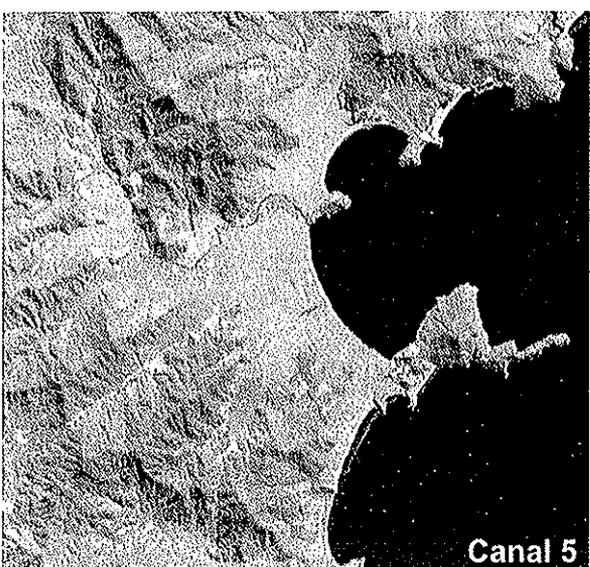
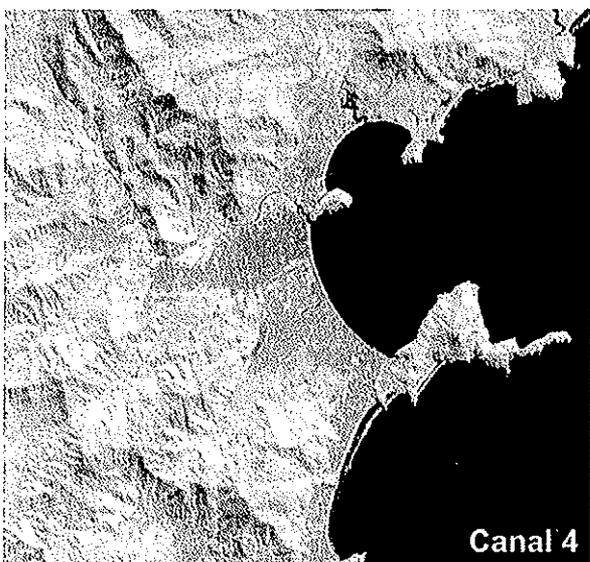
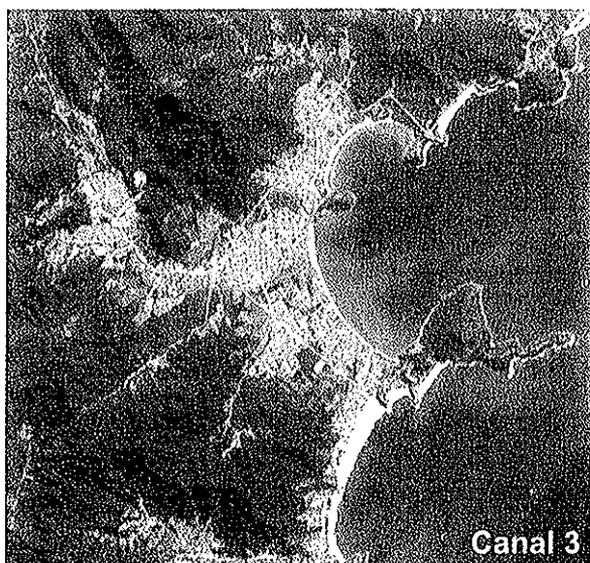


Fig. 1.5 Aeronave EMB-110 BANDEIRANTE (do INPE) e seus principais sensores remotos. No detalhe está a câmara fotográfica instalada na parte inferior do avião que voa em faixas, de um lado ao outro da área a ser fotografada, a intervalos regulares, e dispara a câmara fotográfica automaticamente. Fotos: Carlos Alberto Steffen.

Os sensores do tipo radar, por produzirem uma fonte de energia própria na região de micro-ondas, podem obter imagens tanto durante o dia como à noite e em qualquer condição meteorológica (incluindo tempo nublado e com chuva). Essa é a principal vantagem dos radares em relação aos sensores óticos que dependem da luz do sol, como as câmaras fotográficas (a menos que se utilize um flash), as câmaras de vídeo, scanners multiespectrais como, por exemplo, o ETM⁺ do satélite LANDSAT-7, entre outros. Para esses sensores, a cobertura de nuvens é uma limitação na obtenção de imagens. Quanto ao radar artificial, construído



pelo homem, o princípio de funcionamento é o mesmo do radar natural de um morcego. O radar artificial, assim como o do morcego, emite um sinal de energia para um objeto e registra o sinal que retorna desse objeto.



Na verdade, o morcego conta com a ajuda de um sonar que lhe permite captar o eco dos sons que emite para localizar objetos.

Da mesma forma que é possível transmitir um jogo de futebol em diferentes emissoras de rádio e TV, que operam em diferentes frequências de energia, denominadas canais, é possível obter imagens de uma mesma área, em diferentes faixas espectrais, também denominadas **canais** ou **bandas**.

Na Fig. 1.6, podemos observar imagens da mesma área obtidas pelo sensor multiespectral ETM⁺ do satélite LANDSAT-7 em diferentes canais. Pela análise dessa figura, verificamos que os objetos (água, vegetação, área urbana, etc.) não são representados com a mesma tonalidade nas diferentes imagens, porque, como vimos anteriormente (Fig. 1.3), a quantidade de energia refletida pelos objetos varia ao longo do espectro eletromagnético e as variações foram captadas pelo sensor ETM⁺, que opera em diferentes canais.

1.5 Resolução

A resolução refere-se à capacidade de um sensor “enxergar” ou distinguir objetos da superfície terrestre. Mais especificamente, a resolução espacial pode ser definida como o menor elemento ou superfície distinguível por um sensor. Dessa forma, um sensor como o ETM⁺, do satélite LANDSAT-7, cuja resolução espacial é de 30 metros, têm a capacidade de distinguir objetos que medem, no terreno, 30 metros ou mais. Isto equivale dizer que 30 por 30 metros (900 m²) é a menor área que o sensor TM consegue “ver ou enxergar”.

Fig 1.6 Imagens de Ubatuba, obtidas pelo ETM⁺ LANDSAT-7, 11/08/1999, nos canais 3 (da região do visível), 4 (do infravermelho próximo) e 5 (do infravermelho médio). Podemos observar que a área urbana está mais destacada na imagem do canal 3, enquanto a separação entre terra e água é mais nítida na imagem do canal 4. A vegetação está bem escura na imagem do canal 3, escura na imagem do canal 5 e clara na imagem do canal 4 que, como destacado anteriormente, corresponde à faixa espectral na qual a vegetação reflete mais energia.



RADAR

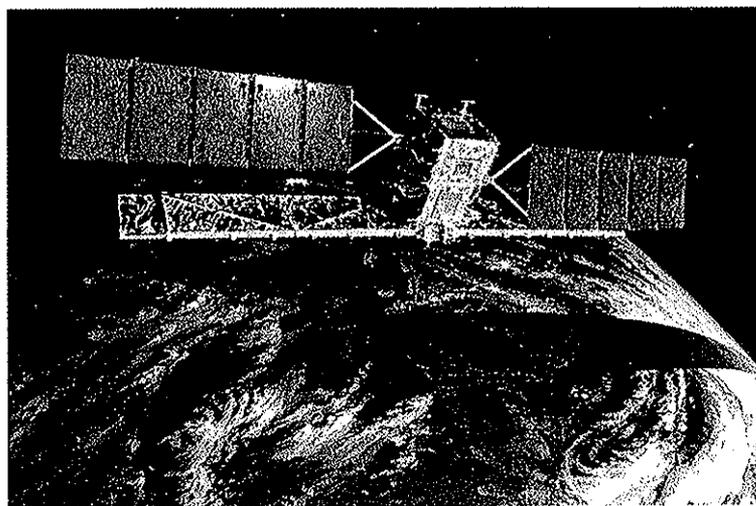
O termo **radar** (radio detection and ranging) significa detecção de alvos e avaliação de distâncias por ondas de rádio. Os radares operam em comprimentos de onda bem maiores do que aqueles da região espectral do visível e infravermelho. Eles operam na região de microondas entre as bandas **K-alfa** (10 cm ou 40 GHz) e **P** (1 m ou 300 MHz).

O território brasileiro foi imageado, na escala original de 1:400.000, pelo sistema de radar da GEMS (Goodyear Environmental Monitoring System), transportado a bordo de um avião a 11.000 m de altura. Este imageamento foi realizado em dois períodos: 1971/1972 e 1975/1976. O primeiro período cobriu a Amazônia Legal, parte leste dos Estados da Bahia e Minas Gerais e norte do Espírito Santo; o segundo período cobriu o restante do Brasil. A partir da análise dessas imagens foi feito um mapeamento dos recursos naturais de todo o País pelo projeto RADAMBRASIL no período de 1971 a 1986. Os mapas resultantes desse projeto encontram-se publicados na escala de 1:1.000.000.

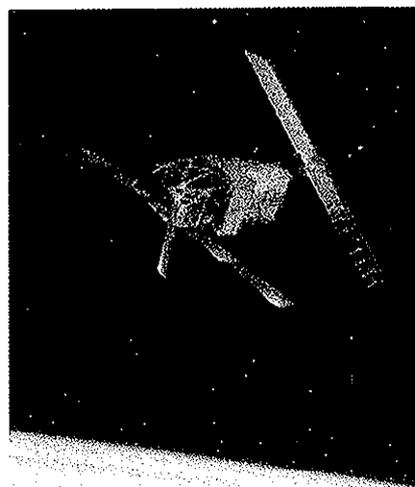
No nível orbital, ou seja, a bordo de satélites artificiais, as missões civis com radar iniciaram-se em 1978 com o programa SEASAT, desenvolvido pela NASA. Atualmente, destacam-se o programa ERS da

agência espacial europeia (ESA) e o RADARSAT, desenvolvido pelo Canadá, em parceria com a NASA e NOAA, dos EUA. A ESA já lançou três satélites de observação da Terra, o ERS-1, o ERS-2 e o ENVISAT. Os satélites ERS, a uma altitude média de 780 km, levam a bordo um radar que opera na banda **C** (comprimento de onda de 5,7 cm) da região de microondas. A resolução espacial desse sensor é de 25 metros (tamanho do menor objeto distinguido pelo sensor). O ENVISAT, lançado recentemente (1-3-2002), leva a bordo dez sensores que visam monitorar o uso e a cobertura da terra, os oceanos, o gelo polar e a atmosfera. Um desses sensores é um sistema avançado de radar, o ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar).

O programa RADARSAT visa fornecer dados de áreas sensíveis do planeta do ponto de vista ambiental, como florestas tropicais, desertos em expansão, etc. e para estudos nas áreas de geologia, geomorfologia, oceanografia, vegetação, uso da terra e agricultura, entre outras. Deste programa foi lançado o RADARSAT-1 que está a uma altitude de 798 km. O radar, a bordo desse satélite, opera na banda C da região de microondas, com uma resolução espacial que pode variar de 10 a 100 m.



Radarsat-1



ERS-1

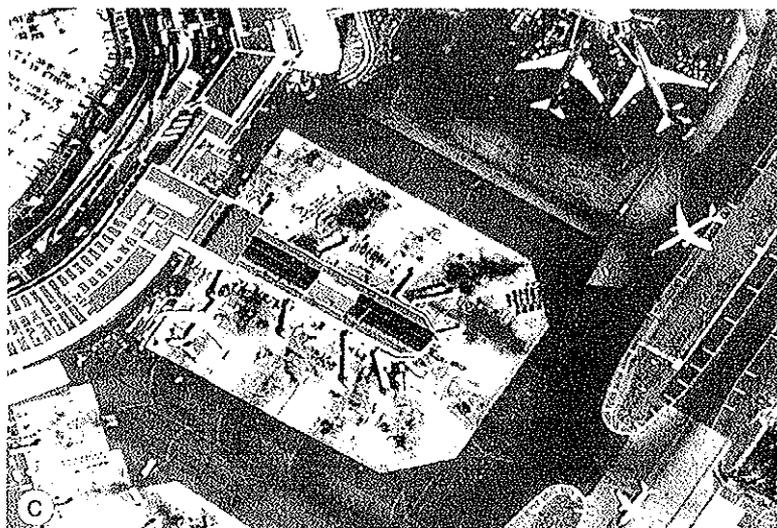
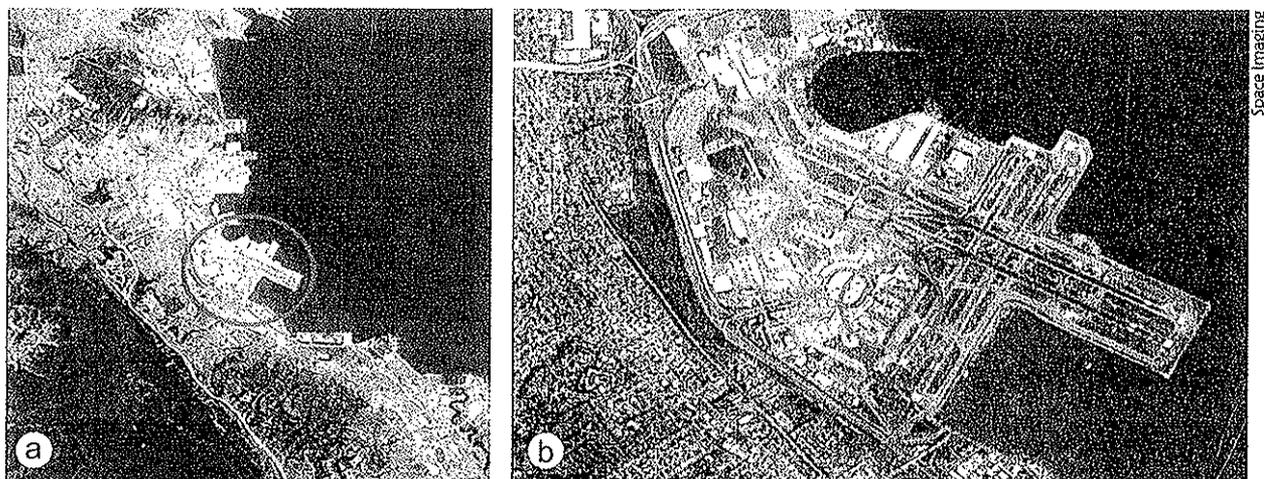


Fig. 1.7 Imagens do aeroporto de San Francisco (EUA), tomadas com resolução espacial de 30 metros (a), 5 metros (b) e 1 metro (c) pelos sensores a bordo dos satélites LANDSAT-5, IRS-2 e IKONOS-2, respectivamente. Cortesia: Maurício B. Meira.

primeira missão, o IKONOS-1, não foi bem sucedida), é possível obter imagens pancromáticas (região do visível) de alta resolução, cerca de um metro, como a da Fig. 1.7c, e de quatro metros para as imagens multiespectrais (região do visível e infravermelho).

Em uma fotografia aérea ou imagem de satélite, com uma resolução espacial em torno de 1 metro, podem-se identificar as árvores de um pomar, as casas e edifícios de uma cidade ou os aviões estacionados em um aeroporto, enquanto em uma imagem de satélite, com uma resolução de 30 metros, provavelmente será identificado o pomar, a mancha urbana correspondente à área ocupada pela cidade e apenas a pista do aeroporto, como pode ser observado na Fig. 1.7.

A partir do satélite americano IKONOS-2, lançado em setembro de 1999 (a

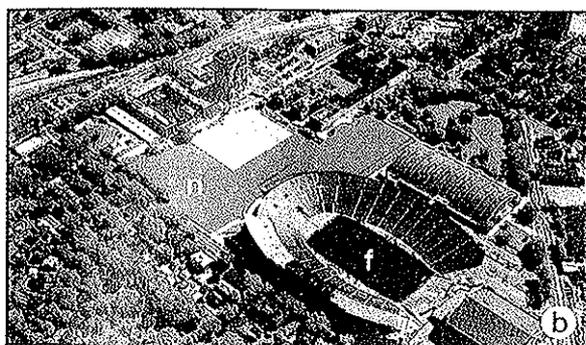
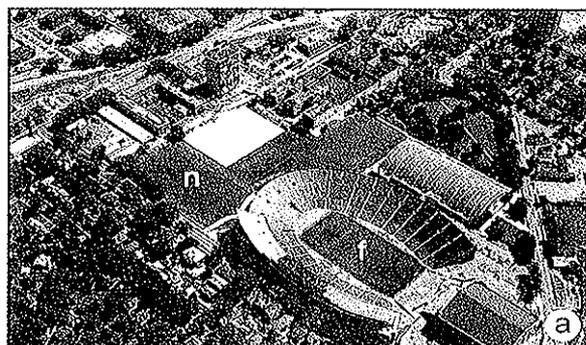
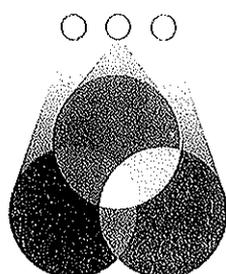


Fig. 1.8 Fotografia aérea colorida natural (a) e colorida infravermelho (b) da Universidade de Wisconsin (EUA). Observando esta figura é possível constatar que o campo de futebol é formado por grama sintética (f), pois se a grama fosse natural (n) seria representada na cor vermelha na foto b, como ocorre com o campo ao lado, de grama natural, e o restante da vegetação natural. Fonte: Lillesand e Kiefer, 2000.



Processo de Formação de Cores



Processo aditivo

Para entender como os filmes coloridos funcionam, é necessário entender o processo de formação das cores, que pode ser aditivo ou subtrativo. O princípio da fotografia colorida consiste na possibilidade de se reproduzir qualquer cor, a partir de uma mistura de apenas três cores primárias: azul, verde e vermelho. A mistura das cores primárias, denominada processo aditivo, forma as cores amarelo, ciano (verde-azulado) e magenta, que são as cores secundárias ou subtrativas. Cada uma destas três cores resulta da subtração de uma das cores da luz branca. No processo aditivo de formação das cores, como mostra o diagrama, observa-se que a mistura da luz verde com a luz vermelha resulta na produção da luz amarela. Da mistura do vermelho com o azul resulta a luz magenta, e da mistura do verde com o azul, resulta a luz ciano. A combinação das três cores primárias, em proporções iguais, gera o branco.

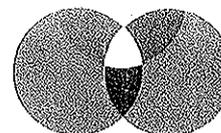
1.6 Fotografias Coloridas

A tonalidade ou a cor das fotografias obtidas por meio de um sensor fotográfico (câmara fotográfica) vai depender da sensibilidade do filme e dos filtros utilizados no processo de formação das cores. Dessa maneira, com um filme preto e branco pancromático, que é sensível à faixa do visível, é possível obter fotografias aéreas em preto e branco, também denominadas de pancromáticas (Fig. 1.9a, p.18). Com um filme infravermelho preto e branco, são obtidas fotografias em preto e branco infravermelhas, como simulado na Fig. 1.9b.

Com um filme colorido, sensível à faixa do visível, são obtidas fotografias coloridas, também denominadas normais ou naturais, nelas os objetos são representados com as mesmas cores

O processo subtrativo de formação de cores é o mais utilizado na geração de fotografias coloridas.

Nesse processo, como mostra o diagrama, três filtros são colocados em frente a uma fonte de luz branca. O filtro amarelo absorve a luz azul do feixe de luz branca e transmite a luz verde e a vermelha. O filtro magenta absorve a luz verde e transmite a azul e a vermelha. O filtro ciano absorve o componente vermelho e transmite o verde e o azul. A superposição dos filtros magenta e ciano, mostrada no diagrama, permite a passagem da luz azul, pois o filtro magenta absorve o verde e o ciano absorve o vermelho. A superposição do amarelo e ciano e do amarelo e magenta gera as cores verde e vermelha, respectivamente. A superposição dos três filtros impede a passagem da luz, absorvendo as três cores primárias presentes na luz branca, e a ausência de cores resulta no preto.



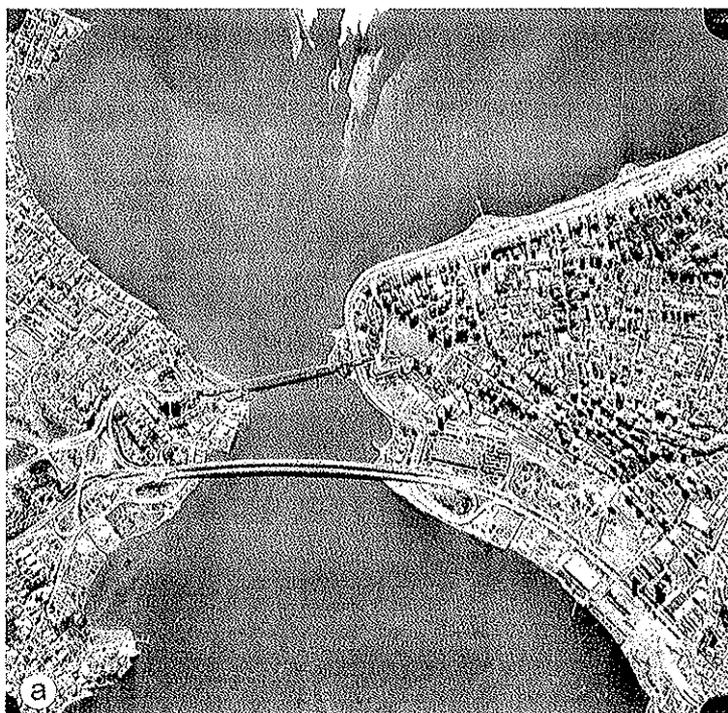
Processo subtrativo

vistas pelo olho humano (Fig. 1.8a e 1.9c). Com um filme infravermelho colorido, sensível à faixa do infravermelho próximo, são obtidas fotografias coloridas infravermelhas, também denominadas **falsa-cor** (Fig. 1.8b e 1.9d).

Os filmes infravermelhos coloridos foram denominados **falsa-cor** porque a cena, registrada por este tipo de filme, não é reproduzida na suas cores verdadeiras, isto é, como vistas pelo olho humano. Esses filmes foram desenvolvidos durante a II Guerra Mundial, com o objetivo de detectar camuflagens de alvos pintados de verde que imitavam vegetação. Essa detecção é possível, porque a vegetação, como indica o gráfico da Fig. 1.3, reflete mais intensamente energia na região do infravermelho. Desta forma, enquanto nas fotografias falsa-cor a vegetação aparece em vermelho, objetos verdes ou vegetação artificial geralmente

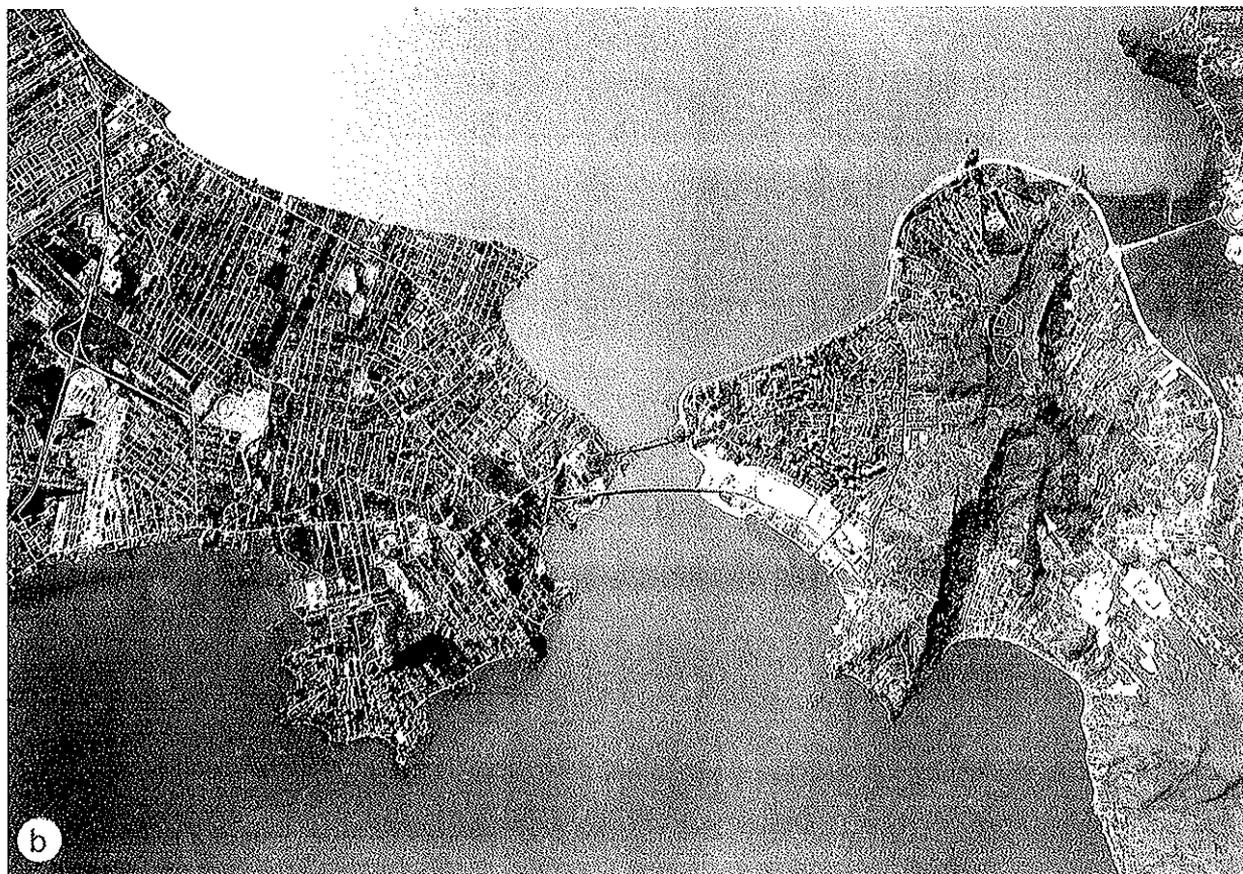
aparecem em azul/verde, como pode ser observado na Fig. 1.8b.

A escolha do tipo de filme para um determinado estudo vai depender do seu objetivo e da disponibilidade de recursos, pois os filmes coloridos são mais caros que os em preto e branco. As fotografias obtidas com filmes infravermelhos são as que fornecem mais informações sobre vegetação, fitossanidade das culturas (permitem diferenciar plantas sadias de plantas doentes) e umidade do solo, Fig. 1.10.

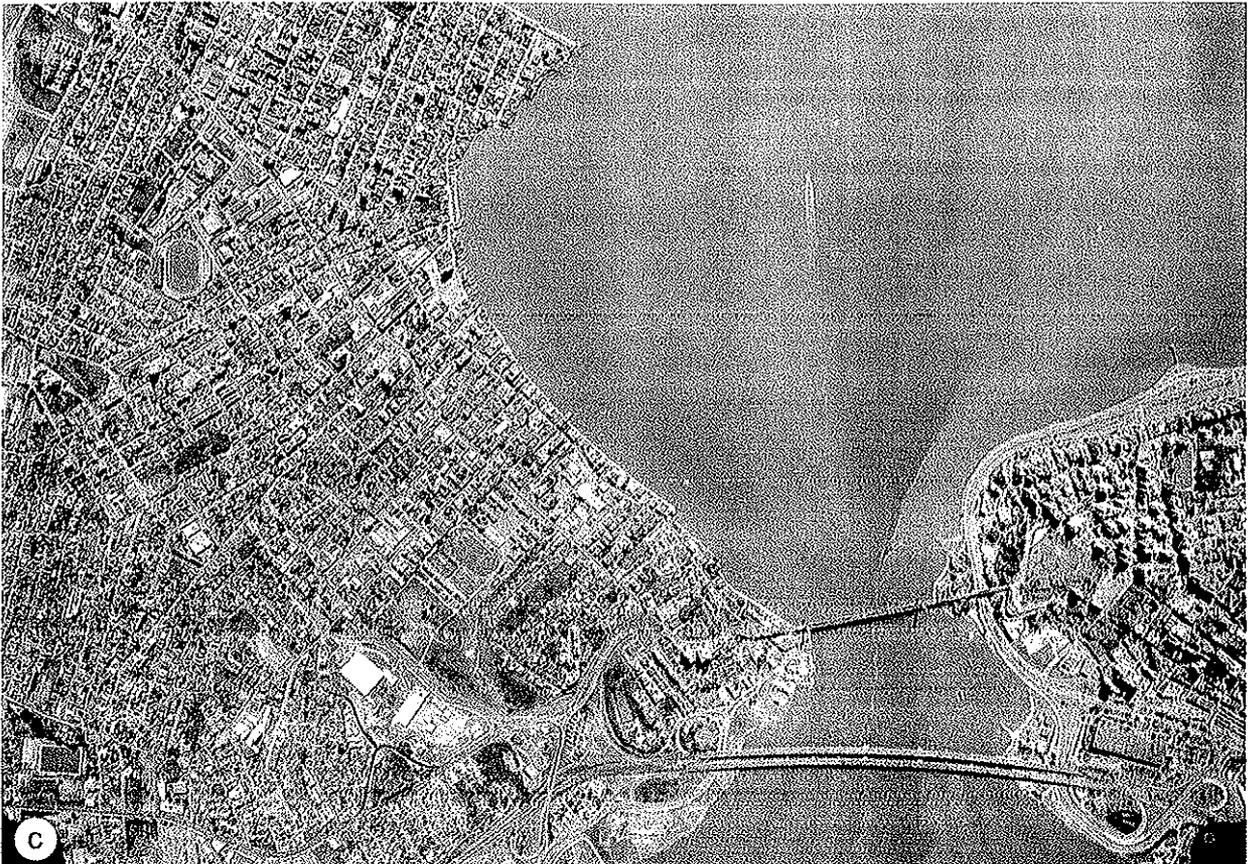
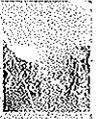


Luiz A. Paulino

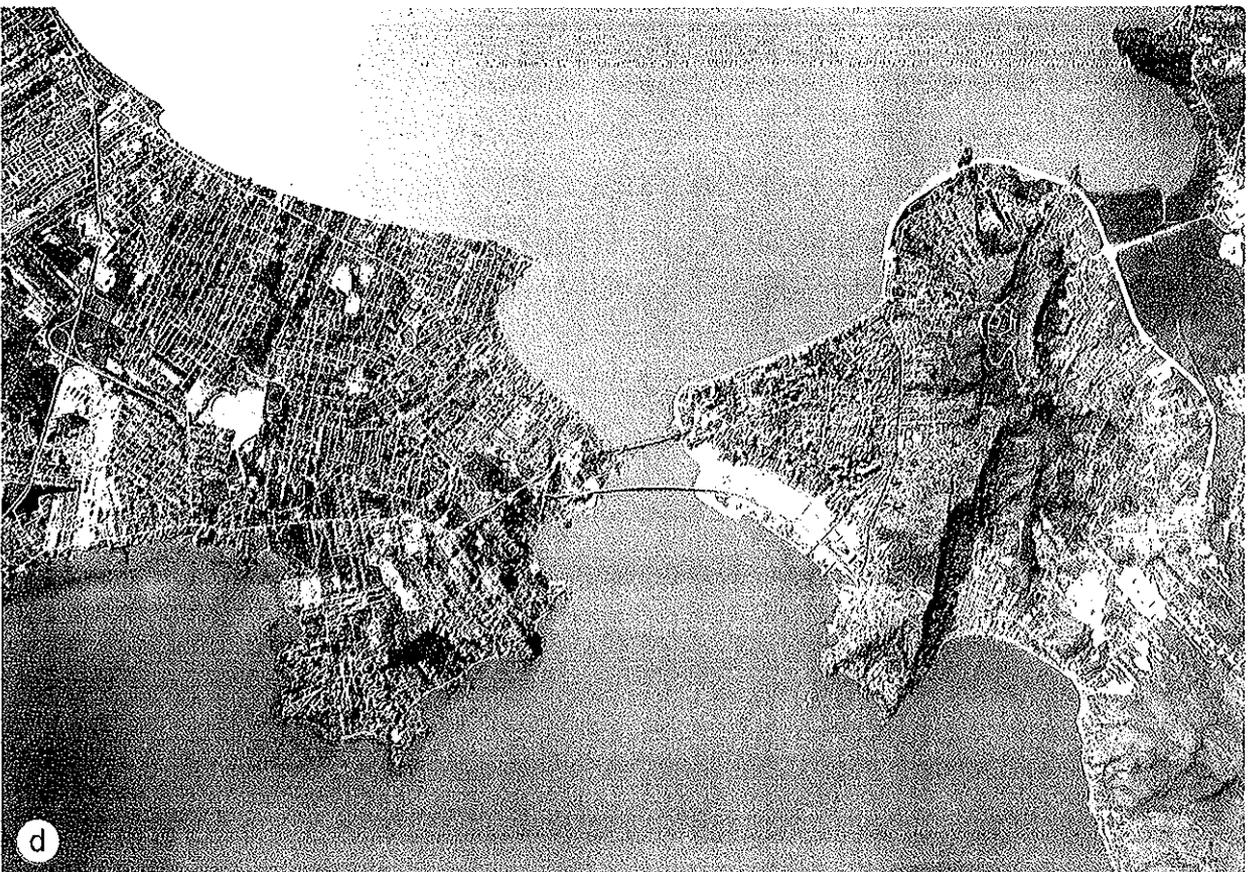
Fig. 1.9 Fotografias aéreas de Florianópolis-SC (no centro as pontes Eríllo Luz e Colombo, que ligam a ilha de Santa Catarina ao Continente): (a) preto e branco pancromático; (b) preto e branco infravermelho (simulação); (c) colorido natural; e (d) colorido falsa-cor, na qual podemos observar a vegetação representada em vermelho. Como a vegetação absorve muita energia no visível e reflete muita energia no infravermelho próximo, aparece escura em (a) e clara em (b).



Cruzeiro do Sul



Intersect



Cruzeiro do Sul

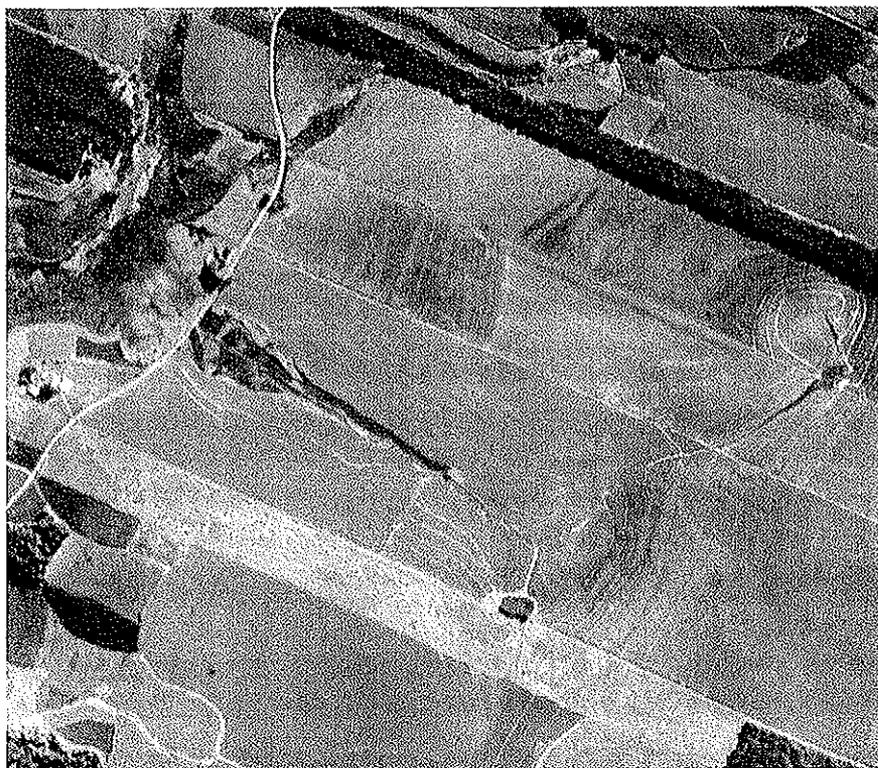


Fig. 1.10 Fotografia infravermelho falsa-cor de culturas de trigo no Município de Tapera - RS. Observe que as parcelas com trigo sadio estão representadas em vermelho mais claro e mais uniforme, enquanto aquela do trigo atacada pela doença "mal do pé" (*Ophiobolus graminis*) aparece em vermelho mais escuro mesclado ao verde que representa o solo. Cortesia: Maurício A. Moreira

1.7 Imagens Coloridas

As imagens obtidas por sensores eletrônicos, em diferentes canais, são individualmente produzidas em preto e branco. A quantidade de energia refletida pelos objetos vai determinar a sua representação nessas imagens em diferentes tons de cinza, entre o branco (quando refletem toda a energia) e o preto (quando absorvem toda a energia). Ao projetar e sobrepor essas imagens, através de filtros coloridos, azul, verde e vermelho (cores primárias), é possível gerar imagens coloridas, conforme ilustrado nas Figs. 1.11, 1.12 e 1.13. Nas imagens coloridas, a cor de um objeto vai depender da quantidade de energia por ele refletida, da mistura das cores (segundo o processo aditivo) e da associação das cores com as imagens. Essa associação explica o fato de a vegetação e a

área urbana serem representadas com cores diferentes nas imagens coloridas das Figs. 1.11 e 1.12, embora as imagens originais sejam as mesmas. O que mudou foi apenas a associação das cores com essas imagens.

Analisando as Figs. 1.11 a 1.13, podemos verificar que se um objeto é branco nas três imagens em preto e branco, que dão origem à imagem colorida, nessa imagem (colorida) ele também é representado em branco como, por exemplo, a areia da praia (Fig. 1.13). O mesmo processo ocorre quando um objeto é preto nas três imagens originais. Por isto, ele é representado em preto também na imagem colorida como, por exemplo, a sombra do relevo e a água mais limpa e profunda do oceano.

Se um objeto é claro (branco) somente em uma das imagens originais, na imagem colorida ele é representado pela cor que foi associada a essa imagem original, o que explica a vegetação verde na imagem da Fig. 1.11 e a vegetação vermelha na Fig. 1.12. Essas foram as cores associadas às imagens do canal 4 do infravermelho próximo, região na qual a vegetação reflete mais energia e aparece clara nessas imagens.

Se um objeto aparece claro em duas das imagens originais, sua cor na imagem colorida vai ser a resultante da mistura entre as duas cores que forem associadas às imagens originais nas quais ele é branco. Tomemos como exemplo a área urbana que aparece clara nas imagens dos canais 3 e 5. Na Fig. 1.11, as imagens foram associadas às cores azul e vermelho, respectivamente.



Fig. 1.11 Imagem colorida de Ubatuba, obtida a partir das imagens ETM⁺ LANDSAT-7, 11/08/1999, dos canais 3, 4 e 5, com as cores azul, verde e vermelha, respectivamente.

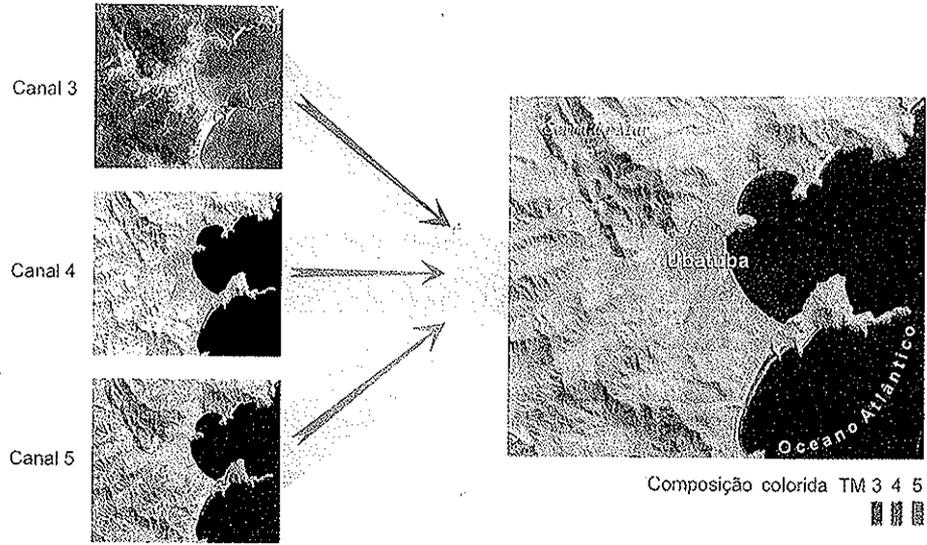


Fig. 1.12 Imagem colorida de Ubatuba, obtida a partir das imagens ETM⁺ LANDSAT-7 dos canais 3, 4 e 5, com as cores azul, vermelha e verde, respectivamente.

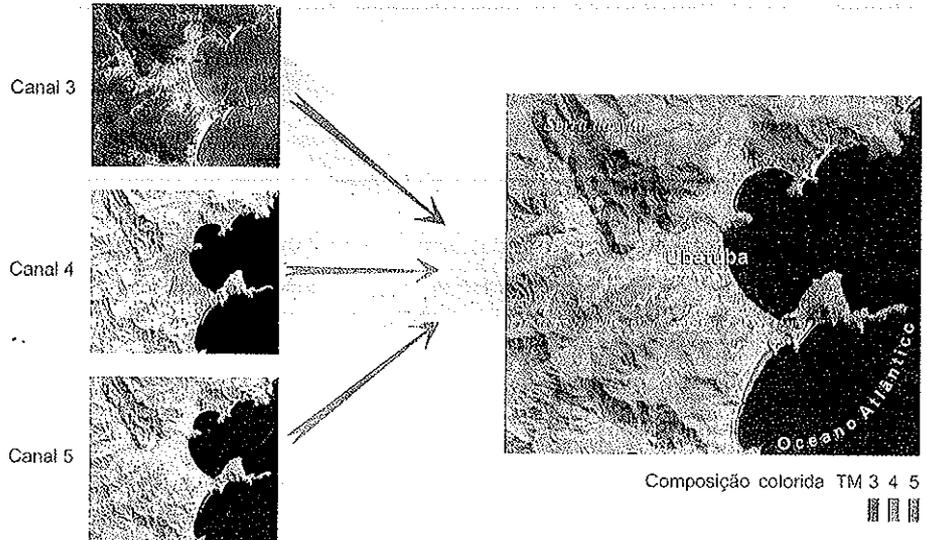
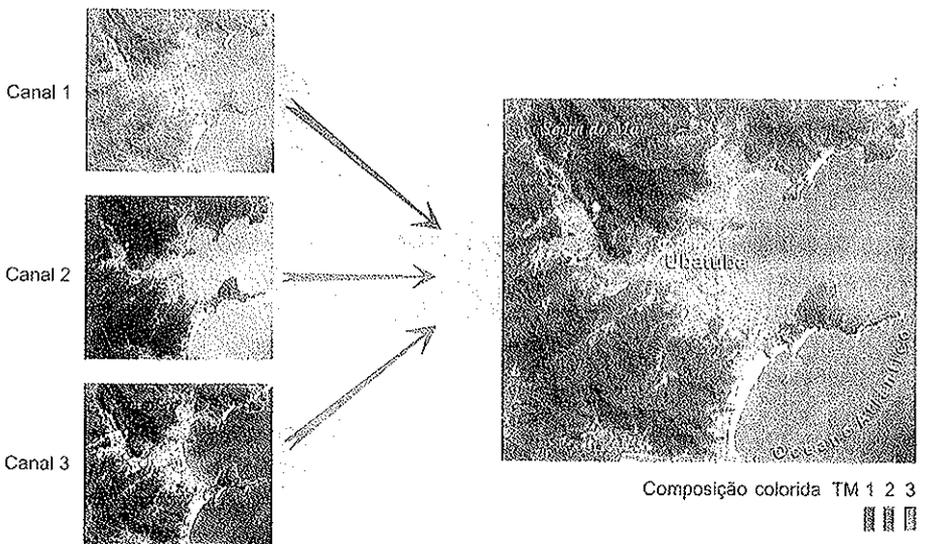


Fig. 1.13 Imagem colorida natural de Ubatuba, obtida a partir das imagens ETM⁺ LANDSAT-7 dos canais 1, 2 e 3, com as cores azul, verde e vermelha, respectivamente.



Pelo processo aditivo das cores, o azul misturado com o vermelho resulta no magenta (rosa), que é a cor que representa a área urbana na imagem colorida. Na imagem colorida da Fig. 1.12, a área urbana está representada em ciano (azul turquesa) que é o resultado da mistura de azul com verde, cores associadas respectivamente às imagens dos canais 3 e 5.

Esses dois tipos de imagens coloridas (Figs. 1.11 e 1.12) são as mais utilizadas. Nelas, a cor dos objetos, em geral, é falsa. Outras combinações podem ser obtidas e, dentre elas, destacamos a imagem colorida natural (Fig. 1.13), na qual as cores dos objetos são verdadeiras.

A partir de imagens LANDSAT do visível, por exemplo, é possível gerar uma imagem colorida natural, desde que elas sejam associadas às respectivas cores. Assim, no exemplo da Fig. 1.12, à imagem do canal 1, que corresponde à faixa da luz azul do espectro visível, associamos a cor azul; à imagem do canal 2, que corresponde à faixa da luz verde do espectro visível, associamos a cor verde e, à imagem do canal 3, que corresponde à luz vermelha do espectro visível, associamos a cor vermelha.

