

**Teresa Gallotti Florenzano**

# **IMAGENS DE SATÉLITE PARA ESTUDOS AMBIENTAIS**

**Sensoriamento Remoto**

Texto - Cópias





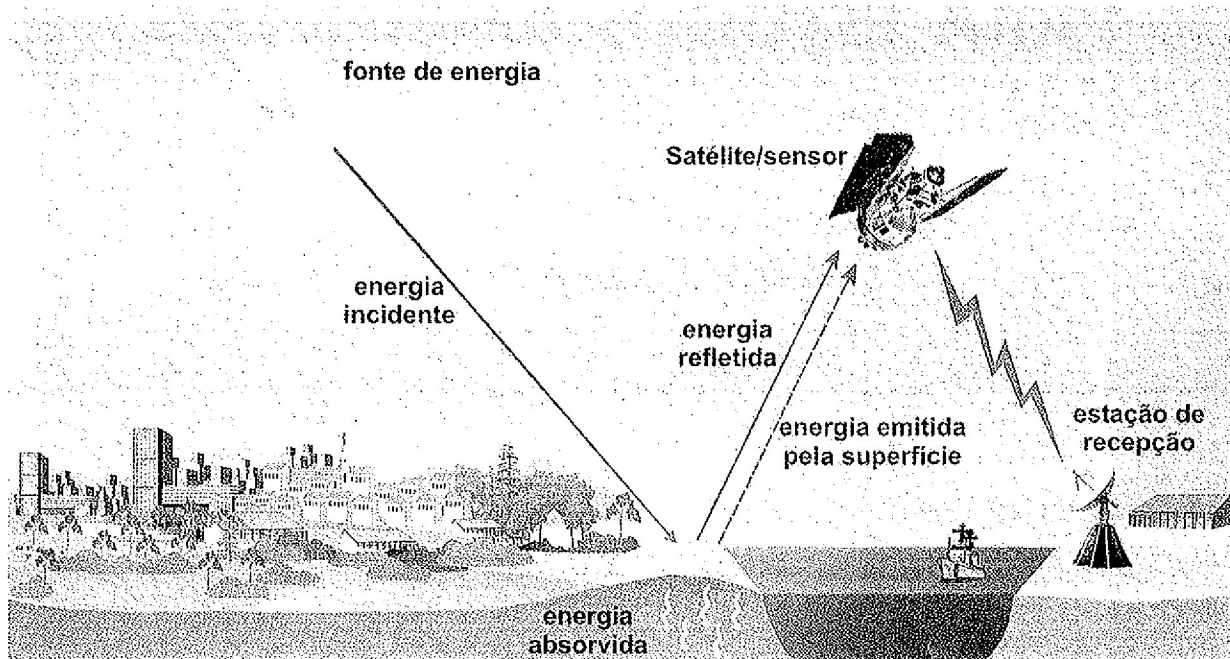
# Capítulo 1

## IMAGENS OBTIDAS POR SENSORIAMENTO REMOTO

**O**s 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,

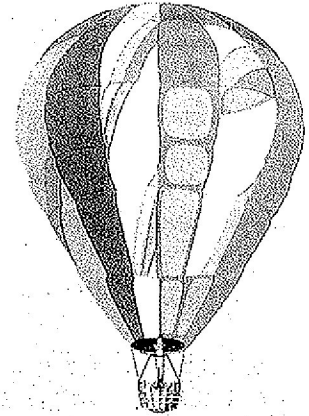
## História do Sensoriamento Remoto

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.

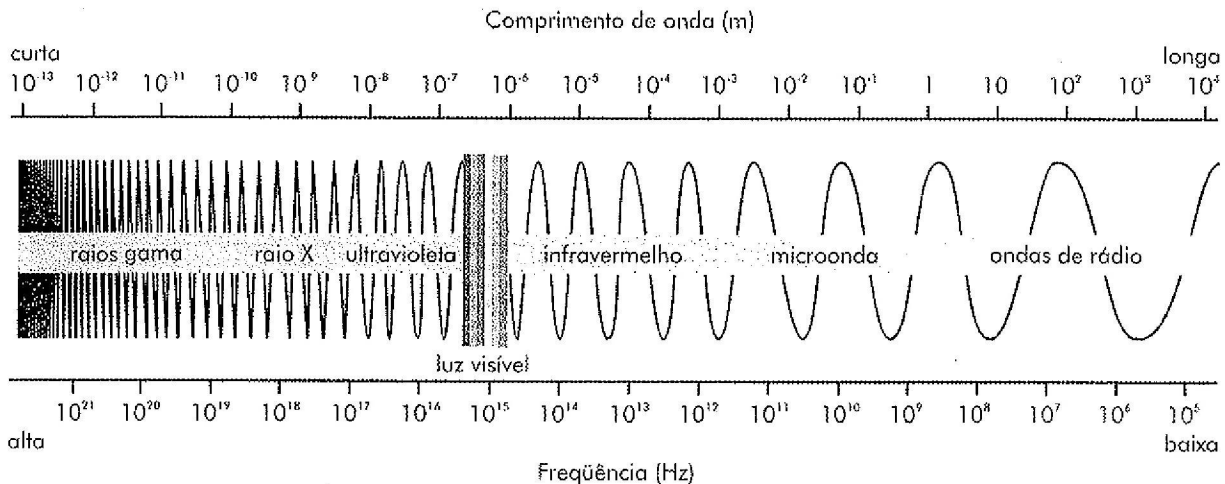


## 1.2 Fontes de Energia Usadas em Sensoriamento Remoto

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.

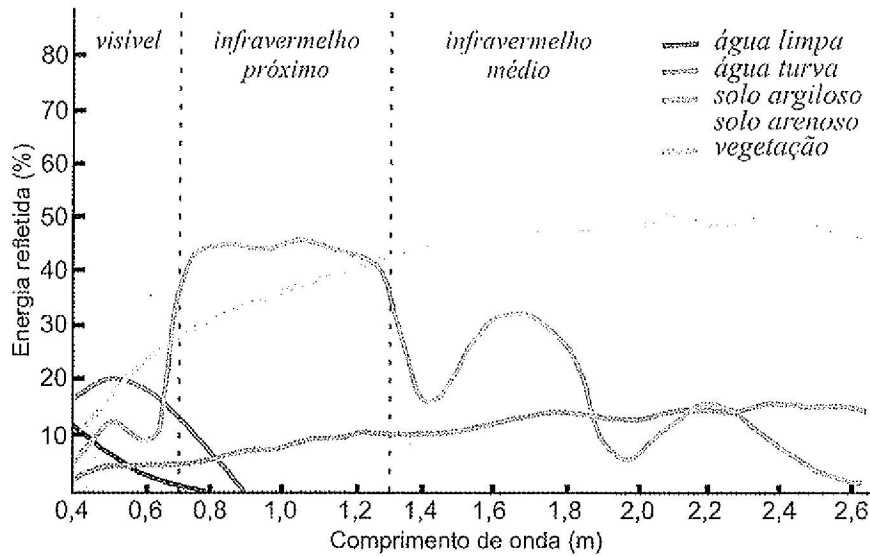


**Fig. 1.2** O espectro eletromagnético

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 ( $\gamma$ ), 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  $\mu\text{m}$ ) médio (1,3-6,0  $\mu\text{m}$ ) e distante ou termal (6,0-1000  $\mu\text{m}$ ).

## 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).



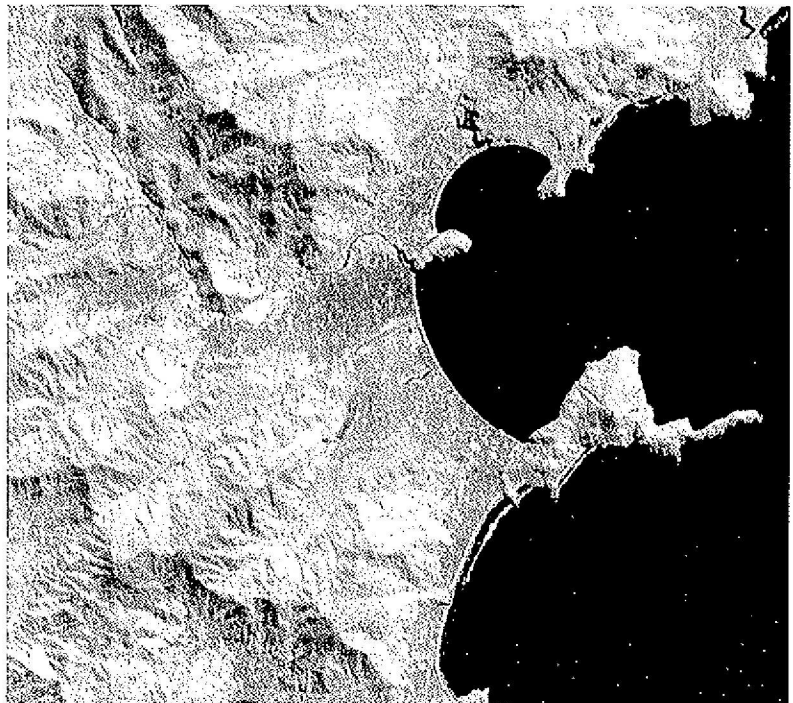
**Fig. 1.3** Curva espectral da vegetação, da água e do solo

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

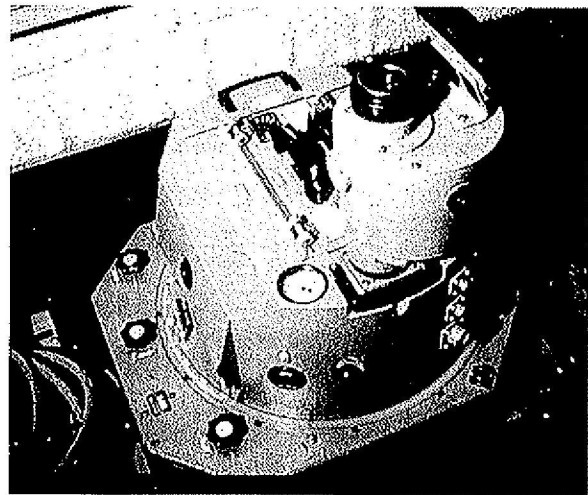
regiões do espectro. O olho humano é um sensor natural que enxerga somente a luz ou energia visível. Sensores artificiais nos permitem obter dados de regiões de energia invisível ao olho humano.

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).

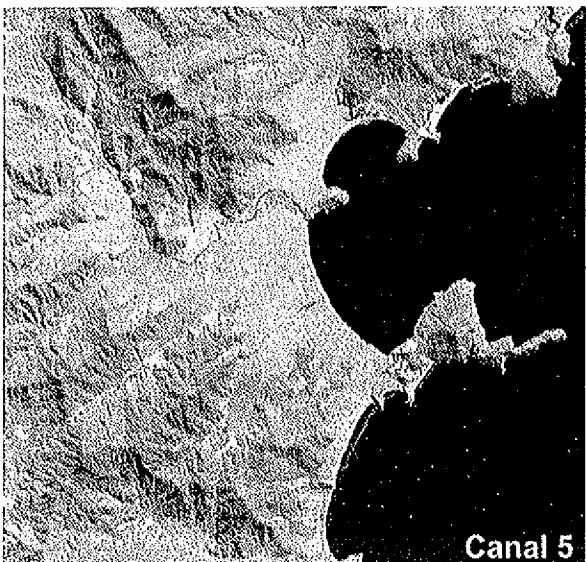
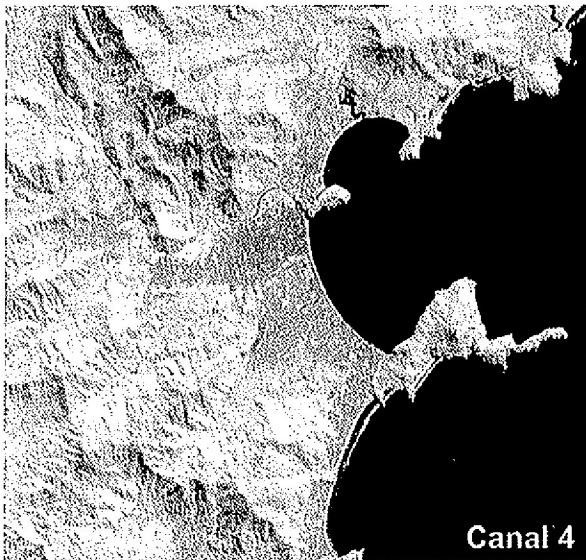
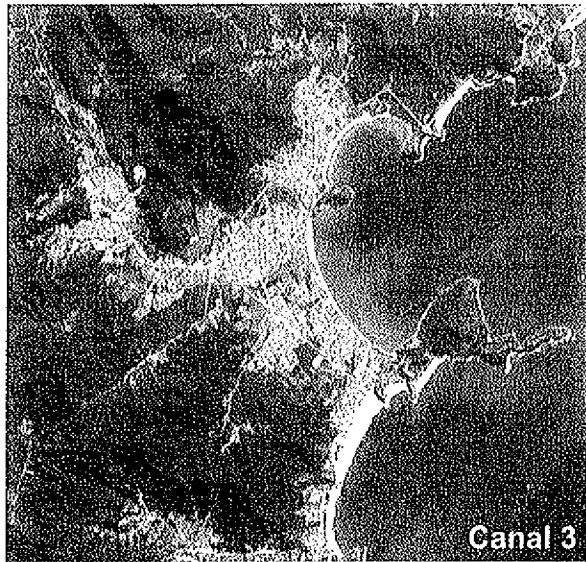


**Fig. 1.5** Aeronave EMB-110 BANDEIRANTE (do INPE) e seus principais sensores remotos. No detalhe está a câmara fotográfica instalada na parte inferior do avião que voa em faixas, de um lado ao outro da área a ser fotografada, a intervalos regulares, e dispara a câmara fotográfica automaticamente. Fotos: 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<sup>+</sup> 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<sup>+</sup> 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<sup>+</sup>, 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<sup>+</sup>, 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 m<sup>2</sup>) é a menor área que o sensor TM consegue “ver ou enxergar”.

*Fig 1.6* Imagens de Ubatuba, obtidas pelo ETM<sup>+</sup> 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.