



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-13043-TDI/1019

**TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADAS AO
ESTUDO E ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA EM AMBIENTES
LITORÂNEOS**

Ieda Maria Vieira

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pela Dra. Maria de Lourdes Neves de Oliveira Kurkdjian, aprovada em 19 de
fevereiro de 1993.

INPE
São José dos Campos
2005

528.711.7 (815)

VIEIRA, I. M.

Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo e análise da expansão urbana em ambientes litorâneos / I. M.

Vieira. – São José dos Campos: INPE, 1993.

142p. – (INPE-13043-TDI/1019).

1.Planejamento urbano. 2.Expansão urbana.

3.Sensoriamento remoto. 4.Ambientes litorâneos.

5.Geoprocessamento. 6.Áreas de risco. 7.Ubatuba.

I.Título.

Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Sensoriamento Remoto

Dra. Maria de Lourdes Neves Oliveira Kurkdjian Maria de Lourdes Neves Oliveira Kurkdjian
Orientadora/Presidente

Dr. Mário Valério Filho

Mário Valério Filho
Membro da Banca

Dr. Juércio Tavares de Mattos

Juércio Tavares de Mattos
Membro da Banca

Dra. Celina Foresti

Celina Foresti
Membro da Banca
- Convidada -

Candidata: Ieda Maria Vieira

São José dos Campos, 19 de fevereiro de 1993

Dedico este trabalho àquele
que vive em minha memória e
em meu coração : meu pai.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais pela possibilidade conferida da realização deste trabalho.

Ao CNPq e FAPESP pelos auxílios financeiros concedidos.

À Prefeitura Municipal da Estância Balneária de Ubatuba e aos funcionários que dedicaram atenção especial à este trabalho.

À amiga e orientadora Maria de Lourdes pela orientação, apoio e pelas horas de trabalho e descontração compartilhadas.

À minha mãe, sobretudo pela força espiritual que ela melhor do que ninguém consegue transmitir.

Ao Fred pelo amor, carinho e pela presença nos bons e maus momentos.

Aos amigos do DSM, em especial à Madalena pela cooperação e atenção constante.

Aos amigos e colegas do DPI: Felgueiras, Gaia, Julio, Leonardo, Dutra, Leila e todos aqueles que muitas vezes prestaram valiosas cooperações para o desenvolvimento técnico deste trabalho.

Aos amigos e colegas do LTID: Rene, Valéria e Iris pelos auxílios e apoios prestados na manipulação do SITIM e SGI.

Aos amigos desenhistas Joaquim e Coimbra que através da amizade e boa vontade colaboraram para a apresentação deste trabalho.

Finalmente, ao Geólogo Carlos Geraldo Luz de Freitas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, pela contribuição técnica dada ao presente trabalho.

RESUMO

O presente trabalho apresenta metodologias de interpretação visual de produtos fotográficos e digitais de produtos de sensoriamento remoto para fins de detecção de alteração e análise da expansão urbana em ambientes litorâneos. Os produtos utilizados para o cumprimento desses objetivos foram imagens MSS e TM/LANDSAT, HRV/SPOT, fotografias aéreas, cartas topográficas e mapeamentos temáticos específicos. A área teste escolhida foi o município de Ubatuba, litoral norte de São Paulo por apresentar constantes problemas de ordem ambiental e geotécnica decorrentes da falta de critérios para a ocupação urbana. Aos dados de expansão urbana obtidos foram integrados dados provenientes da adaptação feita a carta geotécnica elaborada pelo IPT (1991), visando adequar o uso urbano e suas formas de ocupação, assim como as atividades sócio-econômicas, às peculiaridades físicas e ambientais do município. Da integração desses dados foram gerados dois produtos cartográficos: o primeiro indicativo da expansão urbana de Ubatuba no período de 1973 a 1989 e o segundo indicativo das áreas com diferentes tipo de restrições à ocupação urbana no município. Os resultados obtidos foram satisfatórios tanto à nível das metodologias de sensoriamento remoto aplicadas, que contou com a aplicação inédita da técnica de transformação IHS em estudos multitemporais de detecção de alterações urbanas, assim como à nível dos produtos cartográficos gerados, como subsídio ao estabelecimento de diretrizes de uso e ocupação urbana.

REMOTE SENSING TECHNIQUES APPLIED TO THE STUDY AND ANALYSIS
OF THE URBAN GROWTH IN COASTAL ENVIRONMENTS.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to present methodologies of visual interpretation using photographic and digital remote sensing products applied to change detection and urban growth analysis in coastal environments. The products used to this objective were MSS/LANDSAT, TM/LANDSAT and HRV/SPOT images, topographical maps, aerial photographs and espezifical thematic maps. The chosen site was the municipal district of Ubatuba, north coast of São Paulo state, wich usually presents environmental and geologic engineering problems, as a consequence of the the lack of criterions for urban ocupation. The urban growth data were integrated to geological engineering data produced by IPT (Institute of Technological Research) to indicate the proper urban use and its optimal forms of ocupation, as well as the social and economical activities to physical and environmental peculiarities of the municipal district. As a result of the data integration, two kinds of cartographical information were genereted: the first indicating urban growth in Ubatuba since 1973 to 1989; the second indicating areas with diferent kinds of restrictions to urban ocupation in the municipal district. The results obtained were in general satisfatory. The remote sensing digital processing metodologie used a revolutionary application of the IHS (Intensity, Hue and Saturation) transformation tecnique as applied in multitemporal analysis of urban environments, and very good results were obtained. As well the cartographical products genereted represent a support to the stabilishment of directresses to urban and regional planning.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS.....	xvii
LISTA DE TABELAS.....	xix
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</u>	<u>1</u>
1.1 - Objetivos estabelecidos para o trabalho.....	2
1.1.1 - Objetivo geral.....	2
1.1.2 - Objetivos específicos.....	2
1.2 - Importância do estudo da ocupação e expansão urbana em municípios litorâneos.....	3
1.3 - Resolução espacial e resolução espectral de produtos de sensoriamento remoto orbital em análises urbanas.....	4
<u>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</u>	<u>9</u>
2.1 - Técnicas visuais de detecção de alterações em imagens multitemporais.....	9
2.2 - Técnicas de pré - processamento de imagens digitais.....	11
2.2.1 - Variações radiométricas.....	11
2.2.1.1 - Transformação de níveis digitais em radiância e reflectância.....	12
2.2.1.2 - Método do mínimo histograma.....	14
2.2.2 - Distorções geométricas.....	14
2.2.2.1 - Registro.....	15
2.2.2.2 - Reamostragem.....	16
2.3 - Técnicas de processamento digital de imagens para geração de produtos multitemporais com fins de detecção de alterações.....	18
2.3.1 - Sobreposição de imagens.....	18
2.3.2 - Imagem diferença.....	20
2.3.3 - Regressão de imagens.....	21
2.3.4 - Razão de bandas.....	21
2.3.5 - Índices vegetativos.....	23
2.3.6 - Análise das componentes principais.....	23
2.3.7 - Comparação pós classificação.....	24
2.3.8 - Técnicas de processamento digital utilizadas para integrar imagens de diferentes resoluções.....	25
2.3.8.1 - Transformação "I.H.S.".....	26
<u>CAPÍTULO 3 - CARACTERIZAÇÃO DO TRABALHO.....</u>	<u>31</u>
3.1 - Área de estudo.....	31
3.1.1 - Localização da área.....	31
3.1.2 - Aspectos geográficos.....	31
3.1.3 - Colonização.....	34
3.1.4 - Análise demográfica.....	36
3.1.5 - Acessos rodoviários.....	38

3.1.6 - Áreas de proteção ambiental do município de Ubatuba.....	39
3.2 - Materiais utilizados.....	40
3.2.1 - Materiais de consumo.....	40
3.2.1.1 - Produtos orbitais Landsat.....	40
3.2.1.2 - Produtos orbitais Spot.....	41
3.2.1.3 - Cartas topográficas do IBGE.....	42
3.2.1.4 - Produtos cartográficos convencionais.....	42
3.2.1.5 - Levantamentos aerofotogramétricos.....	43
3.2.2 - Equipamentos.....	43
3.2.2.1 - SITIM-Sistema Interativo de Tratamento de Imagens.....	43
3.2.2.2 - PROCON II.....	43
3.2.2.3 - SIG-Sistema de Informações Geográficas....	43
3.3 - Metodologia.....	44
3.3.1 - Escolha das melhores bandas.....	44
3.3.2 - Interpretação visual dos dados.....	45
3.3.2.1 - Interpretação visual dos produto MSS/Landsat (1973 e 1979).....	46
3.3.2.2 - Intepretação visual dos produtos TM/Landsat (1984).....	47
3.3.2.3 - Intepretação visual dos produtos TM/Landsat (1989).....	47
3.3.2.3.1 - Avaliação da precisão do mapeamento visual do produto TM de 1989.....	48
3.3.3 - Aplicação das técnicas de pré processamento e processamento dos dados digitais.....	51
3.3.3.1 - Técnicas de pré processamento aplicadas...	52
3.3.3.1.1 - Registro entre imagens.....	52
3.3.3.1.2 - Correção radiométrica.....	53
3.3.3.2 - Técnicas de processamento digital de imagens aplicadas.....	55
3.3.3.2.1 - Eliminação da classe água.....	55
3.3.3.2.2 - Sobreposição de imagens.....	56
3.3.3.2.3 - Imagem diferença.....	58
3.3.3.2.4 - Transformação "I.H.S".....	60
3.3.4 - Avaliação da técnica de processamento digital.....	64
3.3.5 - Seleção dos dados complementares e integração dos dados obtidos ao SIG.....	66
3.3.5.1 - Levantamento dos problemas ambientais ocorridos em Ubatuba.....	67
3.3.5.2 - Características físico - ambientais analisadas.....	70
3.3.5.3 - Tipos de restrições consideradas.....	73
3.3.6 - Integração dos dados de expansão urbana e dados geotécnicos através do Sistema de Informações Geográficas.....	75
<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS OBTIDOS</u>	77
4.1 - Interpretação visual dos dados.....	77
4.1.1 - Interpretação visual dos produtos MSS/Landsat.....	77
4.1.2 - Interpretação visual dos produtos TM/Landsat	78

4.1.2.1 - Avaliação do mapeamento visual do produto TM/Landsat de 1989.....	79
4.2 - Pré processamento dos dados.....	79
4.2.1 - Registros das imagens multitemporais.....	79
4.2.2 - Correção radiométrica.....	81
4.2.3 - Técnicas digitais.....	82
4.2.3.1 - Sobreposição de imagens.....	82
4.2.3.2 - Imagem diferença.....	85
4.2.3.3 - Transformação "IHS".....	87
4.2.3.4 - Comparação entre as técnicas de processamento digital de imagens aplicadas	91
4.2.3.5 - Resultado do mapeamento obtido a partir da técnica de transformação "IHS".....	92
4.3 - Integração dos dados de expansão urbana e dados do meio físico através do SIG.....	96
4.3.1 - Análise da expansão urbana de Ubatuba.....	96
4.3.2 - Análise da carta de referencial à ocupação urbana no município de Ubatuba.....	105
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES.....</u>	109
<u>CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</u>	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
APÊNDICE A - CARTA DA EXPANSÃO URBANA NO MUNICÍPIO DE UBATUBA (1973 A 1989)	
APÊNDICE B - CARTA DO REFERENCIAL AO USO URBANO DO MUNICÍPIO DE UBATUBA	

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Curva de reflectância espectral de alvos urbanos.....	5
1.2 - Comparação de parcelas representativas de uso urbano para diferentes países com IFOVs dos sistemas sensores atuais.....	6
1.3 - Freqüência espacial relativa e contraste para áreas urbanas nos E.U.A. e China.....	7
2.1 - Composição colorida multitemporal em três datas.....	10
2.2 - Tipos de distorções geométricas existentes entre imagens.....	15
2.3 - Composição colorida multitemporal.....	19
2.4 - Sistemas de coordenadas RGB e IHS.....	28
3.1 - Localização de Ubatuba e suas divisas municipais.....	31
4.1 - Sobreposição entre as imagens TM/LANDSAT de 1989 e MSS/LANDSAT de 1973.....	83
4.2 - Sobreposição entre as imagens TM/LANDSAT de 1989 e TM/LANDSAT de 1984.....	84
4.3 - Sobreposição entre as imagens TM/LANDSAT de 1989 e HRV/SPOT de 1986.....	85
4.4 - Imagem diferença entre as imagens TM/LANDSAT de 1989 e MSS/LANDSAT de 1973.....	86
4.5 - Transformação "I.H.S." entre as imagens TM/LANDSAT de 1989 e MSS/LANDSAT de 1973.....	88
4.6 - Transformação "I.H.S." entre as imagens TM/LANDSAT de 1989 e TM/LANDSAT de 1984.....	89
4.7 - Transformação "I.H.S." entre as imagens TM/LANDSAT de 1989 e HRV/SPOT de 1986.....	90
4.8 - Comparação entre a transformação IHS e a sobreposição de imagens.....	91
4.9 - Interpretação visual da expansão urbana (73 à 89) obtida a partir de produtos fotográficos..	93
4.10 - Interpretação visual da expansão urbana (73 à 89) a partir da Transformação IHS.....	94
4.11 - Sobreposição entre os mapeamentos visual e digital.....	95
4.12 - Localização do núcleo urbano central no município de Ubatuba.....	100
4.13 - Localização da costa sul no município de Ubatuba.....	102
4.14 - Localização da costa norte no município de Ubatuba.....	104

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.1 - População urbana e rural de Ubatuba nas décadas de 40, 50 e 60.....	36
3.2 - Participação das populações rural e urbana na população total do litoral norte entre 1960 e 1980.....	37
3.3 - Estimativa populacional até 2.010 para o município de Ubatuba.....	38
3.4 - Relação das imagens digitais utilizadas.....	42
3.5 - Relação das imagens transparências positivas utilizadas.....	42
3.6 - Valores ótimos de n para $x_c = [0,47]$ e para $P_u = 0,85$, e correspondentes valores de P_p para $P_p = 0,90; 0,95$ e $0,99$	49
3.7 - Níveis digitais subtraídos das imagens.....	54
3.8 - Classes geradas a partir do cruzamento entre o PI_1 e o PI_2	66
4.1 - Erros resultantes da aplicação do registro entre as imagens MSS/73 e TM/89.....	79
4.2 - Erros resultantes da aplicação do registro entre as imagens TM/84 e TM/89.....	80
4.3 - Erros resultantes da aplicação do registro entre as imagens SPOT/86 e TM/89.....	80
4.4 - Médias obtidas para as imagens MSS/73 e TM/89 após a correção radiométrica.....	81
4.5 - Médias obtidas para as imagens TM/84 e TM/89 após a correção radiométrica.....	81
4.6 - Médias obtidas para as imagens SPOT/86 e TM/89 após a correção radiométrica.....	81
4.7 - Cálculo de áreas mapeadas a partir dos produtos digital e visual.....	93
4.8 - Áreas (km^2) referentes a ocupação e expansão urbanas ocorridas nas datas mapeadas.....	97
4.9 - Crescimento urbano médio anual por período(km^2)	97

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A ocupação urbana nas cidades brasileiras ocorre geralmente, sem maior consideração com o meio físico, causando uma série de consequências danosas à qualidade de vida da população, a curto, médio ou longo prazo. A urbanização acelerada, intensificada nas últimas décadas tem produzido aglomerados populacionais, nos quais por razões sócio-econômicas e forte especulação imobiliária agravam os efeitos negativos da ocupação desordenada. Esta é caracterizada por construções em locais com severas restrições ao uso urbano como: encostas íngremes e áreas inundáveis, entre outros.

Para tanto torna-se necessária a análise e entendimento da ocupação urbana em relação ao meio físico, através de mapeamentos multitemporais que proporcionem diagnosticar suas tendências e os fenômenos que a condicionam.

Tradicionalmente, os métodos de mapeamento de áreas urbanas, usando Sensoriamento Remoto, contam com o uso de dados de fotografias aéreas em grande escala, adquiridas através de métodos convencionais, com o uso de fotografias aéreas.

Porém, no caso de monitoramento do crescimento e da expansão urbana, fazem-se necessários conjuntos de dados multitemporais, não sendo as fotografias aéreas produtos facilmente disponíveis nessas condições.

Devido ao seu caráter sinótico, multitemporal, multiespectral e baixo custo em relação a se produzir levantamentos aerofotogramétricos, os produtos de sensoriamento remoto à nível orbital tem se mostrado de utilidade e eficiência nesse tipo de análise, alcançando resultados bastante satisfatórios.

O fato de existirem diferentes produtos orbitais e os dados serem produzidos em diferentes formas, faz com que eles possam ser submetidos à diversos tipos de tratamento, tornando possível aprimorar ainda mais sua qualidade e interpretabilidade.

É apresentada nesse trabalho uma revisão bibliográfica de sensoriamento remoto em análises multitemporais urbanas, e, com base nesta, são desenvolvidas propostas metodológicas incluindo pré-processamento de dados, análises digitais e visuais para detecção de alterações em ambientes urbanos, bem como a integração de dados cartográficos pré existentes ao Sistema de Informações Geográficas

(SIG), visando obter informações úteis ao monitoramento da expansão urbana e sua compatibilização com os aspectos físicos e ambientais da região.

O município de Ubatuba, a área selecionada para o desenvolvimento desse trabalho, é um exemplo típico da ocorrência de acelerado processo de expansão urbana com efeitos negativos ao ambiente litorâneo, razão pela qual torna-se indispensável compatibilizar sua ocupação urbana com as condicionantes do meio físico, e com a proteção de seus recursos naturais.

1.1 - OBJETIVOS ESTABELECIDOS PARA O TRABALHO

A partir da revisão bibliográfica acerca das aplicações de sensoriamento remoto para a detecção de alterações com ênfase naquelas realizadas em áreas urbanas, o presente trabalho explora alguns procedimentos de análise de processamento digital como pré-processamento de dados, integração de dados multitemporais e multisensores, e análises visuais multitemporais para o estudo e análise da expansão urbana e das alterações ocorridas nesse ambiente.

Estas atividades visam em última instância a consecução dos objetivos abaixo estabelecidos para o trabalho.

1.1.1 - OBJETIVO GERAL

Sistematizar e avaliar as técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao estudo e análise da expansão urbana em ambientes litorâneos.

1.1.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Sistematizar procedimentos de pré-processamento de imagens, integração de dados multitemporais e multisensores, análises digitais e visuais de dados, voltados à análise da expansão e detecção de alterações em ambientes litorâneos urbanos.
- 2) Sistematizar procedimentos voltados para a seleção e obtenção de dados complementares que permitam o conhecimento do ambiente litorâneo e sua forma de ocupação.
- 3) Aplicar a metodologia elaborada no município de Ubatuba - SP, gerando subsídios que permitam o planejamento efetivo da ocupação urbana nesse município, compatibilizando as atividades antrópicas com os recursos naturais existentes.

1.2 - IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DA OCUPAÇÃO E EXPANSÃO URBANA EM REGIÕES LITORÂNEAS

Informações a respeito da origem e intensidade de alterações do uso da terra são essenciais para que se estabeleça um método prático e eficaz para o monitoramento, planejamento e regulamentação das mesmas.

No caso específico de monitoramento em ambientes urbanos litorâneos, é fundamental que se entenda a complexidade desse ambientes, e a forma como ocorre a expansão do uso urbano em relação ao ambiente natural, para que o processo de planejamento municipal possa compatibilizar as ações antrópicas, à manutenção da qualidade de vida, e à proteção dos seus recursos naturais.

Apesar dessas regiões possuírem alta produtividade, é surpreendente a escassez de trabalhos e de informações acerca dos recursos naturais existentes nessas regiões que favoreçam de maneira efetiva o planejamento direcionado à manutenção desses recursos, através de uma ocupação urbana criteriosa.

O desenvolvimento de uma área urbana resulta, na realidade, da inter-relação entre os ecossistemas ambientais e os sistemas sociais, sendo essas relações dificilmente compreendidas na sua profundidade e extensão. Segundo Brito (1989), é através da observação do meio ambiente, que se torna possível o desenvolvimento de critérios de urbanização e ocupação do solo, que visem garantir a permanência dos recursos naturais.

Diegues (1989), salienta que no Brasil, áreas naturais litorâneas estão sujeitas às pressões urbano-industriais e que para a criação de infra-estrutura urbana e turística, vários ecossistemas estão sendo degradados. Além disso, são administradas por instituições com pouca coordenação, e como resultado, os ecossistemas costeiros estão sendo destruídos.

A degradação desses ecossistemas é então motivada pela expansão urbana desordenada e pela implantação de pólos industriais nessas regiões, que causam também a poluição das águas costeiras. O volume de poluição causada pelas atividades humanas, acaba por reduzir as ricas funções dos ecossistemas, à função de descarga e transporte de esgotos e resíduos urbano-industriais.

Devido a sua atratividade, normalmente nas regiões litorâneas a ocupação urbana ocorre de maneira desordenada, e quando a área destinada a essa ocupação é restrita, como é o caso da planície costeira de Ubatuba, a área urbana começa a expandir indiscriminadamente, afetando e destruindo áreas naturais de grande produtividade (como é o caso de específicos ecossistemas litorâneos).

A análise da expansão urbana faz-se necessária no sentido de identificar quais são as tendências desta ocupação, visando controlá-la e restringi-la, garantindo efetivamente a proteção dos ecossistemas e dos diversos recursos naturais existentes.

A ocupação urbana encontra-se atingindo as encostas da Serra do Mar, portanto cuidados específicos devem ser tomados no que se refere à preservação da cobertura vegetal e à ocupação não criteriosa em áreas de risco, sujeitas à instabilidade, escorregamentos ou erosão, por exemplo. Em Ubatuba, nas médias e baixas encostas situadas próximas as áreas urbanizadas, o desmatamento se estende invariavelmente por todo o município, inclusive nas ilhas (Cetesb, 1987).

Dentro desses aspectos, a análise conjunta das tendências de expansão urbana do município de Ubatuba, com dados do meio físico e através da consecução dos objetivos propostos pode gerar subsídios para que a Prefeitura Municipal de Ubatuba crie uma política de planejamento urbano, observando as áreas de risco, como encostas e áreas de instabilidade geológica, protegendo seus recursos naturais e preservando os ecossistemas litorâneos existentes.

1.3 - RESOLUÇÃO ESPECTRAL E RESOLUÇÃO ESPACIAL DE PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM ANÁLISES URBANAS

A abordagem da questão espectral de alvos urbanos não deve ser discutida em separado da questão espacial, já que o comportamento espectral desses alvos é altamente dependente da resolução espacial do sensor utilizado.

A determinação do comportamento espectral de alvos urbanos apresenta uma série de dificuldades específicas devido à complexidade deste ambiente, à sua organização espacial heterogênea, e à grande quantidade de materiais envolvidos na construção do espaço urbano, cujas características espectrais ainda não foram estudadas em profundidade.

Para se identificar o tipo de cobertura presente em uma determinada área urbana através de imagens orbitais deve ser levado em consideração não só o conhecimento das características espectrais dos alvos presentes, mas também o conhecimento de suas feições espaciais (tamanho, forma, textura e proporção dos objetos que a compõem). No estudo de alvos urbanos, através de imagens orbitais a maior parte das informações utilizadas para a interpretação são obtidas a partir dessas feições espaciais, sempre melhor visualizadas através de sensores com alta resolução espacial.

O estudo do comportamento espectral de alvos urbanos pode ser considerado de duas formas: uma, conside-

rando como alvos urbanos os elementos constituintes desse ambiente tais como asfalto, concreto, telhas, etc. A outra forma, considerando como alvos urbanos determinados tipos de ocupação, tais como residencial (uni ou multi-familiar), industrial, etc.

A Figura 1.1. mostra o comportamento espectral de alguns tipos de alvos urbanos.

A causa da concepção diferenciada do que seriam os alvos urbanos sob o ponto de vista do seu comportamento espectral deve-se a grande heterogeneidade do ambiente urbano em relação à resolução espacial dos sensores orbitais, atualmente em operação.

Normalmente considera-se como alvo urbano os tipos de ocupação urbana, pois a outra abordagem é muito mais complexa e ainda carente de estudos mais aprofundados a respeito.

A informação espectral em áreas urbanas é obtida principalmente através de sensores orbitais. Os sensores orbitais oferecem desde 1972 informações com resolução espacial de 80 x 80 m (LANDSAT/MSS), desde 1984 informações com resolução espacial de 30 x 30 m (LANDSAT/TM) e desde 1986 informações com resolução espacial de 20 x 20 m, provenientes do sensor HRV/SPOT multiespectral e 10 x 10 m proveniente do mesmo sensor no seu modo pancromático.

Uma área de 100,00 m² em ambiente urbano é frequentemente heterogênea, o mesmo ocorrendo com áreas de 400, 900, ou 6.400 m².

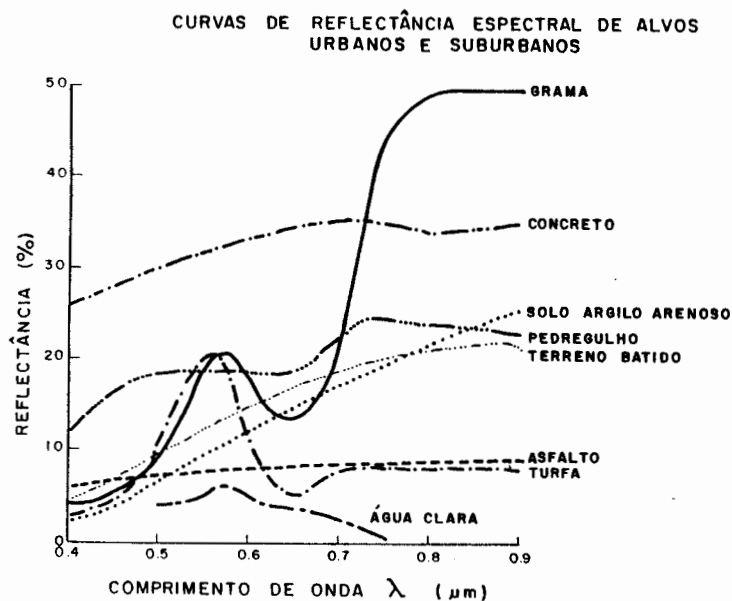


Fig. 1.1 - Curva de reflectância espectral de alvos urbanos.

FONTE: Jensen (1983), p. 1572.

Desta forma as informações espectrais orbitais de alvos urbanos referem-se, frequentemente, a composições de elementos tais como asfalto, concreto e gramado, por exemplo. Este é o motivo da frequente alusão à questões relativas ao tamanho do pixel e à resolução espacial em bibliografias de estudos urbanos por sensoriamento remoto.

Jensen (1983) ao tratar da resolução espacial em estudos do uso do solo urbano destaca a alta frequência de detalhes do ambiente urbano e a importância de uma boa resolução espacial para o seu estudo. Os aspectos que determinam a resolução espacial mais adequada para estudo de um sistema urbano estão relacionados com o tamanho, densidade e contraste das feições urbanas encontradas nesse sistema. Ou seja, o potencial de uma determinada resolução espacial para o estudo de uma área depende das características dessa área e é variável para diferentes localidades.

Para demonstrar como as características podem variar de país para país, elas são apresentadas através das figuras a seguir.

A figura 1.2. mostra a variação do tamanho relativo de áreas construídas e a densidade dessas construções, de país para país.

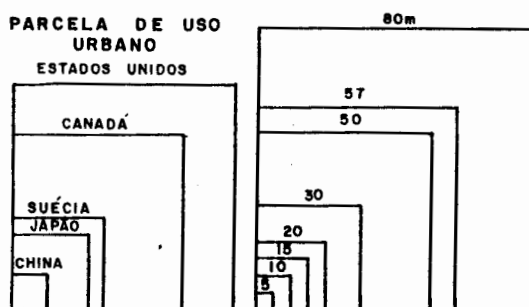


Fig. 1.2 - Comparação de parcelas representativas de uso urbano para diferentes países, com IFOVs dos sistemas sensores atuais.

FONTE: Jensen (1983), p. 1598.

Esses fenômenos evidenciam que a resolução espacial de um sensor pode ser compatível, ou não, com a área de estudo.

Jensen (1983) ao comparar áreas urbanas tipicamente americanas com áreas de países menos desenvolvidos, destaca que as características de ocupação destas últimas requerem uma maior resolução espacial. Isso devido obviamente a existência de terrenos com dimensões reduzidas, alta taxa de ocupação e alta densidade habitacional.

A Figura 1.3 mostra a relação entre a frequência espacial e contraste entre áreas construídas nos EUA e China.

A medida que se utiliza um sensor de melhor resolução espacial incrementa-se as possibilidades de uso do sensoriamento remoto aplicado à áreas urbanas. Uma resolução espacial mais fina aumenta a discriminação de áreas urbanas e intra urbanas, assim como: malha viária, novos loteamentos, complexos industriais, áreas residenciais, áreas verdes, etc.

Outro aspecto importante é que devido a heterogeneidade dos alvos urbanos, sensores de alta resolução podem tornar mais eficientes esses estudos a medida que através desses sensores a mistura intra pixel é reduzida e a quantidade dos componentes, por pixel, diminui.

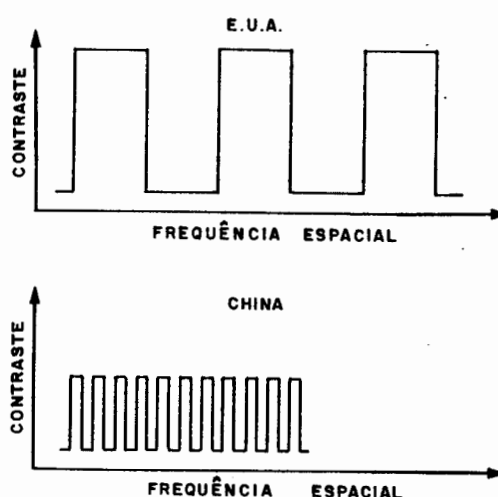


Fig. 1.3 - Frequência espacial relativa e contraste para áreas urbanas nos E.U.A. e China.
 FONTE: Jensen (1983), p. 1596.

Daí a importância da questão resolução espacial em estudos urbanos, e do estudo de técnicas que visem o incremento dessas resoluções, permitindo uma maior compreensão do meio ambiente urbano, através de sua leitura nas imagens de satélite.

Forster (1984) discute a dificuldade de se trabalhar apenas com produtos com boa resolução espectral na análise de elementos urbanos e o fato de na maioria dos casos, a resolução espacial de sensores orbitais ser baixa considerando-se a heterogeneidade do ambiente urbano. Isto dificulta a classificação dessas áreas quanto aos tipos de uso intra-urbanos: residencial, comercial e outros.

Como neste trabalho são utilizadas imagens TM/LANDSAT e MSS/LANDSAT, para a interpretação visual das áreas urbanas em quatro datas distintas, veremos que devido a resolução espacial de cada um dos sensores, procedimentos específicos de interpretação de imagens foram adotados visando aumentar a discriminação e identificação dos alvos.

No caso das análises digitais, são geradas e testadas composições multitemporais e multisensores, as quais visam a obtenção de produtos multitemporais de resolução espacial mais fina que a original.

Quanto ao aspecto espectral, de acordo com estudos realizados por diversos autores, o canal do vermelho é o mais adequado para trabalhos que envolvam a interpretação de áreas urbanas. A telha, o concreto, elementos sempre presentes em alvos urbanos e a mistura destes com outros elementos que compõem essas áreas apresentam alta reflectância nesse intervalo de comprimento de onda, os quais fazem com que áreas urbanas apresentem, entre outras razões, alta reflectância nesse intervalo. Nesse canal (vermelho), ocorre também forte absorção da radiação eletromagnética pela vegetação, o que faz com que a mesma normalmente se apresente com tonalidades escuras. Como normalmente, os alvos urbanos apresentam vegetação no seu entorno, a alta reflectância dos alvos urbanos, contra a baixa reflectância da vegetação nesse comprimento de onda, gera um alto contraste entre essas áreas, facilitando a separabilidade das mesmas.

Podemos concluir então que a resolução espacial e espectral dos sistemas sensores são aspectos importantes em estudos urbanos. Para tanto, técnicas de interpretação visual e digital de produtos de sensoriamento remoto devem ser estudadas a fim de se incrementar o poder de interpretação desses alvos. A resolução espacial do sensor utilizado, ou técnicas que incrementem a mesma, assim como a escolha correta da banda a ser analisada se tornam essenciais para estudos urbanos.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com um dos objetivos desse trabalho que consiste na elaboração e sistematização de técnicas de análises visuais e digitais de produtos de Sensoriamento Remoto aplicadas à detecção de alterações de alvos urbanos, é apresentada aqui uma revisão bibliográfica acerca dessas técnicas, divididas da seguinte maneira:

- 1) Técnicas visuais de detecção de alterações.
- 2) Técnicas de pré-processamento digital de dados.
- 3) Técnicas digitais de detecção de alterações.

2.1 - TÉCNICAS VISUAIS DE DETECÇÃO DE ALTERAÇÕES EM IMAGENS MULTITEMPORAIS

O estudo dessas técnicas baseou-se nos trabalhos de Eyton (1983), Crapper e Hynson (1983) e Medeiros (1986).

As técnicas visuais utilizadas para detecção de alterações em ambientes urbanos ou qualquer outro tipo de ambiente constituem-se, segundo Crapper e Hynson (1983), fundamentalmente em:

- 1) Análise e interpretação visual de imagens em papel ou transparências fotográficas multitemporais, obtendo-se como produto final "overlays" com a demarcação das alterações ocorridas entre as datas.
- 2) Utilização de transparências positivas e/ou negativas multitemporais para análise das alterações ocorridas através de um registro manual feito sobre um equipamento ampliador como o PROCON, ou simplesmente sobre uma mesa de luz.

Crapper e Hynson (1983), utilizaram o equipamento "Color Additive Viewer" para gerar uma composição colorida através de transparências de períodos distintos.

Esse equipamento proporciona a adição de cores às transparências através de filtros coloridos colocados entre as transparências e a fonte de luz branca. Fazendo-se o registro das transparências através do ajuste de lentes do "Viewer", obtém-se a composição colorida projetada sobre uma tela.

Eyton (1983), em contrapartida, utilizou uma técnica que consiste na atribuição de cores às próprias transparências positivas multitemporais branco e preto (na mesma banda), através de um processamento fotográfico onde

as transparências são individualmente colocadas em contato com um filme "Diazo".

Eyton (1983), mostra esses resultados considerando um tipo de reflectância binária para os alvos: alta reflectância e baixa reflectância. Assim, quando as três transparências são sobrepostas, alvos que não alteraram sua reflectância nas 3 passagens aparecem com tonalidades de cinza mais escuras, ou mais claras, a depender da reflectância do alvo em questão. Áreas que sofreram alterações podem aparecer em diversas cores, as quais, dependem também do tipo e do período em que o alvo sofreu alteração, conforme mostra a Figura 2.1.

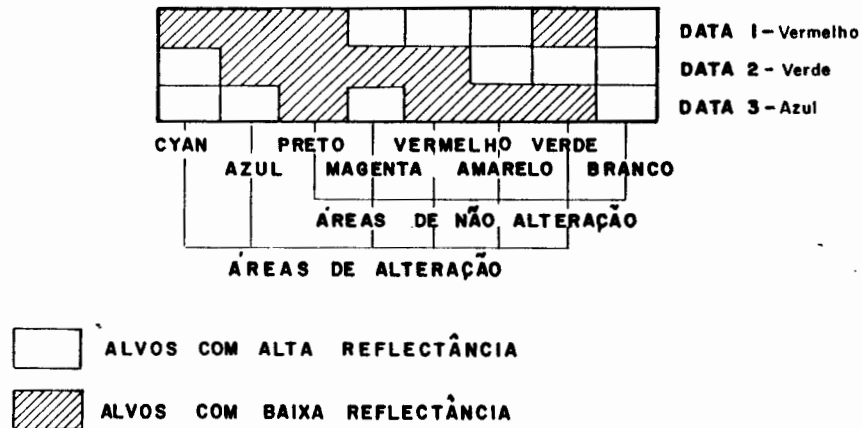


Fig. 2.1 - Composição colorida multitemporal em três datas. Adaptada de Eyton (1983), p. 232.

Crapper e Hynson (1983), também utilizaram técnicas semelhantes a utilizada por Eyton (1983), fazendo a sobreposição de 3 transparências coloridas monocromáticas processadas nas cores amarelo, cian e magenta. A sobreposição feita pode ser analisada através de uma mesa de luz ou de um projetor numa tela.

A única diferença existente entre esse processo e o de Eyton (1983), é que as transparências, neste caso já foram coloridas previamente através de um processo fotográfico, enquanto que Eyton (1983) atribuiu cores às mesmas através de um filme diazo.

Para se conseguir um resultado, a partir do qual as informações obtidas sejam mais precisas, um exame detalhado deve ser feito nas cenas originais, para que se obtenha informações texturais e espectrais consistentes do alvo em análise, assegurando inclusive a ocasião em que ocorreu determinada alteração. Os maiores problemas encontrados na aplicação dessa técnica dizem respeito à baixa precisão de registro entre as imagens (manual); variação das condições atmosféricas existentes entre as imagens; variações no processamento fotográfico que as gerou.

É importante questionar o tipo de produto que é obtido através dessas composições, pois o sucesso da interpretação está diretamente relacionado com a qualidade do mesmo e com a sua forma de manuseio.

Transparências que tiveram suas cores obtidas através de um processo fotográfico, podem ser utilizadas com maior flexibilidade pois não necessitam de nenhum recurso extra, podendo ser analisadas diretamente sobre uma mesa de luz, num ampliador tipo "Procon" ou mesmo através de um projetor. Isto facilita a interpretação dos dados e o reconhecimento das alterações ocorridas.

No caso das transparências utilizadas por Crapper e Hynson (1983), projetadas numa tela através do "Color Additive Viewer", tanto os resultados da interpretação dos dados quanto seu manuseio ficam prejudicados. Neste caso, um produto fotográfico pode ser gerado a partir da tela, porém com distorções e perda de informação.

2.2 - TÉCNICAS DE PRÉ- PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS

Pré-processamento refere-se as várias operações efetuadas para corrigir as distorções geométricas e variações radiométricas em imagens digitais (Lindgren, 1985).

Ao se trabalhar com imagens digitais de períodos distintos para aplicação de técnicas digitais de detecção de alterações, faz-se necessária a equalização das diferenças radiométricas e geométricas existentes entre as mesmas. Para tanto a aplicação das técnicas denominadas de pré-processamento de dados torna-se necessária visto que foram estudadas visando minimizar essas variações radiométricas e geométricas existentes entre as imagens.

2.2.1 - VARIAÇÕES RADIOMÉTRICAS

Segundo Costa (1989), os fatores que alteram a radiância de alvos urbanos gerando as variações radiométricas em análise multitemporal são:

- 1) Descalibração do sensor (fator de sistema);
- 2) Variação do ângulo solar (fator de visada);
- 3) Modificação das condições atmosféricas;
- 4) Diferenças da umidade do solo;
- 5) Variações na composição físico-química do solo.

Devido a instabilidade das condições atmosféricas, os sinais captados por um sensor, proveniente de um alvo, em datas diferentes, sofrem ao passar pela atmosfera alterações "aditivas" e "multiplicativas", as quais variáveis com o tempo, mascaram e/ou modificam as características iniciais desses dados.

Assim, o valor gravado de cada pixel numa imagem de sensoriamento remoto não é um valor obtido da verdadeira radiância refletida pelo alvo, mas sim um sinal resultante da integração dessa radiância com a atmosfera.

Segundo Jensen (1983), um dos recursos para minimizar os efeitos produzidos pela variação do ângulo de elevação solar e das modificações das condições atmosféricas existentes entre as imagens multitemporais, é utilizar imagens da mesma época do ano.

Da mesma maneira, as diferenças referentes às condições de umidade do solo podem ser minimizadas, adotando-se imagens referentes à um mesmo período: seco ou chuvoso, visto que esse fator altera significativamente as respostas dos alvos urbanos, comprometendo os resultados de uma análise multitemporal.

Técnicas que visem eliminar ou reduzir esses efeitos são necessárias quando se deseja comparar imagens de diferentes datas para detecção de alterações ocorridas na superfície terrestre. Visto que as condições atmosféricas irão indubitavelmente variar do período 1 para o período 2, então faz-se necessária a correção dos valores de radiância gravados pelo sensor no sentido de minimizar as variações atmosféricas.

2.2.1.1 - TRANSFORMAÇÃO DE NÍVEIS DIGITAIS EM RADIÂNCIA E REFLECTÂNCIA

A importância da transformação dos níveis digitais de uma imagem digital em radiância ou reflectância aparente, deve-se ao tipo de análise a qual os dados serão submetidos.

Visto que essa transformação minimiza as diferenças radiométricas referentes a descalibração do sensor e variação do ângulo solar, além dos efeitos multiplicativos produzidos pela variação atmosférica existentes entre as imagens de datas distintas, a sua aplicação torna-se indispensável em estudos multitemporais.

Robinove (1982), desenvolveu uma técnica que transforma os níveis digitais dos pixels de uma imagem em valores de radiância, para posterior transformação em reflectância:

- 1) Transformação dos níveis digitais em radiância:

$$L = \frac{D_n}{D_{máx}} (L_{máx} - L_{min}) + L_{min}$$

onde:

L.... radiância;
 D_n... valor digital do pixel;
 D_{máx}. nível digital de maior valor encontrado na cena;
 L_{máx}. radiância máxima; valor onde ocorre a saturação dos
 detetores;
 L_{min}. menor radiância medida no detetor.

2) Transformação de radiância para reflectância:

$$= \frac{II}{E \text{ sen}} \frac{D_n (L_{\text{máx}} - L_{\text{min}}) + L_{\text{min}}}{D_{\text{máx}}}$$

onde:

L.... radiância;
 L_{máx}. radiância máxima, valor onde ocorre a saturação dos
 detetores;
 L_{min}. menor radiância medida no detetor;
 D_n... valor digital do pixel;
 D_{máx}. nível digital de maior valor encontrado na cena;
 ... reflectância;
 E.... irradiância no topo da atmosfera;
 ... ângulo de elevação solar.

Essa transformação segundo Robinove (1982), deve ser aplicada quando se deseja trabalhar com razão de bandas; análise de imagens obtidas com diferenças entre ângulos de iluminação; análise de imagens obtidas por sensores diferentes; comparação e detecção de mudanças entre duas ou mais imagens obtidas em condições de iluminação diferentes e diferentes calibrações.

Uma transformação mais precisa que a de Robinove (1982), foi proposta por Markhan e Barker (1987), e consiste também na transformação dos valores de radiância para reflectância. Essa transformação de radiância para reflectância é feita através da correção do ângulo zenital solar, através do seu cosseno, além de incorporar outras variáveis como a distância Sol-Terra.

3) Transformação de radiância para reflectância:

$$= \frac{(II L d)}{E_{\text{sol}} * \cos O_s}$$

onde:

.. reflectância;
 L .. radiância;
 d ... distância Sol - Terra;
 E_{sol}. irradiância no topo da atmosfera;
 O_s... ângulo zenital.

Através dessa transformação, segundo Markan e Barker (1987), torna-se possível gerar uma imagem que represente com maior fidelidade a resposta espectral de objetos contidos na cena, devido à correção de fatores que mascaram o sinal original desses objetos.

2.2.1.2 - MÉTODO DO MÍNIMO HISTOGRAMA

Esse método citado em trabalhos que necessitaram de correção radiométrica, foi proposto para corrigir as imagens dos efeitos aditivos provocados pela atmosfera (radiância de trajetória) e que mascaram o sinal recebido pelo sensor.

Mather (1987), descreve o método da seguinte maneira: gera-se o histograma da imagem a ser corrigida, encontrando-se o menor valor digital no grupo de dados da imagem. Assumindo que esses valores correspondem à pixels com reflectância igual ou aproximadamente igual a zero, o número digital desses pixels é uma primeira aproximação da radiância de trajetória, sendo então subtraído dos valores de todos os pixels presentes na imagem.

Este é um método simples e de fácil implementação que requer cuidados por parte do usuário na escolha dos alvos que devem ter reflectância nula.

Normalmente são utilizados alvos típicos e específicos para a coleta e verificação do menor valor de radiância encontrado.

Para bandas do visível geralmente são adotados sombras, mais especificamente de relevo, se existentes na imagem de trabalho.

Para as bandas do infra-vermelho, o alvo mais indicado com reflectância nula é a água límpida, de preferência águas oceânicas profundas.

2.2.2 - DISTORÇÕES GEOMÉTRICAS

Além das diferenças radiométricas (radiância) existentes entre as imagens de períodos distintos, diferenças no processo de aquisição da imagem, na posição do observador (atitude do satélite), ou mesmo comparações feitas através de imagens obtidas por sensores diferentes estabelecem a existência de distorções geométricas entre as imagens.

As distorções geométricas segundo Erthal (1985) e Moik (1980), podem ser (Figura 2.2):

- 1) Translação: são distorções horizontais e verticais existentes entre as cenas.

- 2) Rotação: são pequenos giros existentes entre as imagens.
- 3) Escala: podem ser variações globais, verticais, ou horizontais.
- 4) Skew: distorção devido ao movimento da Terra.

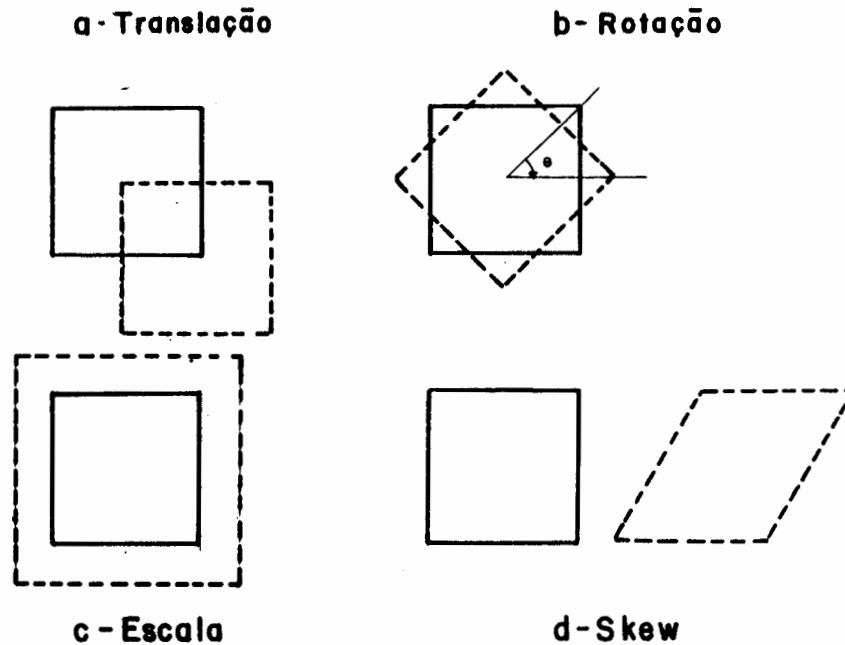


Fig. 2.2 - Tipos de distorções geométricas existentes entre imagens.

Adaptada de Moik (1980), p. 193.

2.2.2.1 - REGISTRO

O registro é uma transformação que corrige as distorções geométricas existentes entre imagens e mapas, ou somente entre imagens.

O registro imagem-imagem é uma técnica importante e útil quando se deseja avaliar as alterações espectrais sofridas por determinado alvo dentro de um espaço de tempo (Mascarenhas e Velasco, 1989).

Pode-se conceituar registro imagem-imagem como sendo uma transformação geométrica, de maneira que os pixels de imagens distintas tornem-se coincidentes.

Segundo Mascarenhas e Velasco (1989) a técnica de registro pode ser efetuada em dois passos:

1) Conhecer os tipos de distorções existentes entre as imagens

Antes de se conhecer o tipo de registro a ser efetuado é importante se conhecer os tipos de distorções geométricas que relacionam as imagens a serem registradas.

Quando não existem informações adicionais sobre essas distorções, a solução do problema vem através da determinação dos pares de pontos de controle necessários, os quais visam obter funções que mapeiam as coordenadas de um ponto de uma imagem para outra.

Essas funções são geralmente polinomiais e o grau do polinômio depende do tipo e do número de distorções existentes entre as imagens a serem registradas.

2) Aplicação das transformações geométricas

Diz respeito à aplicação das transformações geométricas através do posicionamento dos pontos de controle, gerando a construção da imagem registrada.

As atribuições dos valores de níveis digitais à imagem registrada pode ser feita através de diferentes tipos de interpolação no processo de "reamostragem".

A qualidade do registro está diretamente relacionada com o polinômio que melhor o mapeie, que é função da quantidade, distribuição e precisão dos pontos de controle.

Em análises multitemporais, onde a exatidão de registro entre as imagens é um aspecto importante, imagens com resolução espacial superiores tornam mais precisa a identificação e localização de pontos de controle.

2.2.2.2 - REAMOSTRAGEM

O processo de reamostragem definido através de técnicas de interpolação visa atribuir os valores de níveis digitais da imagem original distorcida (em relação a referência) à mesma imagem, depois de registrada.

Segundo Mather (1989), uma função relaciona as coordenadas dos centros dos pixels da imagem registrada, às coordenadas da imagem original.

Valores não inteiros dessas coordenadas implicam que o pixel da imagem registrada tenha caído entre a linha e coluna da imagem original. Faz-se então necessária a utilização de métodos de interpolação para a atribuição de valores de níveis digitais à imagem corrigida.

Os métodos de interpolação, mais comumente utilizados, são 3:

1) Vizinho mais próximo

Atribui-se ao pixel da imagem corrigida o valor de nível digital do pixel da imagem original que tiver o seu centro mais próximo do centro do pixel da imagem registrada. Este método é rápido e não utiliza nenhum algoritmo de interpolação como os descritos a seguir, além de garantir que os valores de níveis digitais atribuídos à imagem sejam reais, visto que são diretamente extraídos da imagem original.

Apesar de ter seu custo computacional bem mais baixo que os demais interpoladores, apresenta a desvantagem de gerar uma imagem que apresenta efeitos de blocos, devido a repetição de pixels com os níveis digitais iguais.

2) Interpolação bi-linear

Utiliza-se de uma vizinhança 2x2, ou seja, dos 4 pixels mais próximos do centro do pixel da imagem registrada.

Os valores correspondentes aos 4 pixels são interpolados, a fim de se obter um resultado médio representativo dos 4 pixels. A aplicação desse método, tende a suavizar a imagem de saída.

3) Convolução cúbica

Neste caso, a vizinhança do pixel utilizada para o cálculo do novo nível digital é ampliada para 16, ou seja, uma vizinhança 4x4.

Essa técnica resulta num visual mais natural para a imagem, sem os efeitos dos borrões causados pelo vizinho mais próximo, ou da excessiva suavidade proporcionada pelo método de interpolação bi-linear.

Welch e Ehlers (1987), utilizaram o interpolador "convolução cúbica" para efetuar um registro entre imagens TM/LANDSAT e HRV/SPOT pancromática. A cena em questão referia-se a uma área urbana e, os autores confirmam que o interpolador "convolução cúbica" é o que gera melhores resultados nesse tipo de análise, pois evita os efeitos de blocagem na imagem interpolada através de outros interpoladores.

Carper et al. (1990) adotaram o mesmo procedimento que o utilizado por Welch e Ehlers (1987), porém, para registrar imagens SPOT multispectral à SPOT pancromática.

A desvantagem dessa técnica consiste no considerável aumento do custo computacional.

Segundo Mather (1987), a escolha do interpolador mais conveniente depende da finalidade e do uso que será dado à imagem gerada, assim como do tipo de ambiente estudado. A significância e utilidade do produto final decidirá também se o custo computacional requerido pela interpolação cúbica é justificado.

2.3 - TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS PARA GERAÇÃO DE PRODUTOS MULTITEMPORAIS COM FINS DE DETECÇÃO DE ALTERAÇÕES

Devido a grande quantidade de recursos para o tratamento digital de imagens, muitos são os trabalhos existentes na literatura que abordam os processos de detecção de mudanças através de técnicas digitais.

As técnicas aqui apresentadas foram selecionadas através de uma vasta revisão bibliográfica efetuada sobre técnicas de detecção de alterações de alvos e integração de dados multi sensor e multi resolução que são as seguintes:

- 1) Sobreposição de imagens;
- 2) Imagem diferença;
- 3) Regressão de Imagens;
- 4) Razão de Bandas;
- 5) Índices Vegetativos;
- 6) Análise dos Componentes Principais;
- 7) Comparação Pós Classificação;

Além das técnicas acima mencionadas, de detecção de mudanças, fez-se também uma revisão bibliográfica acerca das técnicas utilizadas para a geração de produtos híbridos multisensor. Mais especificamente, sobre a transformação IHS - "Intensity, Hue and Saturation".

2.3.1 - SOBREPOSIÇÃO DE IMAGENS

Essa técnica foi abordada por Howarth e Boasson (1983), Oliveira et al. (1984), Foresti et al. (1984) e Pereira et al. (1988).

Trata-se de um processo de análise simultânea de dados que consiste na sobreposição de 2 ou 3 imagens de uma mesma banda pré-selecionada referentes à datas distintas. Essa análise é feita através de um sistema de tratamento de imagens digitais que tendo como pré requisito o registro e a correção radiométrica das imagens visa associar cores distintas às imagens de datas diferentes.

Esse procedimento foi utilizado por Howarth e Boasson (1983) para detectar alterações em ambientes urbanos, onde cabe ressaltar obteve bons resultados utilizando a banda do vermelho (0,6 à 0,7 m) do sensor MSS/Landsat.

Oliveira et al. (1984) e Foresti et al. (1984), utilizaram essa técnica para avaliar a expansão urbana de Brasília de 1973 à 1983 através de dados MSS/LANDSAT no canal do vermelho.

Pereira et al. (1988) utilizaram também essa técnica no estudo do crescimento urbano de São José dos Campos.

Esse método gera como resultado uma cena caracterizada por cores e tonalidades de cinza, que representam áreas alteradas e não alteradas respectivamente.

As cores representam o tipo de alteração sofrida por determinado alvo, assim como, em que período ocorreu essa alteração.

A Figura 2.3. representa um processo aditivo de cores, para detecção de alterações, a partir da utilização de imagens de 3 períodos distintos, onde a data 1 foi amostrada no canal azul, a data 2 no canal verde, e a data 3 no canal vermelho.

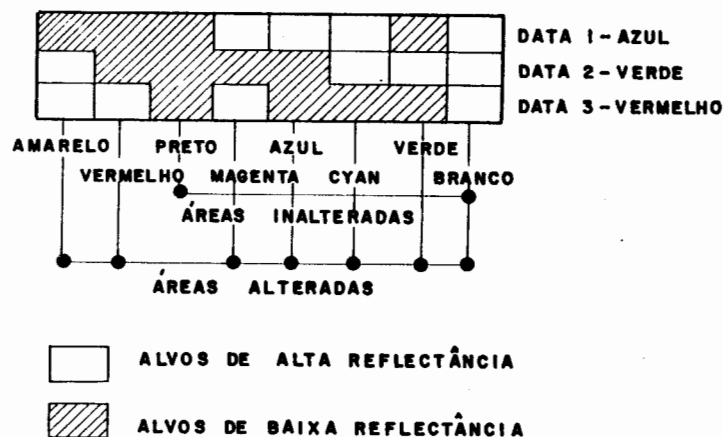


Fig. 2.3 - Composição colorida multitemporal.
Adaptada de Eyton (1983), p. 232.

Esse processo considera um padrão de reflectância binário (alta e baixa) para os alvos constantes nas imagens e as alterações são identificáveis através das cores geradas como mostra a Figura 2.3.

2.3.2 - IMAGEM DIFERENÇA

A descrição dessa técnica baseou-se nos trabalhos de Weismiller et al. (1977), Stauffer and McKyney (1978), Toll et al. (1980), Singh (1986), Quarmby and Cushnie (1989) e Singh (1989).

Segundo estes autores, a imagem diferença é uma das técnicas digitais que vem sendo utilizada com maior frequência e vem alcançando melhores resultados para discriminar áreas de alterações em ambiente urbano.

A operação fundamental em detecção de mudanças, pela imagem diferença é a subtração automática dos valores de radiância entre duas imagens digitais de datas distintas, na mesma banda, numa base pixel-a-pixel:

$$DX_{ij} \text{ bx} = (X_{ij} \text{ bx1} - X_{ij} \text{ bx2}) + C$$

onde:

$DX_{ij} \text{ bx}$.. imagem diferença;
 $X_{ij} \text{ bx1}$.. nível digital do pixel de coordenadas de linha e coluna (i,j) na banda x para a primeira data;
 $X_{ij} \text{ bx2}$.. ídem ao anterior para a segunda data;
 C..... off-set aplicado a fim de se produzir valores digitais positivos, sendo igual a 128.

O histograma dos dados de diferença, com intervalo (0-255), normalmente tem seu valor médio igual a 128, quando $C = 128$ e $G = 1$. A forte concentração dos dados de diferença em torno da média significa que não ocorreram muitas alterações entre uma data e outra.

Áreas que experimentaram maiores alterações aparecem mais claras (acréscimo de reflectância) ou mais escuras (decréscimo de reflectância) na imagem diferença.

Gerado o histograma da imagem diferença, o próximo passo é estabelecer um limiar ótimo em unidades de desvio padrão, ou empiricamente, que proporcione um limite ideal de separabilidade entre áreas alteradas e áreas não alteradas.

Esse limiar geralmente é ajustado empiricamente em função do tipo de mudança ocorrida e do tipo do meio ambiente analisado.

Toll et al. (1980), estabeleceram um limiar entre classe urbana alterada e classe urbana não alterada, através de uma aproximação empírica. Essa aproximação consistiu de um ajuste interativo até que o balanceamento desejado de áreas alteradas para não alteradas foi obtido.

Neste caso a técnica utilizada é o fatiamento ("density slicing"). Assim objetos com diferentes valores de níveis digitais são agrupados em fatias pré definidas.

Quarmby e Cushnie (1989), também utilizaram a técnica para o monitoramento de áreas urbanas e obtiveram resultados satisfatórios. Essa análise multitemporal utilizou imagens HRV\SPOT e TM\LANDSAT de datas distintas.

2.3.3 - REGRESSÃO DE IMAGENS

A descrição desse método de detecção de alterações foi baseada nos trabalhos de Medeiros (1987), Costa (1989) e Singh (1989).

Essa técnica consiste de uma variação da imagem diferença, em que pixels do primeiro período são assumidos por possuírem uma função linear com pixels da imagem do segundo período. Segundo Singh (1989), podemos então traçar uma regressão linear entre as imagens usando o método dos mínimos quadrados. Se x_{ijk} é o valor estimado obtido através da reta de regressão, a imagem diferença pode ser equacionada da seguinte maneira:

$$Dx_{ijk} = x_{ijk}(t_2) - x_{ijk}(t_1)$$

onde:

Dx_{ijk} diferença entre os pixels de $x_{ijk}(t_2)$ e $x_{ijk}(t_1)$ para a banda k;

$x_{ijk}(t_2)$. valor estimado para o valor do pixel de coordenadas (i,j) da imagem do período 2, para a banda k;

$x_{ijk}(t_1)$. valor do pixel x de coordenadas (i,j) no período 1, para a banda k.

A utilização dessa técnica visa também reduzir a variabilidade dos efeitos provenientes da atmosfera.

Uma das desvantagens desse método citada por Costa (1989), é que o método resulta na degradação de informações do urbano para o não urbano, além de requerer maior custo computacional.

2.3.4 - RAZÃO DE BANDAS

A descrição dessa técnica foi baseada nos trabalhos de Todd (1977), Howarth e Wickware (1981), Howarth e Boasson (1983), McMahon et al. (1984), Singh (1986) e Singh (1989).

A razão de bandas, assim como a imagem diferença é um dos mais simples e mais rápidos métodos de de

teção de alterações, devido a aplicação direta de uma operação matemática entre pixels.

Em razão multitemporal faz-se a divisão pixel-a-pixel entre as intensidades de energia refletida na imagem de primeira data numa banda e as intensidades de energia refletida na mesma banda, na segunda data. Um equacionamento simples para melhor demonstrar a razão de bandas é:

$$R_{ijk} = x_{ijk} (t1) / x_{ijk} (t2)$$

onde:

$x_{ijk} (t1)$.. número digital do pixel de linha, coluna (i,j), na banda k, para a imagem do primeiro período;
 $x_{ijk} (t2)$.. ídem ao anterior, porém para o segundo período.

O resultado dessa operação permite a identificação das áreas alteradas das não alteradas. Se o resultado gerado for igual ou aproximadamente igual a 1 então admite-se não ter havido alteração entre as duas imagens. Alterações ocorridas entre as cenas são representadas por valores maiores ou menores que 1. Onde mudanças tem ocorrido os resultados podem aparecer tanto maiores como menores que 1.

O processo de identificação visual dessas alterações é semelhante ao da imagem diferença e regressão: áreas onde não ocorreram alterações aparecem na tela do sistema em tonalidades de cinza, enquanto que áreas que sofreram alteração aparecem em tonalidades mais claras ou mais escuras a depender do tipo de alteração.

Visando individualizar áreas alteradas das não alteradas e gerar uma imagem temática, adota-se o procedimento de limiarização de histogramas, da mesma forma que na imagem diferença.

A composição colorida é também mais um recurso que pode ser utilizado, quando se dispõe de mais de uma imagem razão para uma melhor visualização das alterações. Nesse caso, a composição pode ser obtida através da combinação de dados de diferentes razões. (Howarth e Boasson, 1983).

McMahon et al. (1984) também utilizaram esta técnica para avaliação da expansão urbana. Como resultado eles observaram que as razões que proviram maior número de informações foram as razões das bandas 4 e 5 do MSS, enquanto que a razão da banda 7 apresentou resultados insatisfatórios.

Tanto Howarth e Boasson (1983) e McMahon et al. (1984), salientam que a razão de bandas gera bons resultados, porém os resultados obtidos através da imagem diferença apresentam certa superioridade.

2.3.5 - ÍNDICES VEGETATIVOS

A descrição dessa técnica foi baseada nos trabalhos de Howarth e Boasson (1983) e Singh (1989).

Os índices vegetativos foram originariamente estabelecidos para avaliar realces de diferenças espectrais com base na forte absorvância de uma vegetação sadia nos comprimentos de onda do vermelho, contra a forte reflectância nos comprimentos de onda do infravermelho próximo.

Os índices vegetativos, segundo Singh (1989) podem ser usados de maneiras diferentes, para realce das imagens submetidas à análise de detecção de alterações:

1) Imagens multitemporais podem ser submetidas à aplicação de índices vegetativos individualmente, sendo posteriormente sobrepostas para gerar composições coloridas. Essa técnica, segundo Howarth and Boasson (1983) é capaz de melhorar a visualização de alterações ocorridas de uma data para outra.

2) Uma imagem diferença de índices vegetativos numa base pixel-a-pixel limiarizada, é capaz de separar classes alteradas das não alteradas (Singh, 1989).

Esse procedimento gera uma imagem diferença limiarizada, onde as bandas utilizadas para a subtração entre as cenas são as bandas "índices vegetativos" resultantes da razão entre os canais do vermelho e infra vermelho próximo.

2.3.6 ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS

Essa técnica foi utilizada por Byrne et al. (1980), Toll et al. (1980), McMahon et al. (1984), Singh (1986) e Singh (1989).

Segundo Byrne et al. (1980), Componentes Principais (CP), é uma técnica eficiente de análise de dados multidimensionais correlacionados que pode ser usada em muitos casos para eliminar a redundância dos dados e condensar as informações não correlacionadas.

A partir da eliminação da redundância de dados a transformação de Componentes Principais baseando-se em propriedades estatísticas da imagem, fornece um número menor de bandas que sejam combinações das originais.

Quando duas imagens da mesma área são obtidas em diferentes datas e os canais são comparados com vista ao monitoramento multitemporal, existirá alta correlação entre as imagens. Algumas áreas da cena que apresentam-se sem correlação, são as de interesse pois representam áreas de mudança.

A transformação de CPs tem sido usada como transformação de dados para realçar regiões de alterações localizadas em dados de imagem multiespectral/multitemporal. Apresenta, como resultado direto, a alta correlação existente entre dados da imagem para regiões que não sofreram alterações significantes e a baixa correlação associada às regiões que se alteraram substancialmente.

Assim, dados com grande variabilidade e portanto maior número de informações não interessam para detecção de alterações, enquanto que uma componente principal que apresente menor variabilidade dos dados é capaz de enfatizar melhor as alterações ocorridas.

O que se pode concluir disso é que as primeiras Componentes Principais, que são as que possuem maior variabilidade de dados e conseqüentemente maior quantidade de informações, não são as mais indicadas para esse tipo de estudo, embora sejam de grande utilidade para outros tipos de análise.

Segundo Toll et al. (1984), as CPs quando usadas para a detecção de alterações em áreas urbanas apresentam resultados insatisfatórios se comparados com uma simples sobreposição de imagens e com a imagem diferença da banda do infravermelho ou do vermelho.

2.3.7 - COMPARAÇÃO PÓS CLASSIFICAÇÃO

Esse método de detecção de alterações foi utilizado por Weismiller et al. (1977), Rubec e Thie (1978), Toll et al. (1980), Howarth and Wickware (1981), McMahon et al. (1984), Singh (1986) e Singh (1989).

O método de comparação pós classificação para estudos de detecção de alterações multitemporais consiste na classificação independente de cada imagem a ser analisada e posterior comparação dos resultados para análise das alterações ocorridas entre as duas imagens.

As técnicas de realce, as quais as imagens devem ser submetidas, assim como o processo de classificação a ser efetuado, são selecionados pelo analista de acordo com as características da imagem e do ambiente a ser analisado.

Segundo vários autores: Singh (1989), Toll et al. (1980), Howarth e Wickware (1981) esse método de detecção de alterações é o que incorre em maior número de erros, pois os erros na classificação de cada imagem serão somados no estágio da comparação.

Howarth e Wickware (1981), trabalharam com detecção de alterações através de duas classificações supervisionadas e descrevem no trabalho a importância de dados de campo, além de medidas estatísticas para determinar a exatidão das classificações.

Segundo McMahon et al. (1984), que comparou os resultados da técnica de Comparação Pós Classificação com os resultados obtidos através da aplicação da técnica da Imagem Diferença e análise dos Componentes Principais, a Comparação Pós Classificação foi a que obteve piores resultados.

2.3.8 - TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL UTILIZADAS PARA INTEGRAR IMAGENS DE DIFERENTES RESOLUÇÕES

O estudo dessas técnicas foi baseado nos trabalhos de Buchanan e Pendergrass (1980), Haydn et al. (1982), Cliche et al. (1985), Chavez Jr. (1986), Welch e Ehlers (1987), Ehlers (1988) e Carper et al. (1990).

Um dos problemas mais abordados e discutidos em relação à aplicabilidade do sensoriamento remoto em áreas urbanas, diz respeito a questão da resolução espacial do sensor utilizado.

Técnicas para a integração de produtos de diferentes sensores vem se tornando uma ferramenta útil para estudos urbanos, na medida que passam a incorporar num único produto informações espectrais de um produto de resolução espacial mais fina, principal requisito quando se deseja obter uma melhor discriminação da área urbana e seu entorno, bem como de alvos intra-urbanos.

Segundo Welch e Ehlers (1987), o objetivo de se integrar produtos de sensores com diferentes resoluções, é gerar produtos e composições de imagens multisensor, multiresolução, multiespectral, multitemporal que possam efetivamente ser analisadas através da interpretação visual.

Ehlers (1988), sugere que a ampla quantidade de programas de sensoriamento remoto, atuais e futuros, que engloba uma variedade de sensores imageadores exige o desenvolvimento de técnicas de processamento eficientes para se trabalhar com grande volume de dados multisensores.

Técnicas de processamento devem fundir dados "multiimagens" para torná-los úteis à comunidade de usuários para mapeamento, monitoramento e modelagem dos fenômenos terrestres.

Diversos autores vem testando técnicas para integrar imagens de diferentes resoluções. Cliche et al. (1985) testou 3 algoritmos diferentes para simular a integração de imagens SPOT pancromática com SPOT multiespectral. Os algoritmos de Cliche et al. basearam-se fundamentalmente em operações aritméticas entre os números digitais das imagens a serem integradas. O resultado obtido, segundo Cliche et al. (1985), se apresentou semelhante à uma fotografia aérea infravermelha, com alta resolução espacial e boa qualidade na informação espectral.

Chavez Jr. (1986) integrou produtos de diferentes resoluções através da operação de adição pixel-a-pixel. Os produtos utilizados por Chavez foram fotografias aéreas digitalizadas e imagens TM/LANDSAT.

Welch e Ehlers (1987) testaram algoritmos propostos por Cliche et al. (1985) e Chavez Jr. (1986), para integrar dados SPOT pancromático com TM. As imagens resultantes foram submetidas à aplicação de técnicas de realce, através da manipulação de histogramas. A imagem realçada foi então amostrada através de uma composição colorida RGB. Segundo ainda Welch e Ehlers (1987), essas técnicas foram utilizadas gerando produtos de boa interpretabilidade, através da integração de um produto de superior resolução espacial.

Haydn et al. (1982) e Carper et al. (1990) documentaram que produtos com contraste e discriminação espectral superiores foram obtidos através da técnica de transformação IHS.

Segundo Haydn et al. (1982), os problemas em integrar produtos provenientes de sensores diferentes diretamente no sistema de representação de cores RGB, não diz respeito apenas a superposição geométrica. Incompatibilidades entre resolução espacial e espectral levam a degradação da imagem e uma representação de baixa qualidade.

Dentro de uma análise multitemporal para detecção de alterações em áreas urbanas, muitas vezes é necessário integrar produtos de diferentes sensores e portanto, de diferentes resoluções espaciais e espectrais. Neste caso, se o produto resultante for de superior resolução espacial podem indicar com melhor definição os limites entre as alterações, assim como, tentar oferecer condições para uma detecção de alterações intra urbana.

2.3.8.1 - TRANSFORMAÇÃO IHS - "INTENSITY, HUE, SATURATION"

Apresenta-se aqui uma descrição mais detalhada da transformação "IHS", como umas das principais técnicas utilizadas para realce de imagens e para integrar produtos de diferentes resoluções, devido aos bons resultados obtidos por diversos autores através da aplicação da mesma.

A técnica de transformação IHS pode ser usada tanto como uma técnica de realce de imagens, através da manipulação de I, H e S individualmente, assim como para integrar imagens com diferentes resoluções.

Em trabalhos de integração de dados de diferentes resoluções, Carper et al. (1990), citam que a transformação IHS fundamentalmente permite a separação da informação espacial como um componente da intensidade, da informação espectral nos componentes de matiz e saturação, para uma composição RGB em três bandas.

A informação espacial de uma composição de imagens em 3 bandas é caracterizada através das altas frequências da imagem que se manifestam através do brilho da mesma. Assim, essas informações são agregadas em uma única banda, quando é aplicada a transformação "IHS". A banda que agrega essas informações é a banda "I", que é responsável pelas informações de brilho ou intensidade de uma imagem.

As componentes "I", "H" e "S" representam parâmetros da visão humana sobre a cor e podem então ser definidas da seguinte maneira:

"I"...é função da magnitude das cores primárias presentes na composição de imagens (brilho).

"H"...é determinado pela proporção relativa de vermelho, verde e azul presentes, ou seja, agrega informações referentes aos comprimentos de onda dominantes de uma composição colorida em três bandas, que representa o matiz.

"S"...determina a pureza da cor referente a quantidade de branco presente na composição. Cores vivas (pouco branco) são fortemente saturadas, enquanto que cores pastéis (muito branco) possuem baixa saturação. Assim, a manipulação dessa componente é capaz de incrementar o contraste existente entre feições de uma mesma cena. (Haydn et al., 1982; Buchanan and Perdergrass, 1980).

O sistema de coordenadas IHS e RGB são apresentados através da Figura 2.4.

Através da transformação "IHS", a resolução espacial aparente de imagens digitais multiespectrais tem sido melhorada através da integração desses dados com dados de superior resolução espacial, gerando-se produtos híbridos.

Assim, é importante que essa operação mantenha o máximo possível da informação espectral original enquanto maximiza a quantidade de informação espacial a partir do dado de superior resolução espacial.

Quando se aplica a transformação "IHS" em uma composição colorida em 3 bandas, visando a integração de um produto de superior resolução espacial é importante que a faixa espectral do produto de superior resolução espacial tenha forte correlação com as bandas multiespectrais originariamente amostradas.

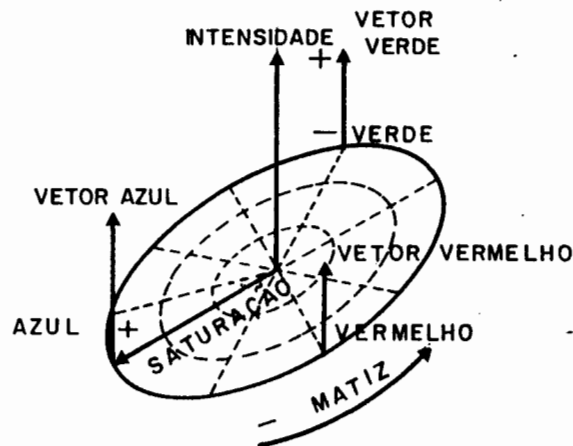


Fig. 2.4 - Sistema de coordenadas RGB e IHS.
Adaptada de Buchanan e Pendergrass
(1980).

Usualmente, a composição colorida original é formada por um conjunto de três bandas (do visível e/ou infra vermelho), e o produto de resolução espacial superior utilizado para substituição da componente "I", normalmente é proveniente de uma imagem pancromática, por possuir uma faixa espectral mais ampla, correlacionada com a composição original, a depender das bandas que a compõe.

Este é um aspecto importante de ser considerado pois a falta de correlação espectral do produto a ser integrado através da transformação IHS com as bandas originariamente amostradas levam a uma degradação espectral e radiométrica da composição final.

O uso da transformação IHS para a integração de produtos de diferentes resoluções espaciais pode de uma maneira mais genérica ser descrita da seguinte maneira:

- 1) as imagens a serem integradas devem estar previamente registradas.
- 2) faz-se a transformação das bandas selecionadas amostradas sob o domínio RGB para o domínio IHS.
- 3) substitui-se a componente "I" (que agrega as feições espaciais das 3 bandas) gerada, por uma imagem pancromática de alta resolução espacial.
- 4) estabelece-se o realce de contraste desejado através da manipulação de "S".
- 5) faz-se a transformação inversa para o domínio RGB.

Produtos com contraste e discriminação espectral superiores tem sido obtidos através da técnica de transformação de cores IHS, documentada, entre outros, por Haydn et al. (1982) e Carper et al. (1990).

Os resultados das integrações dos dados SPOT no modo pancromático e multiespectral e dados SPOT no modo pancromático e TM, demonstraram que os produtos gerados alcançaram alta resolução espacial e excelente discriminação espectral das feições naturais e culturais do meio ambiente urbano.

Haydn et al. (1982) utilizaram a transformação IHS para integrar dados RBV com MSS. O objetivo foi gerar um único produto, com a alta resolução espacial do RBV, ao mesmo tempo que mantinha a resolução espectral do sensor MSS.

O canal alta resolução do RBV foi substituído pela componente "intensidade", enquanto que "hue" e "saturation" foram derivadas das bandas 4,5 e 7 do MSS. Para visualização dos resultados foi feita a transformação inversa para o espaço de cores RGB.

Dutra et al. (1988), utilizaram essa transformação para integrar dados TM/Landsat com dados Spot no modo pancromático, gerando uma composição colorida com resolução de 10 m.

Brum (1989), utilizou a técnica IHS para integrar dados SPOT pancromático com SPOT multiespectral, onde declara ter obtido uma imagem com boa definição geométrica e equilíbrio de cores. Segundo Brum (1989) a transformação IHS apresentou-se com maior contraste que a obtida pelo método de Cliche et al. (1985), sendo os limites das feições urbanas mais visíveis.

Oliveira e Ii (1989) utilizaram a transformação IHS para integrar uma fotografia aérea branco e preto digitalizada, com imagem SPOT multiespectral, gerando um

produto com resolução espacial de 4m. Os resultados obtidos foram satisfatórios com o aumento da resolução espacial do produto gerado.

Kurkdjian (1990) aplicou a transformação IHS para fazer a integração de dados Spot pancromático com dados TM, dados Spot multiespectral e dados de fotografia aérea. Como resultados, gerou produtos, com ambas, resolução espectral e espacial elevadas, tornando os produtos mais aplicáveis à análises intra urbanas.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO DO TRABALHO

Neste capítulo são apresentados a área de estudo, os materiais utilizados neste trabalho, assim como as metodologias aplicadas para a consecução dos objetivos propostos.

3.1 - ÁREA ESTUDO

A descrição da área de estudo, seus aspectos de colonização, urbanização e outros, foram analisados visando gerar um entendimento maior acerca dos fenômenos históricos, econômicos e sociais que contribuíram e contribuem para o crescimento e expansão urbana do município de Ubatuba.

3.1.1 - LOCALIZAÇÃO

O município de Ubatuba está situado no litoral norte paulista, quase sobre a linha do Trópico de Capricórnio, ao fundo de uma baía. Suas coordenadas geográficas são: 23°26'13" de latitude sul e 45°04'05" de longitude oeste.

Limita-se ao norte com o município de Cunha pela Serra do Mar; ao sul com o oceano Atlântico; à nordeste com Parati (RJ), pela serra do Corisco (contraforte da Serra do Mar), e pela cachoeira da Escada, terminando na ponta da praia de Trindade; à sudoeste com Caraguatatuba pelo rio Tabatinga; à oeste com São Luís do Paraitinga e Natividade da Serra pela vertente da Serra do Mar.

A figura 3.1 mostra a sua localização e divisas municipais.

3.1.2 - ASPECTOS GEOGRÁFICOS

O município de Ubatuba possui um litoral com extensão aproximada de 92 km. e entre a serra e o mar sua planície costeira possui em média de 14 à 16 km. de largura.

O seu litoral é fortemente recortado, numa sucessão contínua de baías, angras, e enseadas. Disto resulta uma grande quantidade de praias pequenas, quase sempre juntas aos contrafortes da serra do Mar, que ali terminam sobre a forma de costões. Suas baixadas são pouco extensas e devido ao declive mais acentuado, os rios que a percorrem, não chegam a formar os grandes banhados.

Sendo sua planície pouco extensa, próximas à ela estão as encostas da serra do Mar, e acima a própria Serra, caracterizada por uma abundante mata nativa, denominada Mata Atlântica.

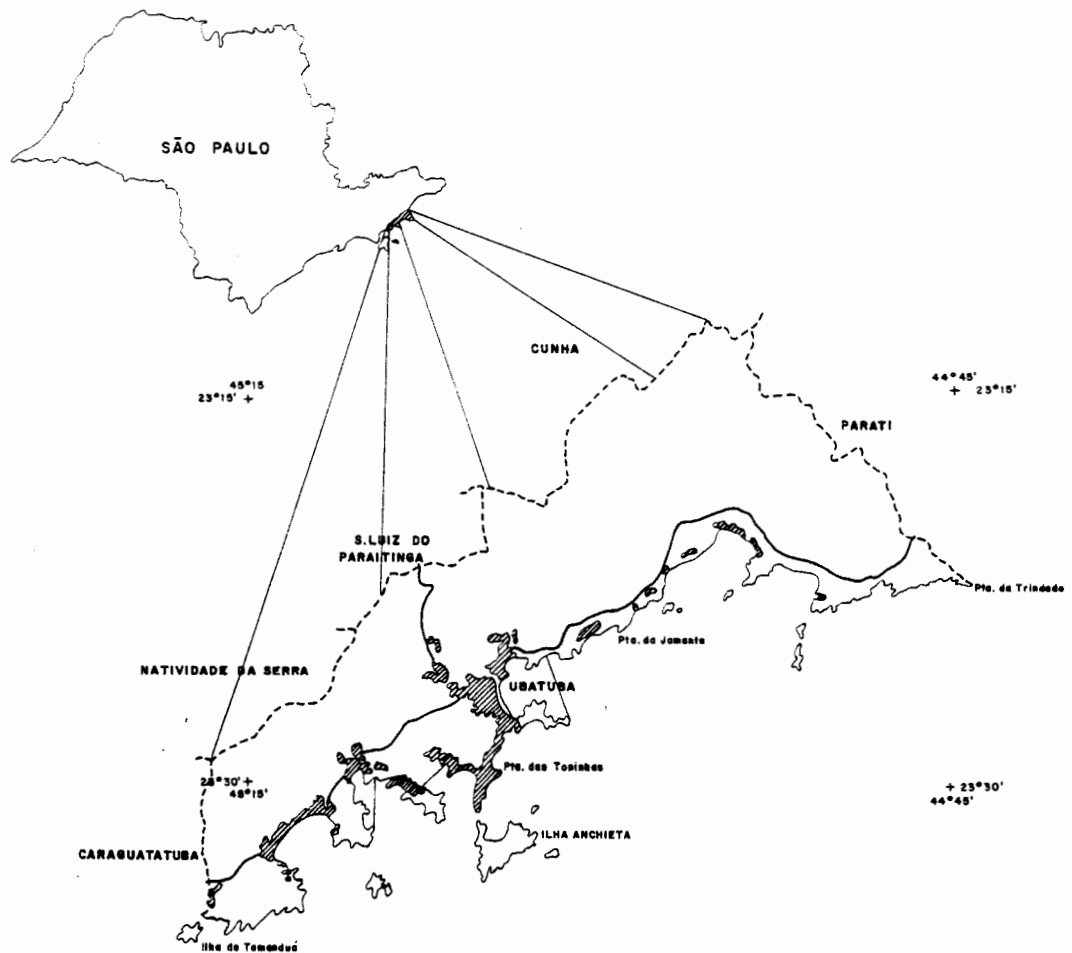


Fig. 3.1 - Localização de Ubatuba e suas divisas municipais.

Mais de 80 % do território de Ubatuba apresenta significativa cobertura vegetal. Isso se explica pelo fato de que o município apresenta grande porção de áreas escarpadas e montanhosas da serra do Mar.

Segundo a Cetesb (1987), nas encostas mais acentuadas da serra a mata se caracteriza pela grande diversidade de espécies, pela alta densidade vegetal e pela existência de vários extratos arbóreos.

Nas médias e baixas encostas desmatadas, em decorrência do alto grau de devastação, desenvolve-se uma vegetação secundária, tipo capoeira, com espécies vegetais de menor porte.

Próximo à planície, provenientes da inter relação entre oceano, hidrografia e continente formam-se diferentes tipos de ecossistemas como mangues e restingas, assim como uma abundante vegetação compõe os contrafortes da Serra do Mar.

No que se refere à ocupação urbana, o município de Ubatuba é caracterizado pela grande variedade de padrões desse uso. Na sua área central o padrão é mais homogêneo, com tamanhos de lotes, construções, densidade e taxa de ocupação mais semelhantes.

Loteamentos formados por habitações de veraneio alto nível, à beira mar normalmente são caracterizados por lotes de tamanhos maiores, taxa de ocupação inferior à área central, e pela presença abundante de vegetação.

Alguns loteamentos, devido a sua recente implantação tem a sua ocupação de maneira mais esparsa, com poucas habitações construídas.

Existem ainda os loteamentos implantados em costões da Serra do Mar, com taxa de ocupação ainda inferior aos loteamentos acima mencionados, devido a declividade acentuada de seus terrenos.

Nos bairros sertões de Ubatuba se faz presente ainda mais um padrão de uso urbano, desta vez formado por habitações bastante rústicas, da população local de baixa renda. Esses núcleos urbanos são formados aleatoriamente, onde destaca-se a presença de habitações esparsas, vazios urbanos, ruas não pavimentadas e áreas de cultivo de subsistência.

Assim, o município de Ubatuba, no que se refere a seu tipo de uso e cobertura do solo, divide-se genericamente da seguinte maneira:

- 1) áreas de vegetação densa: Serra do Mar composta pela abundante Mata Atlântica;
- 2) áreas de vegetação secundária: Nas médias e baixas encostas;
- 3) áreas de transição: são áreas desmatadas para um fim específico qualquer (novos loteamentos, caixas de empréstimo, etc.);
- 4) áreas urbanas: caracterizada por ocupações descontinuas, formando vários e diferenciados núcleos urbanos.

Como neste trabalho o objetivo é mapear a expansão urbana ocorrida entre datas específicas através da interpretação visual de produtos fotográficos (transparências positivas) e digitais, faz-se necessária a escolha correta da faixa espectral que discrimine com cla-

reza a área urbana de seu entorno, que no caso de Ubatuba é caracterizado essencialmente por tipos diversos de vegetação.

3.1.3 - COLONIZAÇÃO

A caracterização dos aspectos de colonização de Ubatuba foi feita com base nos trabalhos de Assis (1964), Cruz (1974) e Silva (1975).

Segundo Silva (1975), a colonização portuguesa e européia em Ubatuba no início do séc. XVI foi inicialmente dificultada pela forte resistência dos indígenas que habitavam o local.

Porém, no Séc. XVII, a vitória dos portugueses na batalha contra os índios e a doação de sesmarias por intermédio do rei de Portugal, deu início ao processo de colonização européia na região.

A fundação da vila no mesmo século, mais especificamente em 1637, dá movimento à ocupação e posse das terras em Ubatuba.

Após a fundação da vila, uma série de fenômenos levaram Ubatuba ao apogeu e ao declínio, no que se refere ao seu desenvolvimento econômico. São eles:

1) Final do séc. XVII e início do séc. XVIII

Destaca-se a atividade portuária, devido a alta comercialização do ouro que vinha de Minas Gerais. Nessa época, o caminho que ligava Ubatuba ao planalto, correspondia às velhas trilhas indígenas. Essas trilhas ligavam Ubatuba à Taubaté e Caraguatatuba à São José dos Campos.

2) 1710 - Declínio da atividade portuária

O caminho aberto para transporte dos minérios de Minas Gerais diretamente para o porto do Rio de Janeiro, estabelece o declínio da atividade portuária em Ubatuba e no litoral norte, por ser essa a atividade mais representativa da região (Silva, 1975). Também nessa data, dá-se o início das atividades agrícolas na região, que se destaca pelo cultivo da cana-de-açúcar e outros produtos. A falta de vias de comunicação com o planalto, restringe Ubatuba em suas principais atividades econômicas.

3) Final do séc. XVIII

Aumenta o número de fazendas, caracterizando ocupações mais para o interior do sítio. Essas propriedades se relacionavam por unidades de vizinhança, formando os bairros rurais. Nesta época já se definia o núcleo central

da vila, com construções representativas da economia e da sociedade local: o porto, o mercado, a igreja matriz, as moradias, casas de artesãos e comerciantes.

4) Séc. XIX (1820/1830)

Dá-se início à ocupação de áreas mais próximas ao núcleo da vila. A Câmara Municipal passa a receber reivindicações de terras para a construção de casas próximas ao núcleo da cidade. Isso determinou o início tardio de uma política de urbanização para o pequeno núcleo que se estabelecia em uma dúzia de ruas e praças. Ainda nesse século ocorre nova ascensão das atividades portuárias: A partir do desenvolvimento das culturas de café no Vale do Paraíba e a abertura de novos caminhos (ligando Ubatuba à São Luís do Paraitinga, e Caraguatatuba à Paraibuna) em 1834. Ubatuba é o maior porto exportador de café do Brasil. Neste século então, com a valorização da cultura do café, reestabelecendo também a atividade portuária, constatou-se o crescimento dos espaços urbanizados e a melhoria das comunicações com o planalto.

5) 1877 - Novo declínio da atividade portuária

Com a construção da estrada de ferro que liga São Paulo à Santos, esse município passa a ser o grande responsável pelas grandes transações portuárias do Brasil, recebendo todo o escoamento da produção cafeeira e outros produtos, originariamente comercializados através dos portos de Ubatuba e São Sebastião. As iniciativas acerca da estrada de ferro, que ligaria o litoral norte ao planalto, não foram levadas adiante, apesar de ter Ubatuba iniciado sua construção.

6) Séc. XX (1930)

O litoral, e mais especificamente Ubatuba, encontrava-se com sua economia marginalizada e com a urbanização mantida nos padrões do passado.

7) 1939

Inicia-se o processo de abertura das estradas facilitando o acesso entre o litoral e o planalto. Com a inauguração da estrada ligando São José dos Campos à Caraguatatuba e a sucessiva abertura de novos caminhos, Ubatuba altera a condição de marginalização que permaneceu até esta época.

É possível concluir que as principais restrições de Ubatuba e do litoral norte, referentes ao desenvolvimento econômico e urbano, estiveram ao longo dos anos relacionados com a inexistência de caminhos que ligassem Ubatuba ao Vale do Paraíba e ao planalto.

Todas as transformações que ocorreram em Ubatuba a partir da década de 40 como, por exemplo, a constante transferência da população rural para a zona urbana, e a forte migração incrementando os setores secundário e terciário, e a exploração do potencial turístico, deveu-se sobretudo à facilidade de acesso ao litoral e vice-versa, através das estradas abertas.

Dentro desses aspectos, pode-se caracterizar a evolução de Ubatuba de uma maneira mais ampla, através de dois períodos históricos: antes, e a partir dos acessos rodoviários.

A segunda fase de Ubatuba começa então com a abertura de estradas rodoviárias, que fazem sua comunicação com o planalto, principal aspecto dentro do processo de transformação da cidade, que adquire pouco a pouco feições mais urbanas, com o incremento de atividades dos setores secundário (com menor expressão) e terciário, e maior força turística.

3.1.4 - ANÁLISE DEMOGRÁFICA

Com a crise do café e a decadência portuária, Ubatuba inicia sua retomada do crescimento, a partir de década de 40, quando o litoral já possuía uma ligação rodoviária com o planalto: a estrada São José dos Campos - Caraguatatuba (Assis, 1964).

A partir de 1940, conforme mostra a Tabela 3.1, há um aumento constante da população urbana, enquanto que a rural permanece praticamente inalterada, o que significa um crescimento significativo da população urbana.

TABELA 3.1 - POPULAÇÕES URBANA E RURAL DE UBATUBA NAS DÉCADAS DE 40, 50 E 60

	1940	1950	1960
urbana	1052	1755	3075
rural	6203	6186	7239
total	7255	7941	10314

FONTE: SEADE (1982), p.15.

Apesar desse aumento da população urbana em relação à rural, até 1960 o município de Ubatuba ainda é caracterizado pela predominância da população rural, que contém nada menos que 61% da população economicamente ativa. Quanto a população rural que se transferiu para a zona urbana, esta passou a desenvolver atividades nos setores secundário e terciário, que passaram de 16% para 20% e 18% para 20% de pessoal, respectivamente.

Segundo SEADE (1982) em análise da sub região do litoral norte, a partir da década de 60, com a intensa exploração do potencial turístico da região e o conseqüente investimento do capital externo no mercado imobiliário, acelera-se o processo de urbanização.

O saldo migratório entre 70/80 também cresce significativamente, passando a responder por mais da metade de todo o acréscimo da população sub-regional do litoral norte. Isso se deve a dois fatores:

- 1) a instalação do terminal da Petrobrás em São Sebastião;
- 2) melhoria da rede viária e abertura de outras estradas, dando impulso à expansão das atividades turísticas.

A participação geral das populações rural e urbana na população total, da sub-região do litoral norte, nas décadas de 60, 70 e 80, é mostrado na Tabela 3.2.

TABELA 3.2 - PARTICIPAÇÃO DAS POPULAÇÕES RURAL E URBANA NA POPULAÇÃO TOTAL NO LITORAL NORTE ENTRE 1960 E 1980

	60	70	80
urbana	44,21%	81,04%	95,78%
rural	55,79 %	18,96%	4,22%

FONTE: SEADE (1982), p.18.

Ubatuba acompanha esse processo sub - regional de crescimento da população urbana.

Assim, Ubatuba tem em 1970 e 1980, 15203 e 26663 habitantes respectivamente. De acordo com SEADE (1988), em seu trabalho de projeção de população de municípios até o ano 2.010, os números de habitantes rurais, urbanos e totais projetados para Ubatuba são mostrados na Tabela 3.3.

Essa estimativa, indica a extinção da população rural no município de Ubatuba, que já apresenta atualmente, uma quantidade insignificante em relação à população urbana.

Isso se reflete também pela predominância das atividades terciárias relacionadas ao turismo, que chega a representar 85,04% das atividades econômicas desenvolvidas atualmente em Ubatuba.

**TABELA 3.3 - ESTIMATIVA POPULACIONAL ATÉ 2010 PARA O
MUNICÍPIO DE UBATUBA**

	urbana	rural	total
1988	36244	826	37070
1990	39701	616	40317
1995	48160	286	48446
2000	57348	131	57479
2005	67691	59	57479
2010	77716	26	77742

FONTE: SEADE (1988), p.262.

Podemos então concluir que o crescimento da população urbana sobre a rural se deu efetivamente da década de 60 em diante, por ser da mesma época o início da exploração turística, com suas diversas consequências.

3.1.5 - ACESSOS RODOVIÁRIOS

As principais estradas que dão acesso ao município de Ubatuba são:

- 1) SP-99 - Rodovia dos Tamoios: liga São José dos Campos à Caraguatatuba; foi o primeiro acesso rodoviário estabelecido para comunicação com o litoral norte. Sua abertura aconteceu em 1939 e tem 93km. de extensão.

Apesar de não ter ligação direta ao município de Ubatuba, estabelece, junto com o trecho da Rio-Santos, compreendido entre Ubatuba e Caraguatatuba, um importante acesso à Ubatuba, para aqueles que se deslocam da cidade de São Paulo e outras regiões do Estado.

- 2) SP-55 - Rodovia que liga São Sebastião - Caraguatatuba - Ubatuba, atualmente trecho da Rio - Santos, teve seu trecho Ubatuba - Caraguatatuba inaugurado em 1955.
- 3) SP-125 - Rodovia Osvaldo Cruz, faz a ligação entre Taubaté e Ubatuba, com 99 km. de extensão.
- 4) BR-101 - Rodovia Rio - Santos, liga a cidade do Rio de Janeiro (RJ) à cidade de Santos (SP). Essa rodovia aproveita trechos pré existentes da rodovia estadual litorânea, SP-55.

A abertura dessas estradas, assim como o aperfeiçoamento e melhoria das condições das mesmas, foram

fatores que gradativamente desencadearam um intenso processo de comunicação entre o planalto e o litoral, que contribuíram para a urbanização regional.

3.1.6 - ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE UBATUBA

As unidades de proteção ambiental que se situam no município de Ubatuba, ou abrangem parte do mesmo, são classificadas dentro de contextos diferentes conservacionistas e preservacionistas.

1) ÁREAS NATURAIS TOMBADAS

"São áreas ou monumentos naturais cuja conservação é de interesse público, seja pelo seu valor histórico, ambiental, arqueológico, geológico, turístico ou paisagístico. Podem ser instituídas em terras públicas ou particulares e uma vez instituídas no livro do tombo, essas áreas passam a ter restrições quanto ao seu uso, de modo a garantir a conservação de suas características originais."

Nessas condições no município de Ubatuba está a Serra do Mar, e porções associadas ao planalto e à baixada, morros costeiros, manguesais e a maioria das ilhas oceânicas. Resolução nº 40 de 06/06/85. (São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente, 1989).

Outra área natural tombada no município de Ubatuba é a Vila Picinguaba, que está incluída dentro do Parque Estadual da Serra do Mar, e ainda conserva características originais da organização social e arquitetônica da cultura caiçara. Resolução nº 7 de 01/03/83. (São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, 1989).

2) PARQUES

"São áreas de extensão considerável, contendo formações ou paisagens de características naturais relevantes, onde espécies de plantas ou animais, sítios geomorfológicos ou habitats são de grande interesse científico, educacional ou recreativo. Geralmente abrangem mais de 1000 ha. suscetíveis de manejo em estado natural ou quase natural. Qualquer exploração dos recursos naturais dos parques é proibida e suas terras devem pertencer ao poder público. São áreas de preservação permanente devendo estar sempre abertas à visitação pública para recreação, turismo ecológico e educação ambiental." (São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente, 1989).

Dentro desses padrões no município de Ubatuba estão o Parque Estadual da Serra do Mar (Dec. Est. 10.251 de 30/08/1977) e o Parque Estadual da Ilha Anchieta (Dec. Est. 9629 de 29/03/1977).

Caracterizado como Parque Nacional através da Lei Federal nº 68.172 de 04/02/1971 encontra-se o Parque Nacional da Serra da Bocaina, inserido no Parque Estadual da Serra do Mar. É objeto de preservação permanente pois são áreas dotadas de atributos naturais excepcionais.

3) RESERVA ECOLÓGICA

Conforme estabelece o artigo 2º do Código Florestal (Lei Federal nº 4771/65) complementado pela resolução do CONAMA nº 004/85 e alterado pela Lei Federal nº 7803/89 são consideradas reservas ecológicas (por serem áreas de preservação permanente) as florestas e demais formas de vegetação natural existentes: ao longo dos rios; ao redor das lagoas; nascentes; topos de morros; restingas; manguesais; e encostas com declividade superior a 45º.

4) RESERVA ÍNDIGENA

São áreas com vestígios da comunidade indígena. Em Ubatuba se faz presente a Reserva Indígena da Boa Vista, instituída através do Decreto Federal nº 94.220 de 14/04/87.

3.2 - MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados neste trabalho foram divididos da seguinte maneira:

3.2.1 - MATERIAIS DE CONSUMO

3.2.1.1 - PRODUTOS ORBITAIS LANDSAT

O sistema LANDSAT compõe-se até o momento de uma série de 5 satélites lançados a intervalos médios de 3 a 4 anos. Esse sistema foi desenvolvido pela National Aeronautics Space Administration, NASA. Atualmente o satélite que está operando é o LANDSAT 5 que corresponde à 2ª geração da série de satélites LANDSAT, lançado à 01/03/1984. O LANDSAT 5 carrega a bordo os sensores "Multispectral Scanner Subsystem" (MSS) e o "Thematic Mapper" (TM). Para a realização deste trabalho, devido ao seu caráter multitemporal, foram utilizados produtos provenientes de ambos os sensores.

1) PRODUTOS ORBITAIS TM/LANDSAT 5

O TM é um radiômetro imageador, com resolução espacial de 30m nas bandas do visível, infravermelho próximo e médio, e 120m no infravermelho termal. Possui 7 bandas espectrais, alcançando maior resolução espectral e melhor resolução espacial que o sensor MSS.

As bandas espectrais do sensor TM são:

- a) banda 1 (450 - 520 nm);
- b) banda 2 (520 - 600 nm);
- c) banda 3 (630 - 690 nm);
- d) banda 4 (760 - 900 nm);
- e) banda 5 (1550 - 1750 nm);
- f) banda 6 (10400 - 12500 nm);
- g) banda 7 (2080 - 2350 nm).

Foram utilizadas imagens analógicas e digitais TM/LANDSAT, conforme demonstram as TAB 3.4 e TAB 3.5.

2) PRODUTOS ORBITAIS MSS/LANDSAT:

O sensor MSS é anterior ao TM, estando a bordo de todos os satélites da série LANDSAT, gerando imagens da superfície da Terra, desde 1972.

Possui resolução espacial de aproximadamente 80 metros no terreno, não sendo, portanto, os seus produtos, os mais indicados para aplicação em áreas urbanas. Porém, por ser o único produto disponível até julho de 1982, quando o sensor TM foi colocado a bordo do satélite LANDSAT 4, esses produtos, comumente utilizados para estudos retrospectivos, foram utilizados para fazer o mapeamento urbano de Ubatuba nas datas de 1973 e 1979.

Seus canais espectrais são:

- a) banda 4 (verde): 500 à 600 nm;
 - b) banda 5 (vermelho): 600 à 700 nm;
 - c) banda 6 (infra vermelho): 700 à 800 nm;
 - d) banda 7 (infra vermelho médio): 800 à 1100 nm;
 - e) canal 8 (infra vermelho termal): 10400 à 12600 nm.
- A resolução espacial neste canal é de aproximadamente 240 metros.

Os produtos MSS utilizados são demonstrados nas TAB 3.4 e TAB 3.5.

3.2.1.2 - PRODUTOS ORBITAIS HRV/SPOT

O SPOT é um satélite francês lançado em fevereiro de 1986. Suas imagens são fornecidas em dois modos: pancromático e multiespectral, com resolução espacial de 10 m. e 20 m. respectivamente. Devido a sua alta resolução espacial suas imagens podem ser trabalhadas com eficiência em escalas maiores às alcançadas por imagens dos outros satélites em operação, oferecendo melhores resultados na interpretação de áreas urbanas.

Os intervalos espectrais do sensor HRV/SPOT são os seguintes:

- 1) Modo P (pancromático): 510 à 730 nm;
- 2) Modo XS (multiespectral):
 - a) banda 1 (verde): 500 à 590 nm;
 - b) banda 2 (vermelho): 610 à 680 nm;
 - c) banda 3 (infra vermelho): 790 à 890 nm.

Os produtos HRV/Spot utilizados estão demonstrados através da TAB 3.4.

TAB 3.4 - RELAÇÃO DAS IMAGENS DIGITAIS UTILIZADAS

IMAGEM	DATAS	ÓRBITA/PTO	QUAD	BANDAS
MSS/LANDSAT	11/07/73	234/76		5 e 6
TM/LANDSAT	06/06/84 22/07/89	218/076 218/076	S S	3 e 4 3 e 4
HRV/SPOT	05/05/86	713/397		2 e 3

TAB 3.5 -RELAÇÃO DAS IMAGENS EM TRANSPARÊNCIAS POSITIVAS

IMAGEM	DATAS	ÓRBITA/PTO	QUAD	BANDAS	ESCALA
TM/LANDSAT	06/06/84 22/07/8	218/076 218/076	S S	3 3	1:1.000.000 1:1.000.000
MSS/LANDSAT	11/07/73 01/06/79	234/76 234/76		5 5	1:1.000.000 1:1.000.000

3.2.1.3 - CARTAS TOPOGRÁFICAS DO IBGE

Todas as cartas do IBGE utilizadas estão na projeção Universal Transversa de Mercator, na escala 1:50.000, elaboradas a partir de aerofotografias de 1.966.

- 1) Ubatuba: Folha SF-23-Y-D-III-4.
- 2) Caraguatatuba: Folha SF-23-Y-D-VI-1.
- 3) Cunha: Folha SF-23-Z-C-I-1.
- 4) Ilha Anchieta: Folha SF-23-Y-D-VI-2.
- 5) Picinguaba: Folha SF-23-Z-C-I-3.
- 6) Juatinga: Folha SF-23-Z-C-I-4.

3.2.1.4 - PRODUTOS CARTOGRÁFICOS TEMÁTICOS

Foram utilizados produtos cartográficos produzidos por órgãos específicos, a saber:

- 1) Carta Geotécnica elaborada pelo IPT para o município de Ubatuba, em 1.991, na escala 1:25.000.

- 2) Carta de Unidades de Preservação Ambiental, elaborada pelo IPT, em 1.991, na escala 1:25.000.

3.2.1.5 - LEVANTAMENTOS AEROFOTOGRAFÉTRICOS

Fotografias aéreas de 1973 (escala 1:10.000) e 1979 (escala 1:45.000) foram utilizadas como elementos auxiliares na interpretação visual das transparências MSS/LANDSAT, devido às dificuldades encontradas para interpretação de áreas urbanas com essas imagens.

3.2.2 - EQUIPAMENTOS

3.2.2.1 - SITIM - SISTEMA INTERATIVO DE TRATAMENTO DE IMAGENS

O SITIM é um sistema interativo de tratamento de imagens desenvolvido pela ENGESPACO (INPE). É formado por um micro computador e por uma Unidade de Visualização de Imagens que pode operar independentemente ou como uma estação de trabalho ligada a um micro computador de maior porte. O SITIM dispõe de um conjunto de programas de aplicações para o tratamento e manipulação de dados de Sensoriamento Remoto.

Todas as técnicas aplicadas para processamento e tratamento dos dados digitais deste trabalho foram efetuadas dentro do software SITIM-150.

3.2.2.2 - PROCON II

O Procon é um ampliador ótico desenvolvido no Canadá, principalmente para interpretação visual de imagens. Esse equipamento facilita a ampliação e obtenção de diversas escalas de trabalho, possibilitando desta forma, que as informações contidas em produtos em transparência sejam projetadas e transferidas para bases cartográficas ou mapas topográficos. O PROCON II foi utilizado para ampliar as transparências utilizadas na interpretação visual sobre uma base cartográfica da área de estudo, gerada a partir das cartas do IBGE na escala de 1:50.000.

3.2.2.3 - SIG - SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

O SIG é um banco de dados geográficos que permite adquirir, armazenar, combinar, analisar e recuperar informações codificadas espacialmente.

Os objetivos principais desse sistema consistem em:

- 1) INTEGRAR numa única base de dados informações espaciais provenientes de mapas, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite e modelo numérico de terreno.

- 2) COMBINAR as várias informações através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados.
- 3) REPRODUZIR visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados.

Uma das principais aplicações desse sistema é então o mapeamento através da entrada, armazenamento e reprodução de mapas, além da criação de uma base de dados geocodificados.

Esse sistema foi utilizado neste trabalho para se fazer a integração dos dados mapeados visualmente de expansão urbana do município de Ubatuba com dados ambientais e do meio físico, estabelecendo critérios e restrições quanto a ocupação e as tendências de expansão urbana em áreas impróprias e de risco.

3.3 - METODOLOGIA

É apresentada a seguir a metodologia desenvolvida para esse trabalho, dividida da seguinte maneira:

- 1) Escolha das bandas.
- 2) Procedimento para interpretação visual dos dados.
- 3) Procedimento de pré processamento e processamento dos dados digitais.
- 4) Procedimento para escolha dos dados físicos e ambientais e integração ao S.I.G.

3.3.1 - ESCOLHA DAS MELHORES BANDAS

As bandas selecionadas neste trabalho para obtenção dos mapeamentos da expansão urbana do município de Ubatuba foram:

1) BANDA DO VERMELHO

O canal do vermelho foi escolhido por ser efetivamente o que melhor discrimina os alvos urbanos de seu entorno, devido ao alto contraste existente entre esses alvos e a vegetação, elemento predominante do entorno de Ubatuba. Em relação aos canais do visível é o que apresenta melhor contraste, quando comparado aos canais do azul e verde. Isso, devido à própria característica de reflectância dos alvos urbanos, e por não conter tanta interferência da bruma atmosférica.

Além de fornecer boa visualização de áreas urbanas e de seus limites, aumenta o contraste entre essa área e a vegetação de entorno ou intra-urbana, devido a alta reflectância dos alvos urbanos nesse canal, contra a

alta absorvância da vegetação. Especialmente para o caso de Ubatuba, que possui vegetação em abundância no entorno das áreas urbanas.

Vários autores em estudos multitemporais de áreas urbanas salientam também, a superioridade dos resultados alcançados através da utilização da banda do vermelho. Portanto, essa banda foi previamente selecionada para aplicação das técnicas digitais de detecção de mudanças descritas neste trabalho.

2) RAZÃO ENTRE OS CANAIS DO VERMELHO E INFRA VERMELHO PRÓXIMO

De acordo com trabalhos anteriores, a razão conhecida como "índice de vegetação", produto da razão entre o canal do vermelho e infra-vermelho próximo, além de grande potencial nos estudos com vegetação, fornecem boa separabilidade entre áreas de vegetação e áreas urbanas.

Para tanto, foram geradas essas razões para as imagens disponíveis visando sua utilização na aplicação das técnicas digitais de detecção de alterações selecionadas nesse trabalho.

Essas razões (TM 3/4; MSS 5/6; e SPOT 2/3), entretanto, não geraram um produto satisfatório para a interpretação de áreas urbanas. Através da comparação entre o canal do vermelho, e as razões obtidas, nota-se facilmente a superioridade do canal do vermelho, para mapeamento e análise de áreas urbanas.

3.3.2 - INTERPRETAÇÃO VISUAL DOS DADOS

Para o mapeamento urbano realizado neste trabalho, adotou-se a classificação sugerida por Pereira et al. (1988), que consiste em:

Terra Urbana ou Construída: Incluem-se nesta categoria as metrópoles, cidades, vilas, áreas de rodovia, serviços de transporte, rede de transmissão de energia e comunicações, indústrias, shopping centers, complexos industriais e comerciais e instituições que podem, em alguns casos, encontrar-se isoladas das áreas urbanas.

Glebas situadas no meio de áreas urbanas ou construídas geralmente são incluídas nessa categoria.

Áreas agrícolas, florestas, áreas úmidas, ou coleções d'água na borda de áreas urbanizadas ou construídas geralmente não são incluídas nessa categoria a não ser quando cercadas ou dominadas pelo desenvolvimento urbano.

Para a realização dos mapeamentos de áreas urbanas, adotando-se para tal a classificação acima mencionada, foi utilizada a metodologia abaixo descrita.

A metodologia utilizada para realização da interpretação visual das áreas urbanas das imagens transparências MSS/LANDSAT nas datas de 1973 e 1979 e TM/LANDSAT nas datas de 1984 e 1989, contou com procedimentos distintos, além das seguintes etapas básicas de trabalho descritas abaixo:

1) ELABORAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA

A elaboração da base foi feita utilizando-se as cartas topográficas (IBGE), na projeção UTM e na escala 1:50.000 para recobrimento total da área do município. As principais feições como rodovias e rede de drenagem foram demarcadas sobre um overlay. O objetivo da demarcação dessas feições foi facilitar a restituição da imagem transparência ampliada através do equipamento PROCON II, sobre o overlay.

2) AMPLIAÇÃO DAS IMAGENS ATRAVÉS DO EQUIPAMENTO PROCON II

A ampliação das imagens transparências foi feita através do equipamento PROCON II, visando atribuir ao mapeamento, a mesma escala e projeção da base cartográfica.

3.3.2.1 - INTERPRETAÇÃO VISUAL DOS PRODUTOS MSS (1973 e 1979)

Essa metodologia, além da elaboração da base cartográfica e ampliação das imagens no PROCON II, contou com a seguinte etapa:

1) Mapeamento das áreas urbanas

O mapeamento visual das áreas urbanas de Ubatuba foi feito através das imagens transparências MSS (banda 5). Devido a baixa resolução espacial proveniente da imagem MSS (80 m.), a falta de atributos espaciais e texturais (malha viária; área com ocupação densa, etc.) dificultaram o mapeamento seguro das áreas urbanas, as quais são quase sempre definidas pelos mesmos atributos mencionados acima. Foram então utilizadas, simultaneamente ao mapeamento das imagens transparências, fotografias aéreas do mesmo ano, as quais foram analisadas a fim de discriminar a natureza dos alvos na imagem a ser mapeada.

Através das fotografias aéreas tornou-se possível fazer a discriminação dos alvos urbanos e não urbanos, enquanto que através das imagens foram observados os

padrões geométricos e a localização desses alvos na escala do projeto, permitindo a sua extração, mapeamento e registro no "overlay".

3.3.2.2 - INTERPRETAÇÃO VISUAL DOS PRODUTOS TM (1984)

Esta etapa contou com a elaboração da base cartográfica e ampliação da imagem no PROCON II, além dos procedimentos abaixo:

1) Mapeamento preliminar das áreas urbanas

O mapeamento preliminar das áreas urbanas de Ubatuba para a data de 1984 foi feito através das imagens transparências TM (banda 3). Devido à melhor resolução espacial das imagens provenientes desse sensor, a identificação dos alvos urbanos foi feita através dos padrões espaciais, texturais e espectrais analisados da mesma. Esses padrões, embora provenientes de um produto de melhor resolução espacial que o MSS, algumas vezes não permitiram a determinação clara acerca da natureza dos alvos mapeados. Essas dúvidas pontuais foram sanadas através de trabalhos de campo e voôs panorâmicos sobre o município.

Embora a data do sobrevôo (1991) não correspondesse à data da imagem interpretada (1984) ele permitiu sanar algumas dúvidas existentes no mapeamento preliminar. Essas dúvidas referiam-se sobretudo à áreas que ainda em 1991 eram de solo exposto, desmatadas ou com vegetação rasteira e que confundiam-se com alvos urbanos (áreas de transição/novos loteamentos) por apresentarem o mesmo padrão espectral na imagem mapeada, além de localizarem-se próximos as áreas urbanas. A criação de uma chave de identificação para discriminar estes alvos já foi útil no passo seguinte.

2) Mapeamento Final

A partir do mapeamento preliminar feito através da imagem TM/LANDSAT de 1984 e do emprego da chave de identificação elaborada foi possível retomar a interpretação visual da mesma imagem, visando retificar áreas mapeadas incorretamente.

3.3.2.3 - INTERPRETAÇÃO VISUAL DOS PRODUTOS TM (1989)

Essa etapa, além da elaboração da base cartográfica e ampliação da imagem no PROCON II, contou com os seguintes procedimentos abaixo:

1) Mapeamento das áreas urbanas

O procedimento utilizado para fazer o mapeamento da imagem transparência TM/LANDSAT (banda 3) de 1989 foi o mesmo utilizado para a imagem transparência

TM/LANDSAT de 1984. Nessa data entretanto, as informações obtidas através do trabalho de campo e do sobrevôo foram utilizadas diretamente, como verdade terrestre para corrigir o mapeamento preliminar e elaborar o mapa final.

2) Avaliação da precisão do mapeamento

O mapa final elaborado a partir da interpretação visual da imagem de 1989 foi submetido à avaliação da precisão do mapeamento, através de checagem e verificação a campo, conforme descrito abaixo.

3.3.2.3.1 - AVALIAÇÃO DA PRECISÃO DO MAPEAMENTO VISUAL DO PRODUTO TM (1989)

Foi procedida a avaliação do mapeamento visual para o mapa de ocupação urbana elaborado através da imagem LANDSAT/TM de 1989, considerando-se as informações de campo como verdade terrestre.

Para se fazer a avaliação da precisão do mapeamento em questão (1989), foi realizado trabalho de campo em junho de 1991, para verificação de amostras sorteadas aleatoriamente.

1) PROCEDIMENTO ESTATÍSTICO ADOTADO:

Segundo Ginevan (1979), o procedimento estatístico mais adequado para determinar o número de amostras a serem checadas em campo, e o número de erros admissíveis, é conhecido como "acceptance sampling".

Esse procedimento visa satisfazer os critérios abaixo:

- 1) baixa probabilidade de aceitar um mapa de baixa exatidão.
- 2) alta probabilidade de aceitar um mapa de alta exatidão.
- 3) requerer um número mínimo de amostras no campo.

Esse método é baseado na função de densidade de probabilidade binomial, e consiste no pré estabelecimento de alguns parâmetros estatísticos de exatidão, para posterior determinação do tamanho da amostra, assim como do número de erros admissíveis para o tamanho da mostra.

Os parâmetros são assim definidos:

- a) (beta): é a probabilidade de se rejeitar um mapa de alta exatidão, conhecido como risco do produtor.

- b) (alfa): é a probabilidade de se aceitar um mapa de baixa exatidão, conhecido como risco do consumidor.
- c) Q1: é a exatidão estabelecida pelo produtor para o mapeamento.
- d) Q2: é a exatidão mínima requerida para o mapeamento.

2) DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS:

Como trata-se de mapeamento através de dados de sensoriamento remoto orbital e as classes mapeadas referem-se a duas classes de uso do solo: urbano e não urbano, admitiu-se a precisão de 85%, sugerida por Anderson et al. (1979), como a mínima requerida e 90% a exatidão do produtor.

A escolha de beta aproximadamente igual a 10% ou 15%, considerado um risco tolerável para o produtor estabelecerá um número muito elevado de amostras a serem checadas em campo, como mostra a Tab. 3.6 abaixo:

TABELA 3.6 - VALORES ÓTIMOS DE n PARA X_C [0,47] e PARA = 0,05 e CORRESPONDENTES VALORES DE PARA $P_p = 0,90; 0,95$ e $0,99$.

n	X_C	VALORES DE PARA		
		$P_p=0,90$	$P_p=0,95$	$P_p=0,99$
19	0	0,8649	0,6226	0,1738
30	1	0,8163	0,4465	0,0361
40	2	0,7772	0,3233	0,0075
50	3	0,7497	0,2396	0,0016
59	4	0,7152	0,1719	0,0003
68	5	0,6859	0,1242	0,0001
76	6	0,6467	0,0856	0,0000
85	7	0,6247	0,0664	0,0000
93	8	0,5919	0,0432	0,0000
102	9	0,5746	0,0318	0,0000
110	10	0,5464	0,0221	0,0000
118	11	0,5203	0,0153	0,0000
126	12	0,4959	0,0107	0,0000
134	13	0,4731	0,0074	0,0000
142	14	0,4518	0,0052	0,0000
150	15	0,4318	0,0036	0,0000
158	16	0,4130	0,0025	0,0000
166	17	0,3954	0,0018	0,0000
174	18	0,3787	0,0012	0,0000
182	19	0,3630	0,0009	0,0000
190	20	0,3481	0,0006	0,0000

(continua)

Tabela 3.6 - Conclusão

n	X _C	VALORES DE PARA		
		Pp=0,90	Pp=0,95	Pp=0,99
197	21	0,3252	0,0004	0,000
205	22	0,3122	0,0003	0,000
213	23	0,2998	0,0002	0,000
220	24	0,2802	0,0001	0,0000
228	25	0,2693	0,0001	0,0000
236	26	0,2589	0,0001	0,0000
243	27	0,2421	0,0000	0,0000
251	28	0,2329	0,0000	0,0000
259	29	0,2242	0,0000	0,0000
266	30	0,2097	0,0000	0,0000
274	31	0,2020	0,0000	0,0000
281	32	0,1890	0,0000	0,0000
289	33	0,1821	0,0000	0,0000
296	34	0,1704	0,0000	0,0000
304	35	0,1643	0,0000	0,0000
311	36	0,1537	0,0000	0,0000
319	37	0,1483	0,0000	0,0000
326	38	0,1388	0,0000	0,0000
334	39	0,1339	0,0000	0,0000
341	40	0,1253	0,0000	0,0000
349	41	0,1210	0,0000	0,0000
356	42	0,1133	0,0000	0,0000
364	43	0,1094	0,0000	0,0000
371	44	0,1024	0,0000	0,0000
379	45	0,0989	0,0000	0,0000
386	46	0,0926	0,0000	0,0000
393	47	0,0867	0,0000	0,0000

FONTE: Ginevan (1979), p.1375.

A Tabela 3.6 foi utilizada para determinar o número "N" de amostras, e o número "X" de erros admissíveis, a partir dos parâmetros de avaliação definidos.

Assim, foi determinado o número "N" de amostras igual a 158. Esse número selecionado estabeleceu uma probabilidade de rejeitar um mapa de alta exatidão, igual a 41,30%, quando Q1 = 0,90.

Optou-se por um risco do produtor elevado, a fim de se diminuir o número de amostras a serem checadas em campo por ser um mapeamento com apenas duas classes, que gerou alto grau de confiança.

Assim, a determinação dos parâmetros da avaliação ficou definida da seguinte maneira:

- a) Q2: mínima exatidão requerida igual a 0,85;
- b) Q1: exatidão requerida pelo produtor igual a 0,90;
- c) igual a 0,05 (probabilidade de aceitar o mapa com a exatidão inferior à 0,85 ou 85%);
- d) igual a 41,30 % (probabilidade de se rejeitar um mapa com exatidão superior a 0,85);
- e) número de amostras: 158;
- f) número de erros admissíveis: 16.

3) ALOCAÇÃO DAS AMOSTRAS:

Para se fazer a avaliação desse mapeamento, os pontos amostrais foram sorteados aleatoriamente, através de uma grade de 4 x 4 mm. sobre a interpretação da imagem elaborado na escala 1: 50.000. Essa grade estabeleceu uma distância mínima de 200 metros entre os pontos, considerada satisfatória para o tipo de análise efetuada.

Os pontos foram alocados ao longo de todo município, descartando-se uma grande faixa da Serra do Mar, que não apresentava outro tipo de cobertura do solo, a não ser a cobertura vegetal densa.

4) COLETA DE DADOS EM CAMPO:

Dos 158 pontos selecionados aleatoriamente, na área delimitada para avaliação da precisão do mapeamento, 90 foram claramente identificados como área não urbana com ampla cobertura vegetal.

Assim sendo, dos 158 pontos selecionados aleatoriamente, 68 foram checados através de visita ao local exato dos mesmos.

Os pontos foram localizados através de imagens de satélite, fotografias aéreas e cartas topográficas que cobriram toda a área do município, em escalas diferentes.

Determinou-se os acessos aos pontos e suas distâncias a partir de pontos de referência pré selecionados.

3.3.3 - APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE PRÉ PROCESSAMENTO E PROCESSAMENTO DOS DADOS DIGITAIS

As técnicas de pré-processamento digital e as técnicas digitais propriamente ditas selecionadas para esse trabalho, com vista a geração de produtos multitemporais de S.R. que permitissem avaliar a expansão urbana de Ubatuba, foram aplicadas sobre uma área teste do município, selecionada por concentrar um trecho com a maior ocorrência da expansão urbana.

As imagens LANDSAT/MSS de 1973, LANDSAT/TM de 1984 e 1989, e HRV/SPOT disponíveis para a aplicação das técnicas foram agrupadas da seguinte maneira:

- 1) GRUPO 1: Composição multitemporal entre as imagens TM de 1.989 e MSS de 1973 (expansão urbana entre 1973 e 1989).
- 2) GRUPO 2: Composição multitemporal entre as imagens TM de 1.989 e TM de 1.984 (expansão urbana entre 1984 e 1989).
- 3) GRUPO 3: Composição multitemporal entre as imagens TM de 1.989 e SPOT de 1.986 (expansão urbana entre 1986 e 1989).

3.3.3.1 - TÉCNICAS DE PRÉ-PROCESSAMENTO APLICADAS

As técnicas de pré processamento abaixo descritas, que compreendem registro e correção radiométrica das imagens utilizadas para produzirem as composições multitemporais são pré requisitos para a aplicação das técnicas digitais de detecção de alterações.

3.3.3.1.1 - REGISTRO ENTRE IMAGENS

Foram efetuados três registros imagem-imagem, um sobre cada par de imagens selecionados. Os registros aplicados sobre as imagens foram efetuados a partir de uma equação de mapeamento polinomial de 1ª ordem. e o algoritmo de interpolação selecionado foi o "convolução cúbica".

Esse algoritmo foi selecionado por ser considerado o mais adequado para o tipo de aplicação em áreas urbanas, além de não alterar significativamente os padrões radiométricos da imagem, como é o caso de interpoladores como o bi-linear e vizinho mais próximo.

1) REGISTRO DAS IMAGENS TM/LANDSAT 1984 E TM/LANDSAT 1989

Para a aplicação desse registro a imagem escolhida como referência foi a TM/Landsat de 1989. Foram selecionados sobre as imagens 13 pontos de controle, dos quais foram mantidos apenas 9. Após exaustiva correção dos 9 P.Cs, 5 foram utilizados na equação polinomial de mapeamento e 4 para avaliação do registro.

As resoluções espaciais das imagens mantiveram-se inalteradas já que ambas possuem resolução espacial de 30 m.

2) REGISTRO DAS IMAGENS MSS/LANDSAT 1973 E TM/LANDSAT 1989

Nesse registro, a imagem selecionada como referência foi a TM/Landsat de 1989. Assim sendo, a imagem MSS foi automaticamente reamostrada, através do interpolador convolução cúbica para pixels de 30 x 30 m. durante a aplicação do registro.

Após selecionados e corrigidos 13 pontos de controle, 6 foram eliminados e 7 mantidos. Dos 7 pontos de controle, 4 foram utilizados no mapeamento e 3 para a avaliação do mesmo.

3) REGISTRO DAS IMAGENS HRV/ SPOT 1986 E TM/LANDSAT 1989

Nesse registro a imagem selecionada como referência foi a SPOT multiespectral de 1986. Sendo a sua resolução espacial igual a 20m., a imagem TM de 1989 foi reamostrada para a mesma resolução da SPOT durante a aplicação do registro.

Foram selecionados e corrigidos 13 pontos de controle nas imagens, dos quais 5 foram eliminados e 8 mantidos. Dos 8 pontos mantidos 4 foram utilizados na equação de mapeamento e 4 utilizados para avaliação do mesmo.

3.3.3.1.2 - CORREÇÃO RADIOMÉTRICA

Aos três conjuntos de dados (MSS/LANDSAT de 1973 e TM/LANDSAT de 1989; HRV/SPOT de 1986 e TM/LANDSAT de 1989; TM/LANDSAT de 1984 e TM/LANDSAT de 1989) foram aplicadas as seguintes técnicas para se efetuar a correção radiométrica das imagens.

1) TRANSFORMAÇÃO PARA IMAGEM REFLECTÂNCIA

A técnica de transformação para imagem reflectância foi aplicada às 3 diferentes imagens segundo os algoritmos específicos implementados no SITIM-150, de acordo com as equações de Robinove (1982) e de Markhan and Barker (1987), apresentadas na seção 2.2.1.1.

Através de dados referentes aos parâmetros e condições de imageamento (ângulo de iluminação solar; distância Sol-Terra) na hora de passagem do satélite sobre a área de estudo e de dados de calibração de detetores (radiância máxima e mínima), cada algoritmo elaborado para cada sensor em questão foi capaz de gerar uma imagem reflectância a partir de uma imagem original.

Os parâmetros referentes às condições de imageamento na hora da tomada da imagem são encontrados no arquivo .GEO de cada imagem no seu formato digital.

Os coeficientes de calibração, que consideram a radiância máxima e mínima recebida pelos detetores, são obtidos em tabelas fornecidas pela NASA (no caso das imagens TM/LANDSAT E MSS/LANDSAT) e pela SPOT IMAGE (no caso de imagens SPOT/HRV) e são dependentes da data de aquisição da imagem pelo satélite.

2) MÉTODO DO MÍNIMO HISTOGRAMA

Visando corrigir as imagens dos efeitos provenientes da radiância atmosférica de trajetória, utilizou-se o método do mínimo histograma, após a transformação das imagens originais para imagem reflectância.

Áreas de reflectância nula foram selecionadas nas imagens visando-se obter o seu menor N.D.

Para o canal do vermelho (visível), a área de reflectância nula selecionada foi sombra de relevo.

Para os canais do infra-vermelho foram selecionadas águas oceânicas profundas. Os valores subtraídos de cada grupo de imagens são mostrados na Tab. 3.7 abaixo:

TABELA 3.7 - NÍVEIS DIGITAIS SUBTRAÍDOS DAS IMAGENS

	vermelho	infra-vermelho próx.
TM/1989	3	0
MSS/1973	5	1
TM/1989	3	0
TM/1984	3	0
TM/1989	3	0
SPOT/1986	6	1

Estes valores foram encontrados utilizando-se o programa "lê pixel" implementado no SITIM e as subtrações foram efetuadas através do programa "aplicação de operações aritméticas".

Através desses pré-processamentos foi possível corrigir radiometricamente as imagens, além de gerar o balanceamento entre as médias de cada conjunto de imagens, pré requisito para que se efetuem os processamentos digitais propriamente ditos entre as imagens multitemporais.

Visualmente a imagem corrigida apresenta-se um pouco mais escura e com menos brilho que a imagem original. Isso se deve a atenuação dos diversos efeitos mencionados na seção 2.2.1, que mascaram o sinal original proveniente de um alvo.

O importante é que a partir dessa correção as imagens de datas distintas passam a possuir um histograma bastante semelhante em decorrência da correção dos fatores que mascaram o sinal original transmitido pelos alvos da superfície da Terra.

3.3.3.2 - TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS UTILIZADAS

Com base na revisão bibliográfica acerca das técnicas de detecção de alterações, e em testes preliminares realizados, foram selecionadas duas técnicas para serem utilizadas neste trabalho (Sobreposição de Imagens e Imagem Diferença). Além disso, este trabalho propõe um novo procedimento para a detecção de alteração: a utilização da técnica de transformação IHS como técnica de integração e realce de produtos híbridos multitemporais. Os resultados da aplicação destas três técnicas foram comparados tendo em vista sua utilidade para o fim em questão.

As técnicas selecionadas para aplicação neste trabalho foram então as seguintes:

- 1) Técnica de Sobreposição de Imagens.
- 2) Técnica de Imagem Diferença.
- 3) Técnica de Transformação "IHS".

As técnicas de processamento digital foram aplicadas separadamente nos três pares de imagens descritos na seção 4.3.3., após a aplicação das técnicas de pré-processamento.

3.3.3.2.1 - ELIMINAÇÃO DA CLASSE ÁGUA

Como a área de estudo situa-se no litoral, grande parte da imagem selecionada é constituída pelo elemento água oceânica.

Como as imagens utilizadas foram submetidas à diferentes tipos de processamento digital, e é sabido que o elemento água comporta-se diferenciadamente frente à esses processamentos, optou-se pela eliminação dessa classe, através dos programas classificação e apaga imagem, disponíveis no SITIM-150.

Assim, para proceder a eliminação desse alvo, foram efetuadas as seguintes etapas:

1) Classificação

Foi feita a classificação pelo método do paralelepipedo da banda TM/LANDSAT no infra-vermelho próximo, onde a classe água possui reflectância nula ou quase nula, devido a forte absorvância desse comprimento de onda,

2) Apaga Imagem

Após a classificação do tema "água", o mesmo foi apagado através do programa apaga imagem disponível no SITIM-150.

Todas as outras bandas que já estavam previamente registradas, puderam ter a classe água apagada, sem ser necessária nova classificação.

Essa operação foi realizada para os três pares de imagem, da mesma maneira.

3.3.3.2.2 - TÉCNICA DE SOBREPOSIÇÃO DE IMAGENS

Estando as imagens previamente registradas e corrigidas radiometricamente, a técnica de Sobreposição de Imagens é a mais simples de ser executada e consiste em amostrar os dados sobre o sistema RGB do SITIM, acompanhada da manipulação de contraste das imagens, visando a melhor visualização das áreas alteradas.

Esta técnica foi escolhida por ser de fácil aplicação, e também para se fazer a comparação dos resultados obtidos através da aplicação da mesma e os obtidos através da técnica de transformação "IHS" aplicada.

1) SOBREPOSIÇÃO DAS IMAGENS TM DE 1989 E MSS DE 1973

A composição multitemporal formada por este par de imagens objetivou avaliar a expansão urbana ocorrida entre 1973 e 1989, assim como testar o potencial desta técnica para a geração de uma composição multitemporal com imagens provenientes de sensores e resolução espacial distintas.

A aplicação dessa técnica foi feita através das seguintes etapas:

a) Visualização das cenas no sistema "RGB"

R - banda 3 (TM/1989)
G - banda 5 (MSS/1973)
B - banda 5 (MSS/1973)

A visualização da imagem MSS/LANDSAT nos canais G e B e a imagem TM/LANDSAT no canal R, possibilitou a visualização das áreas alteradas em tonalidades de vermelho, já que a imagem TM (última data) determinará a expansão ocorrida.

b) Aplicação de GANHO e OFF-SET

A fim de melhorar a discriminação dos alvos na interpretação visual foram aplicados os seguintes ganhos e off-sets às imagens:

	GANHO	OFF-SET
R - banda 3 (TM/1989)	2,00	0
G - banda 5 (MSS/1973)	1,20	10
B - banda 5 (MSS/1973)	1,20	10

2) SOBREPOSIÇÃO DAS IMAGENS TM DE 1989 E TM DE 1984

A aplicação dessa técnica visou testar o potencial da mesma para avaliação da expansão urbana ocorrida entre as datas de 1984 e 1989.

A aplicação dessa técnica foi feita através das seguintes etapas:

a) Visualização das cenas no sistema "RGB"

R - banda 3 (TM/1989)
G - banda 3 (TM/1984)
B - banda 3 (TM/1984)

A visualização das imagens TM (banda 3) como demonstrado acima possibilitou a visualização das alterações urbanas ocorridas em tonalidades de vermelho, devido a alta reflectância dos alvos urbanos amostrados no canal "R".

b) Aplicação de GANHO e OFF-SET

Foram atribuídos os seguintes ganhos e off-sets às imagens:

	GANHO	OFF-SET
R - banda 3 (TM/1989)	2,00	0
G - banda 3 (TM/1984)	1,20	10
B - banda 3 (TM/1984)	1,20	10

3) SOBREPOSIÇÃO DAS IMAGENS TM DE 1989 E SPOT DE 1986:

Essa técnica visou testar a compatibilidade existente entre as imagens HRV/SPOT multiespectral e TM/LANDSAT para a formação de composições multitemporais e multisensor para fins de detecção de alterações em alvos urbanos, além de avaliar a expansão urbana ocorrida entre as datas das referidas imagens.

A aplicação dessa técnica foi feita através das seguintes etapas:

a) Visualização das cenas no sistema "RGB"

R - banda 3 (TM/1989)
 G - banda 2 (SPOT/1986)
 B - banda 2 (SPOT/1986)

Essa composição permitiu a visualização das alterações ocorridas em tonalidades de vermelho, já que a imagem mais recente foi amostrada no canal "R".

b) Aplicação de GANHO e OFF-SET

Visando incrementar a discriminação existente entre as áreas alteradas e não alteradas foram atribuídos os seguintes ganhos e off-sets às imagens:

	GANHO	OFF-SET
R - banda 3 (TM/1989)	2,00	0
G - banda 2 (SPOT/1986)	1,20	10
B - banda 2 (SPOT/1986)	1,20	10

3.3.3.2.3 - TÉCNICA DE IMAGEM DIFERENÇA

A técnica de Imagem Diferença foi selecionada com base em trabalhos anteriores (apresentados na revisão bibliográfica) que salientam a superioridade desta técnica frente as técnicas de Razão de Imagens e Componentes Principais, entre outras, para detecção de alterações de alvos urbanos.

1) IMAGEM DIFERENÇA 1 - (TM DE 1989 E MSS DE 1973):

Esta técnica foi aplicada obedecendo-se as seguintes etapas:

a) Imagem diferença propriamente dita

$$DX_{ij1} = X_{ij} b_3 \text{ (TM/1989)} - X_{ij} b_5 \text{ (MSS/1973)} + 128$$

onde:

DX_{ij1}.....imagem diferença 1;
 X_{ijb3} (TM/1989)...nível digital do pixel de coordenadas de linha e coluna (i,j) na banda 3 da imagem TM/1989;
 X_{ijb5} (MSS/1973)..nível digital do pixel de coordenadas de linha e coluna (i,j), na banda 5 da imagem MSS/1973;
 128.....off-set para não se produzirem níveis digitais inferiores à 0.

b) Aplicação de GANHO e OFF-SET

Foram atribuídos os seguintes ganho e off-set à DX_{ij1}:

- GANHO: 10
- OFF-SET: 30

c) Fatiamento por limiarização

Através da função "Classificação por nível de cinza" do SITIM-150, a imagem DX_{ij1} foi fatiada com os seguintes limiares:

- fatia 1: (0 - 165) classe: áreas inalteradas.
- fatia 2: (166 - 255) classe: áreas alteradas.

2) IMAGEM DIFERENÇA 2 - TM DE 1989 E TM DE 1984

A aplicação desta técnica foi dividida nas seguintes etapas:

a) Imagem diferença propriamente dita

$$DX_{ij2} = X_{ij} b_3 (TM/1989) - X_{ij} b_3 (TM/1984) + 128$$

onde:

- DX_{ij2}imagem diferença 1;
- $X_{ij} b_3 (TM/1989)$nível digital do pixel de coordenadas de linha e coluna (i,j) na banda 3 da imagem TM/1989;
- $X_{ij} b_3 (TM/1984)$nível digital do pixel de coordenadas de linha e coluna (i,j), na banda 3 da imagem TM/1984;
- 128.....off-set para não se produzirem níveis digitais inferiores à 0.

b) Aplicação de GANHO e OFF-SET

Foram atribuídos os seguintes ganho e off-set à DX_{ij2} :

- GANHO: 10
- OFF-SET: 30

c) Fatiamento por limiarização

Através da função "Classificação por nível de cinza", a imagem DX_{ij2} foi fatiada com os seguintes limiares:

- fatia 1: (0 - 195) classe: áreas inalteradas.
- fatia 2: (195 - 255) classe: áreas alteradas.

3) IMAGEM DIFERENÇA 3 - TM DE 1989 E SPOT DE 1986:

a) Imagem diferença propriamente dita

$$DX_{ij3} = X_{ij} b_3 (TM/1989) - X_{ij} b_2 (SPOT/1986) + 128$$

onde:

DX_{ij3}.....imagem diferença 3;
 X_{ijb3} (TM/1989)....nível digital do pixel de coordenadas de
 linha e coluna (i,j) na banda 3 da
 imagem TM/1989;
 X_{ijb2} (SPOT/1986)..nível digital do pixel de coordenadas
 de linha e coluna (i,j), na banda 2 da
 imagem SPOT/1986;
 128.....off-set para não se produzirem níveis
 digitais inferiores à 0.

b) Aplicação de GANHO e OFF-SET

Foram atribuídos os seguintes ganho e off-set
 à DX_{ij2}:

- GANHO: 13
- OFF-SET: 30

c) Fatiamento por limiarização

Através da função "Classificação por nível de cinza", a imagem DX_{ij3} foi fatiada com os seguintes limiares:

- fatia 1: (0 - 200) classe: áreas inalteradas.
- fatia 2: (201 - 255) classe: áreas alteradas.
- Obs 1: Ganho e off-set são atribuídos às imagens diferença, devido aos baixos valores de níveis de cinza resultantes da subtração entre duas imagens.
- Obs 2: A operação de fatiamento visa classificar as áreas alteradas e não alteradas resultantes da imagem diferença.

3.3.3.2.4 - TÉCNICA DE TRANSFORMAÇÃO "IHS"

Com base nos recursos oferecidos pela técnica de transformação "IHS", e em um dos objetivos da aplicação de técnicas de processamento digital de imagens deste trabalho, que consiste na formação de composições multitemporais de imagens digitais para detecção de alterações em alvos urbanos, desenvolveu-se um método para a aplicação dessa transformação, compatível ao objetivo acima exposto.

A transformação "IHS" desenvolvida pode ser considerada como uma sofisticação da simples técnica de "Sobreposição de Imagens" multitemporais, sendo uma inovação dentro das aplicações dessa transformação.

O objetivo é, pois, após obter as imagens sobrepostas, gerar a transformação "IHS" para se fazer a manipulação individual de suas componentes, visando aprimorar a discriminação dos alvos urbanos alterados.

Através da transformação "IHS" foram testadas maneiras de incrementar a discriminação entre as áreas urbanas e de expansão urbana entre as datas das imagens selecionadas.

O objetivo principal da aplicação dessa técnica é o de melhorar a resolução espacial do produto gerado a partir da transformação "IHS", substituindo-se a componente "I", pela imagem de superior resolução espacial, e o contraste entre áreas alteradas e não alteradas, através da manipulação da componente "S".

A componente "H" foi mantida inalterada pois refere-se a matiz (cor) da imagem. A sua manipulação alteraria a cor original da composição.

No caso de composições multitemporais feitas através de imagens de diferentes resoluções espaciais, onde a imagem de pior resolução espacial é amostrada duas vezes, predominando suas feições espaciais, faz-se a substituição da componente "I" (que agrega as informações espaciais das três bandas que originaram a composição) pela banda da imagem de superior resolução espacial. Essa substituição incorpora as feições espaciais da imagem de superior resolução espacial, sem alterar as características espectrais da composição de imagens.

Como salientado no capítulo de Revisão Bibliográfica, é necessária a existência de uma correlação espectral entre a imagem que substitui a componente "I", e as imagens originais para que não haja uma degradação da composição gerada. Essa correlação, ocorre nesse tipo de transformação que envolve apenas uma banda, com intervalo espectral aproximado (faixa do vermelho).

O procedimento de substituição da componente "I" pela imagem de superior resolução espacial, não pode, entretanto, ser adotado quando a imagem de superior resolução espacial é de data mais antiga pois integraria à composição final feições espaciais não atualizadas, o que representaria, a não discriminação das áreas alteradas, através dos atributos espaciais e texturais da imagem. Neste caso, o procedimento adotado deve ser diferente: substitui-se a componente "I", pela imagem mais recente, a fim de introduzir à composição final as feições espaciais mais recentes (facilitando a identificação das áreas alteradas), como demonstrado através do teste "IHS" 3 realizado entre as imagens HRV/SPOT e TM/LANDSAT.

1) TESTE "IHS" 1 - (TM DE 1989 E MSS DE 1973)

O objetivo desta transformação é melhorar a discriminação entre alvos urbanos alterados e não alterados através do incremento da resolução espacial e do contraste dessas feições na composição multitemporal. Como resultado espera-se obter um produto de superior qualidade que a técnica de "Sobreposição de Imagens".

A aplicação desta técnica consistiu na consecução das seguintes etapas:

a) Visualização das cenas ao sistema "RGB"

R - banda 3 (TM/1989)
G - banda 5 (MSS/1973)
B - banda 5 (MSS/1973)

b) Transformação "RGB" - "IHS"

R --- I
G --- H
B --- S

c) Substituição da componente "I", pela banda 3 (TM/1989)

I --- banda 3 (TM/1989)
H --- H
S --- S

- Obs: A substituição da componente "I" pela imagem TM/1989, na banda 3, visou atribuir à composição final, uma superior resolução espacial (proveniente da imagem TM), assim como, as feições espaciais urbanas mais atuais (1989).

d) Manipulação de contraste através da componente "S"

I --- banda 3 (TM/1989)
H --- H
S --- S + 60

- Obs: O off-set 60 adicionado à componente "S", foi selecionado após diversos testes com diferentes off-sets, por ser considerado o que melhor realçou as áreas urbanas pré-existentes e as áreas de expansão ocorrida entre as datas.

e) Transformação Inversa

banda 3 (TM/1989) --- R
 H --- G
 S + 60 --- B

A transformação inversa gera novamente uma composição "RGB" com suas feições realçadas.

2) TESTE "IHS" 2 - (TM DE 1989 E TM DE 1984):

O objetivo desta transformação é testar o incremento do contraste existente entre áreas urbanas alteradas e não alteradas da composição, através da manipulação das componentes "I" e "S".

A aplicação desta técnica consistiu na consecução das seguintes etapas:

a) Visualização das cenas ao sistema "RGB"

R - banda 3 (TM/1989)
 G - banda 3 (TM/1984)
 B - banda 3 (TM/1984)

b) Transformação "RGB" - "IHS"

R --- I
 G --- H
 B --- S

c) Substituição da componente "I", pela banda 3 (TM/1989)

I --- banda 3 (TM/1989)
 H --- H
 S --- S

- Obs: Apesar das imagens acima possuírem a mesma resolução espacial, a substituição da componente "I" pela imagem TM/1989 visou introduzir à composição final as feições espaciais urbanas mais atuais, a fim de melhor discriminar a expansão ocorrida entre as duas datas acima.

d) Manipulação de contraste, através da componente "S":

I --- banda 3 (TM/1989)
 H --- H
 S --- S + 60

- Obs: O off-set 60 adicionado à componente "S", foi selecionado após diversos testes com off-sets diferentes, por ser o que melhor realçou a expansão urbana ocorrida entre as datas acima.

3) TESTE "IHS" 3 - (TM/1989 X SPOT/1986)

O objetivo principal desta técnica é incrementar a discriminação entre alvos urbanos alterados e não alterados através da manipulação das componentes "I" e "S".

A aplicação desta técnica consistiu na consecução das seguintes etapas:

a) Visualização das cenas ao sistema "RGB"

R - banda 3 (TM/1989)
G - banda 2 (SPOT/1986)
B - banda 2 (SPOT/1986)

b) Transformação "RGB" - "IHS"

R --- I
G --- H
B --- S

c) Substituição da componente "I", pela banda 3 (TM/1989)

I --- banda 3 (TM/1989)
H --- H
S --- S

- Obs: A substituição da componente "I" pela imagem TM/1989 visou atribuir à composição final, as feições espaciais urbanas referentes à configuração urbana mais atual.

d) Manipulação de contraste através da componente "S"

I --- banda 3 (TM/1989)
H --- H
S --- S + 60

- Obs: O off-set 60 somado à componente "S", foi selecionado como o melhor, após realizados vários testes com off-sets diferentes.

3.3.4 - AVALIAÇÃO DA TÉCNICA DE PROCESSAMENTO DIGITAL

Devido a grande quantidade de técnicas de processamento digital aplicadas, foi procedida a avaliação

quantitativa de apenas uma delas, considerada a melhor qualitativamente para o objetivo proposto para o trabalho.

Essa avaliação foi feita através do S.G.I. seguindo-se as seguintes etapas de trabalho:

1) Escolha do produto para avaliação

O produto digital escolhido para mapeamento da expansão urbana ocorrida, através do Sistema de Informações Geográficas foi a transformação IHS realizada para a composição de imagens MSS/LANDSAT e TM/LANDSAT nas datas de 1973 e 1989 respectivamente. Esse par de imagens foi selecionado, pois refere-se a expansão ocorrida entre 1973 e 1989 (maior intervalo entre as datas das imagens de trabalho).

2) Escolha do produto de verdade terrestre

Como padrão de comparação para avaliação do mapeamento obtido a partir da transformação IHS, foi utilizado o mapeamento visual da expansão urbana através de datas compatíveis entre os produtos.

3) Entrada da composição multitemporal (Transformação IHS) ao SGI

a) Registro imagem x mapa

Foi feito o registro imagem-mapa da composição multitemporal proveniente da transformação "IHS" a fim de atribuir à imagem a mesma projeção cartográfica dos produtos mapeados visualmente, ou seja, UTM.

b) Codificação da imagem

Após o registro imagem-mapa, a composição multitemporal foi codificada para visualização no SIG. A codificação é resultante da aplicação de um algoritmo que obtem, a partir de uma composição colorida (RGB) ou três bandas, uma nova imagem, de apenas uma banda. Este processo é utilizado para mostrar imagens multiespectrais em sistemas com apenas 1 placa, como é o caso do SIG.

c) Digitalização das áreas de expansão urbana

Foi feita a visualização da composição multitemporal (transformação IHS) a partir da Unidade Visualizadora de Imagens e o mapeamento das feições de interesse (áreas de ocupação e expansão urbana) foi feito através da mesa digitalizadora. É um processo bastante incômodo pois exige por parte do intérprete grande esforço para sincronizar e coordenar as capacidades visuais e manuais.

O mapeamento da composição multitemporal gerou um Plano de Informação (P.I₁) contendo as informações pertinentes a expansão urbana ocorrida entre 1973 e 1989, com três classes de interesse: área urbana de 1973, área urbana de 1989 e área não urbana.

4) Sobreposição dos mapeamentos obtidos a partir dos produtos analógicos e digitais

O mapeamento obtido a partir dos produtos analógicos, considerado como verdade terrestre foi digitalizado através do SIG gerando um P.I., (P.I₂) com as mesmas classes do P.I. (P.I₁) gerado através do mapeamento obtido a partir da transformação IHS.

A sobreposição entre os P.Is 1 e 2 foi feita a partir de uma operação lógica entre as classes dos P.Is, gerando as classes descritas através da Tab. 3.8.

TABELA 3.8 - CLASSES GERADAS A PARTIR DO CRUZAMENTO ENTRE O PI1 E O PI2

CLASSE DO P.I ₁		CLASSE DO P.I ₂	CLASSE GERADA
OPER. EFETUADA			
a.u.89	E	a.u.89	a.u.89
a.u.73	E	a.u.73	a.u.73
a.nurb	E	a.nurb	a.nurb
a.u.73	E	a.u.89	erro 1
a.u.73	E	a.nurb	erro 1
a.u.89	E	a.nurb	erro 2
a.u.89	E	a.u.73	erro 2
a.nurb	E	a.u.73	erro 3
a.nurb	E	a.u.89	erro 4

As operações entre os dois P.Is foram efetuadas visando a identificação de áreas mapeadas corretamente ou incorretamente, a fim de se diagnosticar as principais fontes de erros existentes entre os dois processos de interpretação. A sobreposição dos dois P.I.s gerou as seguintes classes:

- a.u.89: área urbana mapeada correspondente a data de 1989.
- a.u.73: área urbana mapeada correspondente a data de 1973.
- a.nurb.: área mapeada como não urbana.
- erro 1: erro de omissão (área urbana de 73) no mapeamento feito a partir da transformação IHS.
- erro 2: erro de omissão (área urbana de 89) no mapeamento feito a partir da transformação IHS.

- erro 3: erro de inclusão (área urbana de 73) no mapeamento feito a partir da transformação IHS.
- erro 4: erro de inclusão (área urbana de 89) no mapeamento feito a partir da transformação IHS.

A sobreposição entre os PIs tornou possível avaliar os erros acima descritos, além de quantificar as áreas mapeadas corretas ou incorretamente.

3.3.5 - METODOLOGIA PARA SELEÇÃO DOS DADOS COMPLEMENTARES E INTEGRAÇÃO AO SIG

Para que o planejamento urbano ocorra de maneira eficiente, há de se incorporar no processo a variável ambiental cuidando que a utilização do espaço físico territorial e de seus recursos ocorra de maneira mais adequada, visando a melhoria da qualidade de vida das populações e a conservação do patrimônio natural e cultural.

Faz-se então necessária, na fase de diagnóstico, a coleta de informações básicas sobre o meio físico que definam a sua capacidade de suporte à atividade humana, além de informações acerca do uso e cobertura da terra.

A finalidade desses levantamentos é determinar o potencial e a vocação natural do espaço físico para a produção de bens e serviços que possam ser oferecidos pela região de estudo.

Assim, a utilização de mapas temáticos torna-se importante para o planejamento, pois a sua superposição auxilia na indicação de áreas geotecnicamente frágeis, dos ecossistemas que necessitam ser preservados, e da dinâmica urbana sobre o ambiente natural.

A combinação de mapeamentos temáticos e integrados, obtidos a partir de inventários e/ou dados ambientais e do meio físico, à realidade econômica e social da região, permite escolher as alternativas de usos do solo mais apropriadas.

O Sistema de Informações Geográficas - SIG, torna-se uma ferramenta importante na medida em que permite cruzar variáveis físico-territoriais, produzindo as cartas temáticas de interesse.

Para a determinação das variáveis do meio físico a serem consideradas nesse trabalho e integradas aos dados de expansão urbana, fez-se a análise dos problemas ambientais ocorrentes no município de Ubatuba, considerando também aspectos inerentes aos ambientes litorâneos.

3.3.5.1 - LEVANTAMENTO DOS PROBLEMAS AMBIENTAIS OCORRIDOS NO MUNICÍPIO DE UBATUBA

Sendo Ubatuba um município litorâneo, suas características físico-ambientais se tornam bastante complexas.

Além disso, em Ubatuba presencia-se a construção de habitações, ou grandes condomínios, nas encostas da serra do Mar, que sem nenhum critério assentam-se em áreas de declividade acentuada, sujeita a escorregamentos.

Assim faz-se necessária a disponibilidade de mapeamentos e documentos técnicos elaborados por órgãos ou profissionais competentes, que definam áreas com potenciais restritos à ocupação, identificando seus ecossistemas.

Problemas relativos aos tipos de ocupação não criteriosa ocorrem com certa frequência em Ubatuba. Esses problemas foram diagnosticados através de trabalho de campo, do conhecimento prévio do município e através do trabalho do IPT (1991). Alguns exemplos são:

1) OCUPAÇÕES EM ENCOSTAS/ÁREAS DE DECLIVIDADE ACENTUADA

Como já citado nesse trabalho, em vários pontos do município, residências ocupam encostas de declividade acentuada sujeitas à escorregamentos. Os principais pontos são: praia do Pereque-Açu; morros das Toninhas e Enseada; interior das praias: Pereque-Mirim, praia Dura, Lagoinha e Maranduba; praia da Fortaleza, Sapé, Prumirim, Picinguaba, etc.

A ocupação de encostas no município de Ubatuba se dá de quatro formas distintas:

- a) loteamentos de baixa densidade de ocupação destinado ao uso turístico de camadas de renda média e alta. Ex: Praia Vermelha e Vermelha do Sul, Praia Domingas Dias, Fortaleza, Pulso e Tenório.
- b) limites de grandes assentamentos turísticos de planície que com a escassez de terrenos planos passam a acupar as encostas lindeiras. Ex: Praia da Enseada, Toninhas e Itaguá.
- c) Setores habitacionais da população local de renda média e baixa normalmente caracterizados por expansões de assentamentos de planícies interiorizadas ou bairros internos ocupados por residências de baixo padrão e favelas.

É o mais preocupante, uma vez que as construções são conduzidas sem qualquer participação de profissionais como arquitetos e engenheiros, multiplicando perigosamente os riscos de instabilizações e escorregamentos. Ex: Sertão do Arariba, Sertão do Pereque Mirim, Bela Vista, Pedreira, Corcovado, Rio Escuro e Rio Ipiranguinha.

- d) Conjuntos habitacionais escalonados em encostas: Não oferecem tanto perigo, pois são obras caras feitas com o devido auxílio técnico, além de funcionarem como obra de contenção de encosta (IPT, 1991).

2) OCUPAÇÃO NÃO CRITERIOSA DOS ECOSISTEMAS LITORÂNEOS

Os ecossistemas litorâneos como mangues e restingas geralmente localizam-se próximos à linha de costa, em área plana. Assim, tanto sua localização, como a sua configuração topográfica atraem os empreendedores imobiliários que transformam essas regiões em áreas destinadas à ocupação residencial uni ou multi familiar. Exemplos desse fenômeno em Ubatuba são os loteamentos localizados nas praias de Itamambuca e Maranduba que assentam-se sobre área de mangue aterrado (SMA-Ubatuba; IPT).

Além disso, no que se refere a restinga, essa vegetação é a mais degradada do município, pois a ocupação urbana ocorre principalmente nesses terrenos devido a topografia plana dessas áreas e a sua proximidade da orla.

3) DESLIZAMENTOS E ESCORREGAMENTOS

Segundo o IPT (1991), constituem-se em processos de instabilidade caracterizados pelo deslizamento relativamente restrito de solos e/ou rochas nas encostas em sua disposição natural ou em taludes de corte e corpos de aterro. Em geral os escorregamentos são deflagrados por precipitações intensas, desmatamentos, aterros e terraplenagens mau executados, ou outras formas de intervenção antrópica.

A mau execução da rodovia federal BR-101 (Rio - Santos) vem ocasionando uma série de escorregamentos. Esses escorregamentos destróem todo o leito carroçavel nas áreas afetadas. Isso se deve a implantação da rodovia em local impróprio e a inexistência de obras de contenção.

4) CAIXAS DE EMPRÉSTIMO E MINERAÇÕES

As caixas de empréstimo e as minerações são outras atividades existentes no município de Ubatuba que agem, também, com total desrespeito ao meio ambiente, cortando e desmatando os morros da Serra do Mar.

5) RECALQUES DE FUNDAÇÕES

Ocorrem principalmente em áreas com presença de solos argilosos moles no subsolo em situações onde as edificações ou outras obras como aterros exigem cuidados técnicos específicos. (IPT, 1991).

As áreas sujeitas à recalques são: planícies de antigos sedimentos lagunares ou marinhos formados pela delimitação de um sistema de lagunas fechado por uma faixa de restinga; áreas de mangue, mesmo aterrados também estão sujeitos a esse processo.

6) INUNDAÇÕES

Áreas propícias às inundações localizam-se geralmente junto às várzeas de drenagens, nos mangues e nas faixas baixas entre os cordões litorâneos das planícies marinhas.

Áreas com sistemas de drenagem deficientes são também alvo de inundações. Ex: à esquerda da BR-101 (sentido Santos - Rio), onde obras interceptam as linhas de drenagem provenientes das regiões serranas.

7) CORRIDAS DE MASSA

Resultante do conjunto de movimentos gravitacionais de massa de grandes dimensões que se locomovem na forma de escoamento. Embora mais raros que escorregamentos isolados provocam danos de magnitude muito superiores devido ao seu grande poder destrutivo e extenso raio de alcance, mesmo já em áreas planas.

A catástrofe de Caraguatatuba em 1967 é um exemplo desse fenômeno.

3.3.5.2 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-AMBIENTAIS ANALISADAS

De acordo com o potencial físico do município de Ubatuba e suas características ambientais inerentes à municípios litorâneos, bem como com os problemas ambientais identificados no município idealizou-se integrar os dados de expansão urbana gerados com três tipos de dados que demonstrassem em síntese os aspectos físicos e ambientais mais relevantes do município. O objetivo foi o estabelecimento de critérios que possam nortear a ocupação urbana.

São eles:

1) ÁREAS DE PRESERVAÇÃO E CONSERVAÇÃO AMBIENTAL

Instituídas por leis, referem-se às áreas compreendidas pelos Parques Estaduais e Federais; Reservas

Ecológicas e Indígenas; Áreas Tombadas existentes no município de Ubatuba.

2) ECOSSISTEMAS LITORÂNEOS

Os ecossistemas litorâneos são aqueles que se situam na interface terra-mar, apresentando forte interação com os ecossistemas terrestres, ao mesmo tempo que sofrem influências das marés. Basicamente, em Ubatuba, referem-se aos mangues e restingas.

Devido a inexistência de trabalhos específicos que caracterizem essas áreas no município de Ubatuba e a inviabilidade de se gerar esse mapeamento para integrá-lo ao presente trabalho, esses dados não puderam ser analisados e integrados aos dados de expansão urbana gerados para o município.

O mapeamento desses ecossistemas, para uma região como Ubatuba, onde essas áreas não alcançam grandes dimensões, deve ser feito com o uso de fotografias aéreas aliadas a trabalhos de campo para a sua correta identificação.

Em Ubatuba, segundo o IPT (1991), a vegetação de restinga é a mais degradada do município devido sua localização em áreas com configuração quase plana e sua proximidade com a orla.

Áreas de mangue, conforme descrito na seção 3.3.5.1, assim como as restingas, devido à sua proximidade com a orla, vem sendo aterradas para viabilizar a implantação de novos loteamentos, como é o caso de Maranduba e Itamambuca.

3) POTENCIAL GEOTÉCNICO DO MUNICÍPIO

No que se refere ao potencial geotécnico do município, foi utilizada a carta geotécnica elaborada pelo IPT em 1991 para o município de Ubatuba, assim como seus critérios e recomendações para uma ocupação criteriosa.

A seleção das informações geotécnicas para sobreposição aos dados de expansão urbana se deu, principalmente, devido à natureza dos problemas ambientais diagnosticados no município, sempre relacionados à aspectos dos solos e sua fragilidade a determinados tipos de assentamentos e obras.

Outro aspecto importante a ser mencionado, é que apesar da inexistência de cartas com mapeamentos de ecossistemas litorâneos, a compartimentação geotécnica feita pelo IPT considerou como uma de suas classes, áreas de mangue.

Abaixo são descritas as áreas consideradas pelo IPT para geração da carta geotécnica. As definições basearam-se portanto no trabalho do IPT (1991).

a) Mangues

Localizados em terrenos baixos e planos sujeitos a inundação conforme a variação da maré. Segundo o IPT, (1991) os mangues em Ubatuba possuem capacidade de suporte superior aos mangues situados no litoral sul paulista, devido a seus sedimentos bastante arenosos.

b) Várzeas

Áreas junto às margens dos rios, constituída por terrenos baixos e planos sujeitos a inundação fluvial eventual por ocasião de enchentes. Seu nível d água está próximo à superfície ou mesmo aflorante durante boa parte do ano, estabelecendo áreas bastante encharcadas.

c) Alagadiços

Compartimento formado por antigas lagunas formadas inicialmente pelo isolamento de baías e enseadas por cordões litorâneos, colmatadas principalmente por sedimentos continentais argilosos trazidos pelos rios e encostas próximas, lançados nas lagunas por ocasião das chuvas.

d) Área sujeitas a corrida de massa

Porções da planície costeira características como passagem e deposição de material de escoamento de possíveis corridas de massa.

e) Áreas de impacto

Este compartimento delimita as faixas de baixada junto às encostas, situadas imediatamente abaixo de zonas potencialmente instáveis. Estas áreas estão sujeitas ao impacto e à deposição de materiais provenientes diretamente de escorregamentos de encostas à montante.

f) Terraços

Correspondem as áreas de baixada litorânea, constituídas por planícies de antigos sedimentos marinhos e terraços aluvionares, formados ou não por ação fluvial sobre os antigos sedimentos marinhos. São terrenos de baixa declividade mais aptos a ocupação urbana, apesar das precauções de uso a ele conferidas.

g) Corpos de talus

São formados pela acumulação de sedimentos detríticos com granulometria que varia de argila à ma-

tacões. Apresentam-se instáveis frente às modificações de sua geometria. Deve-se evitar a ocupação desses terrenos nos anfiteatros de alta e média potencialidade de geração de corridas de massa onde depósitos se localizem no caminho de passagem do material de corrida.

h) Depósitos alveolares

São constituídos por blocos e fragmentos de rocha alterada com matiz areno argilosa, podendo ser recobertos por colúvios. Apresentam declividade pouco acentuada com espessura e extensão variadas em função da morfologia do Vale.

i) Encostas suaves

Encostas com declividade inferior a 30%, menos problemáticas frente à ocupação urbana, não eliminando a ocorrência de problemas neste compartimento, em consequência, principalmente, do seu uso de forma inadequada, onde o desenvolvimento intenso dos processos erosivos é comum.

j) Encostas íngremes

Encostas com declividades entre 30 e 60%. Todos os escorregamentos observados nessas áreas são resultantes de seu uso inadequado, não só pela ocupação urbana, mas principalmente, pelas atividades de mineração.

l) Encostas muito íngremes

Encostas com declividades superiores a 60% onde se concentram os perfis retilíneos e apresentam os maiores índices de escorregamentos naturais. São impróprias ao assentamento de moradias. A execução de obras como rodovias, ferrovias, dutovias ou linhas de transmissão requerem obras e medidas de proteção e estabilização específicas.

3.3.5.3 - TIPOS DE RESTRIÇÕES CONSIDERADAS

Para a imposição de restrições e recomendações de uso foram considerados as restrições legais, além das físicas identificadas.

- 1) Restrições da legislação: setores onde leis ambientais não permitem determinados ou quaisquer tipos de ocupação.
- 2) Restrições do meio físico: Quando características do terreno levam à limitação da área passível de ser ocupada, devido ao potencial de risco. Essas áreas configuram-se portanto como áreas impróprias

a ocupação ou com restrições e recomendações pertinentes devido a inviabilidade econômica para determinados tipos e padrões de ocupação.

A partir das restrições físicas e legais oriundas da carta geotécnica do IPT, foi gerado um sub produto cartográfico, adaptação do primeiro, decorrente do agrupamento de algumas unidades geotécnicas de acordo com o seu potencial e suas restrições ao uso urbano conforme demonstrado abaixo:

a) ÁREAS COM RESTRIÇÕES TIPO I

Composta pelas áreas de terraço, encostas suaves e alagadiços, são consideradas, de acordo com o potencial geotécnico a elas conferidos, como as áreas com menor número de restrições à ocupação urbana.

Entretanto cabe à essas áreas, segundo o IPT (1991), a execução da prospecção do sub-solo para edificações de qualquer porte, considerando a possibilidade de recalques das obras projetadas; adotar soluções de fundações compatíveis com a natureza das edificações, cargas impostas e características do sub-solo; para as encostas suaves executar a proteção superficial da vegetação e sistema de drenagens nos locais já ocupados ou em processo de ocupação.

b) ÁREAS COM RESTRIÇÕES TIPO II

Composta pelas áreas de corpos de talus, depósitos alveolares e áreas de impacto, são consideradas de acordo com o potencial geotécnico a elas conferidos como áreas problemáticas à ocupação urbana, necessitando que sejam observados um maior número de recomendações para uma ocupação criteriosa, entre os quais, segundo o IPT (1991): avaliar a estabilidade das encostas à montante das áreas de impacto; não executar cortes nos pés dos depósitos de corpos de talus e executar obras de contenção adequadas (drenagens e arrimos) em cortes e taludes abaixo de 2 m.; elaborar investigações específicas do terreno voltadas à sua caracterização para fundação e implantação de infra estrutura subterrânea.

c) ÁREAS COM RESTRIÇÕES TIPO III

Composta pelas áreas de encostas íngremes e muito íngremes, são consideradas devido a sua declividade, superiores a 30%, como áreas proibidas ao parcelamento do solo (de acordo com a lei 6766/79), salvo se atendidas exigências específicas, que devem impor a obediência de rigorosos critérios de ocupação para que consequências danosas resultantes de escorregamentos e deslizamentos sejam evitados, entre as quais, segundo o IPT (1991): evitar terraplenagens excessivas; proteger contra a erosão áreas terrapla-

nadas exatamente após a sua execução; evitar o escoamento de grandes volumes d'água no leito das ruas, lançando em drenagem natural.

d) ÁREAS COM RESTRIÇÕES TIPO IV

Composta pelas áreas de mangue, várzeas e áreas de corrida de massa, são consideradas áreas não ocupáveis de acordo com a legislação que proíbe a ocupação em áreas de mangue e de várzeas, e devido ao alto risco em se ocupar áreas de corrida de massa. Áreas de corrida de massa já ocupadas, segundo o IPT (1991), merecem a execução de estudos que permitam optar entre a implantação de obras contra possíveis corridas, o que inclui a remoção de moradias em situação mais crítica.

3.3.6 - INTEGRAÇÃO DOS DADOS DE EXPANSÃO URBANA E DADOS GEOTÉCNICOS ATRAVÉS DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

De acordo com um dos objetivos deste trabalho, que consiste na elaboração de uma metodologia para monitoramento da expansão urbana em ambientes litorâneos, e na obtenção de dados que caracterizem o ambiente físico litorâneo e sua forma de ocupação, foram utilizados dados que analisados juntamente com o mapeamento das áreas de ocupação urbana, geram subsídios para orientar uma ocupação mais criteriosa.

A integração dos dados através do SIG foi feita objetivando-se gerar dois tipos de produtos cartográficos:

- 1) O primeiro, indicativo da expansão urbana ocorrida no período de 1973 à 1989. Para gerar esse produto foram utilizados os seguintes mapeamentos elaborados de acordo com a metodologia apresentada na seção 3.3.2.
 - a) mapeamento da ocupação urbana em 1.973;
 - b) mapeamento da ocupação urbana em 1.979;
 - c) mapeamento da ocupação urbana em 1.984;
 - d) mapeamento da ocupação urbana em 1.989.

Esses mapeamentos foram digitalizados formando-se um Plano de Informação (PI), dentro do SIG que continha as informações da expansão urbana ocorrida entre essas datas.

P.Is (planos de informações) complementares foram gerados, contendo informações sobre as principais drenagens e estradas do município.

- 2) O segundo, indicativo da compatibilidade do uso urbano atual, com o potencial geotécnico do terreno.

Para se gerar esse produto foram utilizados os seguintes mapeamentos:

- a) mapeamento da ocupação urbana em 1989;
- b) dados da carta geotécnica elaborada pelo IPT (1991), adaptados para os fins deste trabalho;
- c) dados da carta de Unidades de Preservação elaborada pelo IPT (1991).

A entrada e manipulação dos dados no Sistema de Informações Geográficas, para geração das cartas de expansão urbana e de potencial geotécnico do município, contou com as seguintes etapas de trabalho:

- DIGITALIZAÇÃO DOS PLANOS DE INFORMAÇÕES: foi feita através da função "Entrada de Áreas".
- AJUSTE DE LINHAS DOS PIs: fase onde foram eliminados todos os erros provenientes da digitalização. A existência de algum erro impossibilita a consecução das etapas seguintes.
- DETERMINAÇÃO DAS CLASSES DE CADA PI: foi feita através da inserção de "centróides" com índices diferenciados.
- POLIGONALIZAÇÃO DOS PIs: consiste no reconhecimento dos polígonos criados em função dos índices dos centróides a eles conferidos.
- GERAÇÃO DE CARTAS: consiste na diagramação dos PIs que comporão as cartas com suas respectivas legendas e demais informações necessárias, para posterior impressão dos dados.
- IMPRESSÃO DAS CARTAS: foi feita através da impressora VERSATEC, disponível no Laboratório de Geoprocessamento da UNIVAP.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS OBTIDOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos de todas as etapas de trabalho formuladas.

4.1 - INTERPRETAÇÃO VISUAL DOS DADOS

Levando-se em consideração que a resolução espacial das imagens de satélite é fator determinante no sucesso de mapeamentos de áreas urbanas, os mapeamentos elaborados com as imagens transparências positivas MSS requereram procedimentos mais refinados, como é demonstrado abaixo, do que os elaborados com produtos TM, afim de minimizar as deficiências geradas através do mapeamento de áreas urbanas com produtos de baixa resolução espacial.

4.1.1 - INTERPRETAÇÃO VISUAL DOS PRODUTOS MSS

A metodologia utilizada para a elaboração dos mapeamentos visuais de áreas urbanas através de imagens transparências MSS, com o auxílio de fotografias aéreas gerou bons resultados, devido aos fatores abaixo mencionados.

A resolução espacial proveniente do sensor MSS não permitiu o mapeamento seguro das áreas urbanas, gerando dúvidas de caráter espacial dos alvos presentes na imagem. A falta de atributos espaciais e texturais no produto MSS não possibilitou a identificação de rodovias e ruas, elementos essenciais na classificação de um alvo urbano. Áreas de solo exposto, novos loteamentos e áreas de urbanização recente apareceram com o mesmo padrão espectral e textural.

O elemento principal de identificação dos alvos urbanos nessas imagens, foi o espectral, através das tonalidades claras em que aparecem esses alvos na banda do vermelho.

A utilização paralela de fotografias aéreas, em datas compatíveis às datas das imagens, mesmo sendo essas em escalas distintas do mapeamento elaborado, como elemento auxiliar, tornou possível a identificação correta das áreas urbanas, frente as áreas desmatadas e solo exposto. A resolução espacial e a escala das fotografias utilizadas permitiram a separabilidade das áreas urbanas e não urbanas através da identificação de ruas, casas e outros elementos peculiares à áreas urbanas e identificáveis em fotografias aéreas, que foram então traçadas utilizando-se a imagem.

Assim sendo, a metodologia apresentada para o mapeamento das áreas urbanas de 1973 e 1979, foi considerada satisfatória, tirando proveito dos produtos de senso

riamento remoto orbital (MSS/LANDSAT) e aeronave disponíveis (fotografias aéreas), que tornaram esse mapeamento mais eficaz.

Através do uso dessa metodologia tornou-se dispensável a avaliação desses mapeamentos, mesmo porque os dados de verdade terrestre disponíveis (fotografias aéreas), haviam sido incorporados aos mesmos.

Vale salientar, entretanto, que a interpretação de áreas urbanas a partir de dados MSS seria bastante imprecisa e subjetiva sem o auxílio de fotografias aéreas, devido a sua baixa resolução espacial que resulta na ausência de elementos significantes (feições espaciais e texturais) para o mapeamento de áreas urbanas.

4.1.2 - INTERPRETAÇÃO VISUAL DOS PRODUTOS TM

As interpretações visuais elaboradas através das imagens transparências positivas TM (banda 3) não contaram com a utilização de fotografias aéreas como elemento auxiliar na discriminação de alvos urbanos como foi o caso do mapeamento realizado com as transparências MSS.

Neste caso, a resolução espacial do sensor TM (30 m.), bem mais fina que do sensor MSS, incorporou à imagem atributos espaciais e texturais que possibilitaram com maior facilidade a identificação de alvos urbanos. Ainda assim, a interpretação desses dados requereu cuidados especiais por parte do intérprete na demarcação correta de áreas urbanas. Novos loteamentos confundiram-se com áreas desmatadas, e solo exposto. Essas áreas com padrões de reflectância semelhantes aos de alvos urbanos geraram confusão na discriminação correta dos alvos. Os atributos espaciais e de textura existentes nessa imagem facilitaram bastante o mapeamento da maioria dos alvos urbanos existentes nas imagens. As áreas urbanas mapeadas erroneamente, devido aos motivos acima expostos, foram corrigidas com base na distinção desses alvos, definidos através do sobrevôo realizado sobre o município de Ubatuba.

Os produtos orbitais LANDSAT/TM foram considerados bastante superiores aos produtos LANDSAT/MSS para a interpretação das áreas urbanas devido à sua resolução espacial mais fina que incorporam feições espaciais e texturais importantes para a definição desses alvos.

Para o mapeamento resultante da interpretação visual da imagem de 1984 não foi possível de se proceder a avaliação do mapeamento, devido a inexistência de dados de verdade terrestre nesta data.

Assim, a avaliação de mapeamento foi procedida apenas para o mapeamento realizado para a data de 1989, conforme descrito na metodologia.

4.1.2.1 - AVALIAÇÃO DO MAPEAMENTO VISUAL DO PRODUTO TM/LANDSAT (1989)

O mapeamento elaborado apresentou a exatidão de 0,85 (requerida pelo produtor), pois o número de erros encontrado estava abaixo do limite admissível para o tamanho da amostragem selecionada e a exatidão requerida.

Dos 158 pontos selecionados e checados, apenas 3 foram mapeados incorretamente.

Esses pontos foram mapeados erroneamente (como área não urbana) e localizavam-se em loteamentos de ocupação esparsa, com ampla cobertura vegetal intra urbana e de entorno, o que dificultou o seu correto mapeamento como áreas urbanizadas.

4.2 - PRÉ PROCESSAMENTO DOS DADOS

4.2.1 - REGISTROS DAS IMAGENS MULTITEMPORAIS

Os resultados dos registros efetuados entre os três pares de imagens foram considerados bastante satisfatórios. Todos os erros obtidos foram inferiores aos limites estipulados, que para a escala de trabalho utilizada, 1:50.000, deve ser inferior à 20,0 m.

1) REGISTRO 1 - Imagens MSS 1973 X TM 1989

Os erros obtidos foram são descritos através da Tab. 4.1 abaixo.

TABELA 4.1 - ERROS RESULTANTES DA APLICAÇÃO DO REGISTRO ENTRE AS IMAGENS MSS/1973 E TM/1989

	horiz.	vert.	total
PONTOS UTIL. NO POLINOMIO	0,161	0,248	0,296
PONTOS Ñ. UTIL.NO POLINOMIO	0,240	0,245	0,343

Os números acima demonstram que o resultado deste registro foi considerado bastante satisfatório, pois a resolução espacial da imagem MSS não permitiu uma identificação precisa dos pontos de controle correspondentes aos identificados na imagem referência, neste caso, a TM.

Após a aplicação do registro a imagem MSS com resolução espacial original de 80 m., foi reamostrada para a mesma resolução espacial da imagem TM (30 m).

Evidentemente a reamostragem da imagem MSS de 80 m. para 30 m não incorporou à mesma, as feições espaciais e texturais inerentes à imagem TM, permanecendo uma imagem de menor qualidade para interpretação do que a TM/LANDSAT (para áreas urbanas).

2) REGISTRO 2 - Imagens TM 1984 X TM 1989

O erro interno, tanto para os pontos utilizados no mapeamento, como para os não utilizados foi igual a "0", vide Tab. 4.2.

TABELA 4.2 - ERROS RESULTANTES DA APLICAÇÃO DO REGISTRO ENTRE AS IMAGENS TM/1984 E TM/1989

	horiz.	vert.	total
PONTOS UTIL. NO POLINOMIO	0,00	0,00	0,00
PONTOS Ñ. UTIL.NO POLINOMIO	0,00	0,00	0,00

Este registro visou apenas tornar coincidentes os pixels de ambas as imagens acima, já que ambas as imagens possuem a mesma resolução espacial.

Após exaustivo teste e treinamento dos PCs chegou-se a um grupo dos mesmos, cuja combinação feita com pontos utilizados e não utilizados no mapeamento gerou o resultado acima descrito.

3) REGISTRO 3 - Imagens SPOT 1986 X TM 1989

Os erros obtidos foram são descritos através da Tab. 4.3 abaixo.

TABELA 4.3 - ERROS RESULTANTES DA APLICAÇÃO DO REGISTRO ENTRE AS IMAGENS SPOT/1986 E TM/1989

	horiz.	vert.	total
PONTOS UTIL. NO POLINOMIO	0,253	0,042	0,257
PONTOS Ñ. UTIL. NO POLINOMIO	0,107	0,237	0,260

Esse registro, que considerou como imagem referência, a SPOT multiespectral com resolução espacial de 20 m., gerou resultados satisfatórios demonstrados através dos erros acima expostos.

A imagem TM registrada à SPOT foi reamostrada para pixels de 20 m. x 20 m., através do algoritmo "convolução cúbica".

Vale salientar que o erro cartográfico admitido, ao se trabalhar na escala 1: 50.000 é de 25,0 m. no terreno, o que representa 0,31 pixel para imagens MSS/LANDSAT; 0,83 pixel para imagens TM/LANDSAT e 1,25 pixels para imagens HRV/SPOT no seu modo multiespectral.

4.2.2 - CORREÇÃO RADIOMÉTRICA

Os resultados das transformações para imagem reflectância e da aplicação do método do mínimo histograma, com finalidade de corrigir radiometricamente as imagens e gerar um balanceamento entre médias, apresentaram-se de maneira geral bons.

1) IMAGENS TM DE 1989 E MSS DE 1973

Apesar das imagens em questão apresentarem características bastante diferentes, a metodologia utilizada para correção radiométrica gerou bons resultados, como demonstram os valores obtidos para as médias, listados na Tab. 4.4 abaixo.

TABELA 4.4 - MÉDIAS OBTIDAS PARA AS IMAGENS MSS/1973 E TM/1989 APÓS A CORREÇÃO RADIOMÉTRICA

	MSS/1973		TM/1989	
	banda 5	banda 6	banda 3	banda 4
média	17,50	22,20	16,90	21,20

2) IMAGENS TM DE 1989 E TM DE 1984

Para esse par de imagens o resultado da transformação seguido do método do mínimo histograma foi o melhor. Os histogramas e médias das imagens apresentaram-se bastante semelhantes. As médias das imagens obtidas após os ajustes de off-sets são demonstradas na Tab. 4.5 abaixo.

TABELA 4.5 - MÉDIAS OBTIDAS PARA AS IMAGENS TM/1984 E TM/1989 APÓS A CORREÇÃO RADIOMÉTRICA

	TM/1984		TM/1989	
	banda 3	banda 4	banda 3	banda 4
média	16,40	20,8	16,90	21,20

3) IMAGENS TM DE 1989 E SPOT DE 1986

A metodologia aplicada sobre esse par de imagens não gerou resultados tão satisfatórios quanto os anteriores. Para o canal do vermelho, os histogramas se mostraram semelhantes, havendo no entanto uma variação de off-set. Para o canal do infra-vermelho próximo as diferenças encontradas se referiam tanto na variação de off-set, como ganho das imagens. As médias das imagens, btidas após os ajustes de off-sets são demonstradas na Tab. 4.6 baixo.

TABELA 4.6- MÉDIAS OBTIDAS PARA AS IMAGENS SPOT/1986 E TM/1989 APÓS A CORREÇÃO RADIOMÉTRICA

	SPOT/1986		TM/1989	
	banda 2	banda 3	banda 3	banda 4
média	17,40	27,00	16,20	19,70

A diferença encontrada se deve ao fato dos canais do infra vermelho próximo, dos sensores TM e HRV, serem provenientes de intervalos espectrais distintos (TM: 790 à 890 nm; HRV: 760 à 900 nm). Essa diferença altera a reflectância dos alvos, gerando imagens com brilho diferente, resultando em médias também distintas.

4.2.3 - APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DIGITAIS4.2.3.1 - SOBREPOSIÇÃO DE IMAGENS

Foi visto que a técnica digital de sobreposição de imagens, com o objetivo de detectar alterações urbanas entre cenas de datas diferentes consiste na simples sobreposição dessas cenas, previamente registradas ao sistema RGB do SITIM.

Como essas alterações são identificadas a partir da variação de reflectância do alvo, utiliza-se somente bandas iguais, fazendo com que os alvos de interesse apresentem o mesmo padrão de resposta espectral.

As sobreposições de imagens geraram bons resultados devido também ao bom resultado obtido através dos registros de imagens e das correções radiométricas efetuadas.

Os resultados obtidos foram semelhantes aos obtidos por Oliveira et al. (1984), Foresti et al. (1984) que utilizaram a técnica para avaliar a expansão urbana ocorrida em Brasília de 1973 a 1983.

Áreas em vermelho demonstram a expansão urbana ocorrida entre as datas, enquanto que as áreas em cyan representam áreas que não sofreram alteração. Vide Figuras 4.1, 4.2 e 4.3.

1) SOBREPOSIÇÃO DE IMAGENS TM/1989 x MSS/1973

Essa sobreposição, por ter sido efetuada entre as imagens de datas mais afastadas, é a que representou melhor (com maior nitidez) as alterações ocorridas, conforme demonstrado através da Figura 4.1.

Através dos ganhos e off-sets aplicados ao canal R,G e B incrementou-se o poder de visualização das alterações ocorridas.

Um ponto negativo nessa sobreposição, é que devido as imagens MSS estarem amostradas em dois canais (G e B) predominou a sua resolução espacial, que apesar de reamostrada para pixels de 30 x 30 m., não apresenta o mesmo nível de detalhamento que apresenta as imagens TM.



Fig. 4.1 - Sobreposição das Imagens LANDSAT/TM (1989) e LANDSAT/MSS (1973).

2) SOBREPOSIÇÃO DE IMAGENS TM/1989 x TM/1984

Sob o aspecto de visualização de detalhes espaciais e melhor nitidez da área urbana, essa sobreposição apresentou resultados melhores que a sobreposição TMxMSS,

devido a própria resolução espacial das imagens TM, superior a da imagem MSS. Porém, devido a proximidade entre as datas dessas imagens e a pequena expansão urbana ocorrida tornou-se difícil a visualização das alterações ocorridas. Vide Figura 4.2.

Os ganhos e off-sets aplicados melhoraram a visualização das áreas alteradas.

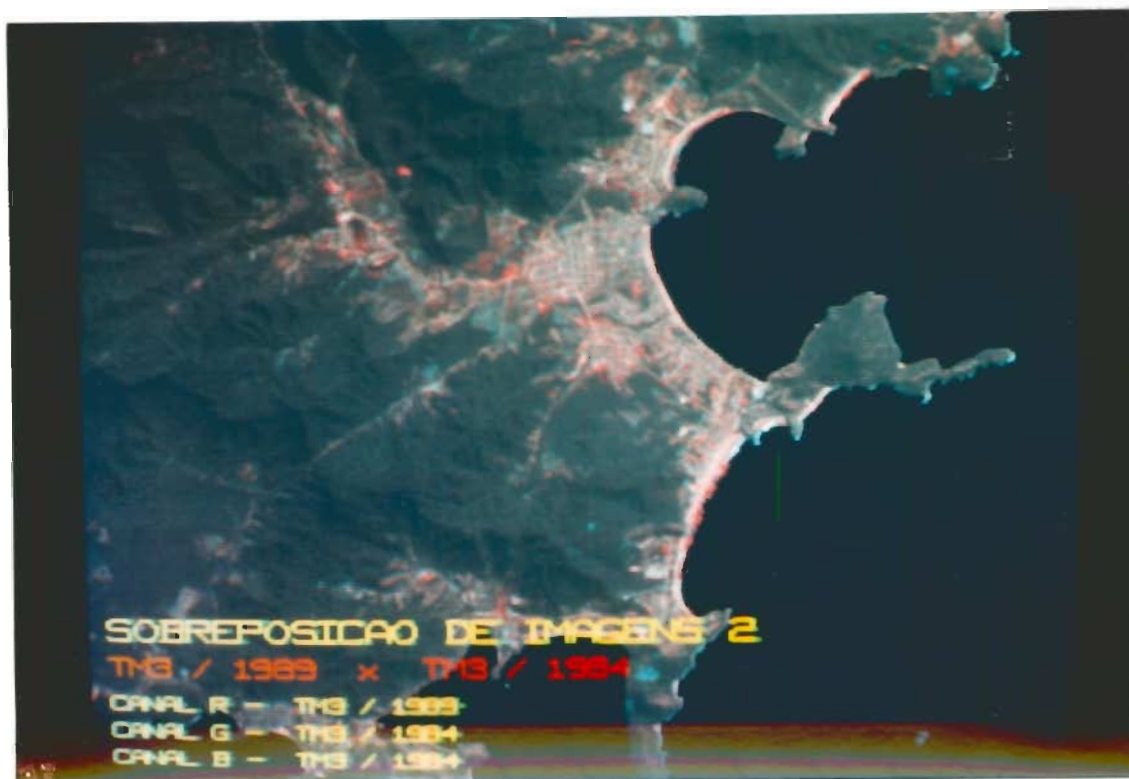


Fig. 4.2 - Sobreposição entre as Imagens TM/LANDSAT (1984) e TM/LANDSAT (1989).

3) SOBREPOSIÇÃO DE IMAGENS TM/1989 x SPOT/1986

Apesar do detalhamento de áreas urbanas e da escala obtida através da melhor resolução espacial da imagem SPOT multiespectral, essa sobreposição não gerou bons resultados, devido a proximidade entre as datas utilizadas. As alterações ocorridas não foram significantes a ponto de demonstrar a eficiência da técnica. Vide Figura 4.3.

A escala de trabalho das imagens digitais, proporcionada pela sua resolução espacial não permite diagnosticar pequenas alterações, como é o caso das existentes entre imagens de datas próximas, no caso de Ubatuba.

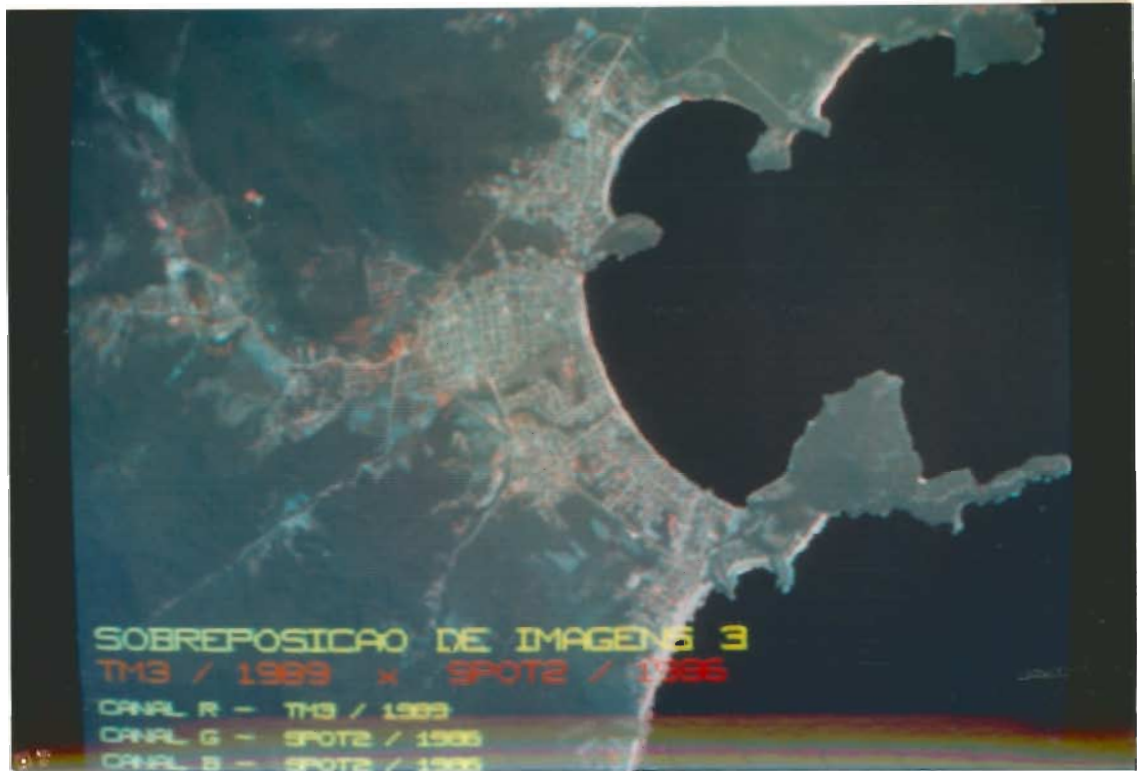


Fig. 4.3 - Sobreposição entre as Imagens TM/LANDSAT (1989) e HRV/SPOT (1986).

4.2.3.2 - IMAGEM DIFERENÇA

Esta técnica foi considerada como a que menos se adequou aos propósitos do trabalho, por ser a que gerou menor quantidade de informações relativas as áreas urbanas alteradas e não alteradas.

Esse fenômeno se dá justamente devido as características do produto final da imagem diferença, que é uma imagem temática.

Através das figuras 4.4, 4.5 e 4.6 são mostrados os resultados da aplicação dessa técnica. Áreas em amarelo caracterizam as áreas alteradas, enquanto que as em vermelho representam as áreas que não sofreram alteração.

Assim, feições importantes à análise de alterações urbanas, como por ex: padrões de textura e informações do meio físico não são visualizadas, como nos casos da "Sobreposição de Imagens" e "Transformação IHS", os quais muitas vezes definem e facilitam a análise das alterações ocorridas, assim como a natureza dos alvos alterados.

A utilização desta técnica, assim como os resultados obtidos através da mesma no presente trabalho, colocam em dúvida os resultados salientados por diversos autores.

Através da revisão bibliográfica foi demonstrado que vários autores chegaram a bons resultados com a utilização desta técnica para avaliar as alterações ocorridas em meio ambiente urbano.

A principal desvantagem identificada através da aplicação desta técnica é a visualização das alterações ocorridas. Ao se gerar uma imagem temática (classificada em temas com cores distintas), é feita a separação das classes alteradas e não alteradas com base na variação de refletância sofrida pelos alvos existentes na cena. Nestes termos, a classificação de uma imagem gera a perda das informações texturais da imagem, que no caso de áreas urbanas são elementos essenciais para o auxílio da identificação do tipo e origem das alterações ocorridas.

Em ambientes em que a informação textural não se apresente como um dos principais aspectos para análise das alterações ocorridas entre imagens multitemporais, espera-se um melhor resultados para a aplicação desta técnica.

1) IMAGEM DIFERENÇA TM DE 1989 E MSS DE 1973

Da mesma maneira que na aplicação das outras técnicas para esse período, esse par de imagens, devido ao intervalo de 16 anos, é o que permitiu a melhor visualização entre as áreas alteradas e não alteradas, apesar das limitações da mesma para o objetivo proposto.



Fig. 4.4 - Imagem Diferença entre as imagens TM/LANDSAT e MSS/LANDSAT.

A Figura 4.4. mostra o produto gerado através da Imagem diferença. À esquerda a Imagem Diferença entre os canais do vermelho das duas imagens. À direita um teste efetuado com Imagem Diferença entre as razões (vermelho/infra vermelho próximo) das duas imagens demonstra o péssimo resultado para detecção de alterações em alvos urbanos.

2) IMAGEM DIFERENÇA TM DE 1989 E TM DE 1984

A proximidade entre as datas desse par de imagens, fez com que as alterações ocorridas entre as datas não fossem significativas, dificultando a avaliação do seu potencial.

3) IMAGEM DIFERENÇA TM DE 1989 E SPOT DE 1986

A imagem diferença executada sobre o par de imagens TM x SPOT, obteve resultados próximos aos obtidos com o par de imagens TM, devido a proximidade entre as datas das imagens analisadas. Como nos demais casos da aplicação desta técnica o produto gerado apresentou limitações para análise e conhecimento das alterações ocorridas.

4.2.3.3 - TRANSFORMAÇÃO "IHS"

A técnica de transformação IHS foi aplicada sobre os 3 pares de imagens visando incrementar a visualização das áreas alteradas geradas através da sobreposição de imagens, quer através do seu realce de contraste, quer através do incremento da sua resolução espacial.

O resultado da utilização desta técnica, que contou com um procedimento inédito para aplicação em detecção de alterações em áreas urbanas através de composições multitemporais, geraram, em síntese resultados satisfatórios e semelhantes aos obtidos através de aplicações usuais desta técnica.

Através de procedimentos usuais que integram imagens multiespectrais com uma imagem pancromática de superior resolução espacial, diversos autores como Haydn (1982), Dutra (1988), Brum (1989), Oliveira e Ii (1989) e Kurkdjian (1990) salientam que as composições finais geradas através da transformação IHS geraram produtos com feições espaciais e espectrais realçadas.

Do mesmo modo, apesar da abordagem diferenciada, os resultados aqui apresentados demonstram clara superioridade da utilização desta técnica frente a simples sobreposição de imagens, pois as feições espaciais e espectrais se mostram mais realçadas.

1) "IHS" ENTRE AS IMAGENS TM DE 1989 E MSS DE 1973

O resultado dessa transformação "IHS" foi o que melhor provou os propósitos da técnica. Devido serem as imagens originais TM e MSS de diferentes resoluções espaciais, essa técnica possibilitou o incremento tanto espacial quanto de realce de contraste para o produto gerado, conforme demonstrado através da Figura 4.5.

A componente "I" agregou numa única banda os principais detalhes espaciais das 3 bandas inicialmente amostradas no sistema RGB. Essa componente (I), demonstrou claramente a predominância das feições espaciais da imagem MSS em detrimento da feições do TM, por ter sido essa imagem amostrada apenas em 1 canal (R), enquanto que a MSS foi amostrada em dois canais (G+B).

A substituição da componente "I" pela banda 3 da imagem TM/1989, além de incrementar os detalhes espaciais (referentes a malha viária), incorporou à composição final a configuração atual da malha viária urbana, o que realçou a expansão urbana ocorrida entre 73 e 89, também através de feições espaciais.

Essa composição proporcionou a melhor visualização das alterações ocorridas facilitando o mapeamento da expansão urbana, visualizadas através das áreas com coloração avermelhada.

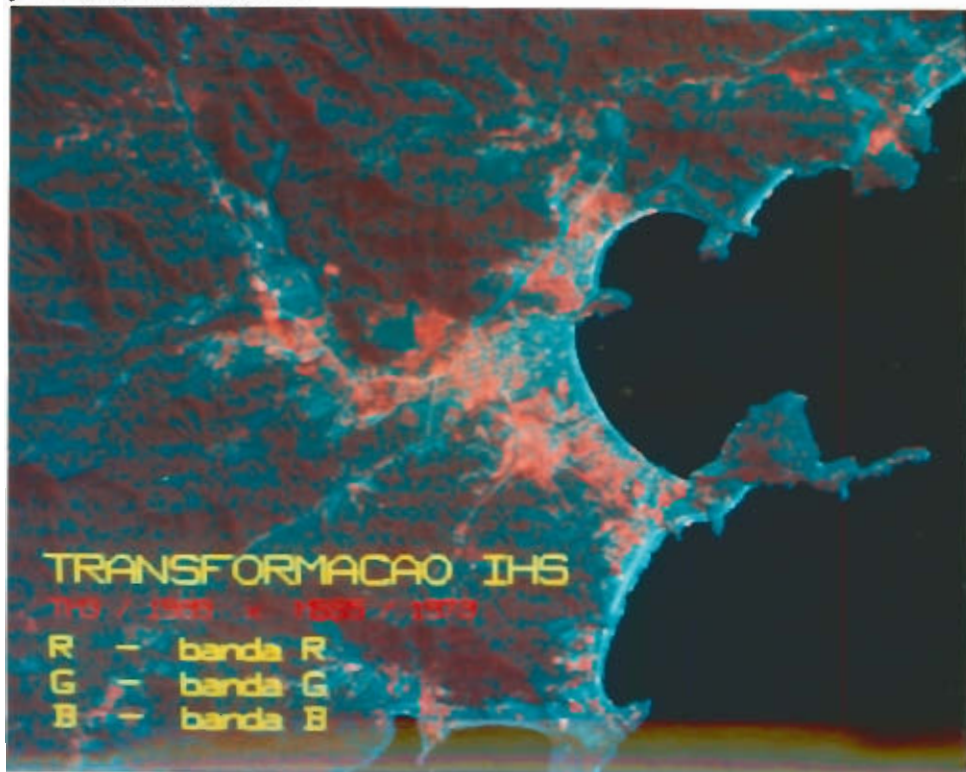


Fig. 4.5 - Transformação "IHS" entre as imagens TM/LANDSAT e MSS/LANDSAT.

2) "IHS" ENTRE AS IMAGENS TM DE 1989 E TM DE 1984

A transformação "IHS" efetuada sobre o par de imagens TM xTM, teve por objetivo apenas realçar o contraste entre áreas alteradas e não alteradas da composição, através da componente "S". Vide Figura 4.6.

Não seria necessária a substituição da componente "I", visto que as imagens objetos dessa integração possuem a mesma resolução.

Porém, para que as feições espaciais predominantes da composição fossem referentes às feições urbanas mais atuais (1989), a componente "I", foi então substituída pela imagem TM/1989.

Como resultado foi obtida uma imagem de contraste superior entre as áreas alteradas e não alteradas e com grande nitidez das feições urbanas mais atuais.

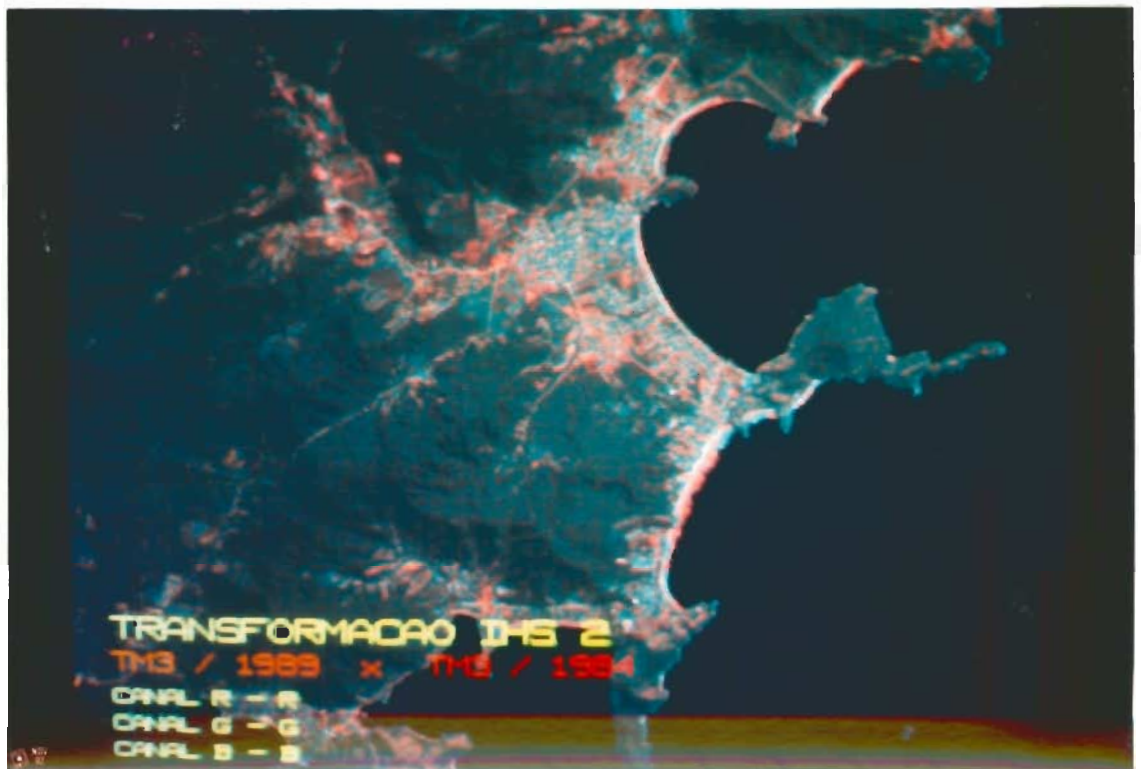


Fig. 4.6 - Transformação "IHS" entre as imagens TM/LANDSAT e TM/LANDSAT.

3) "IHS" ENTRE AS IMAGENS TM DE 1989 E SPOT DE 1986

A integração ideal entre esse par de imagens teria ocorrido se a imagem proveniente do sensor HRV/Spot se referisse a data mais atual. Isso porque através da imagem SPOT seria possível manter a configuração espacial da

imagem referente a data mais atual, aliada a sua superior resolução espacial.

Neste caso, como a imagem TM/Landsat era a mais recente fez-se a integração da mesma através da substituição da componente "I". O resultado dessa transformação possibilitou constatar que a componente "I" deve ser substituída pela imagem de data mais recente, a fim de que as feições realçadas identifiquem nitidamente as áreas de expansão urbana e áreas urbanas alteradas, provenientes da última data.

Assim, como as outras transformações "IHS" realizadas, nota-se a superioridade dessa técnica frente a sobreposição de imagens na identificação de áreas alteradas, decorrente do contraste alcançado entre as áreas alteradas e não alteradas.

Áreas de expansão ou alteração urbana ocorridas não foram bem discriminadas, devido à proximidade entre as datas das imagens e à pequena expansão ocorrida. Vide Figura 4.7.



Fig. 4.7 - Transformação "IHS" entre as imagens TM/LANDSAT e HRV/SPOT.

4.2.3.4 - COMPARAÇÃO ENTRE AS TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS EFETUADAS

Através das três transformações "IHS" geradas foi possível verificar claramente a superioridade desta técnica frente à simples "Sobreposição de Imagens" e "Imagem Diferença".

O caso que melhor exemplifica essa afirmação, é sem dúvida, a transformação efetuada sobre o par de imagens TM/LANDSAT e MSS/LANDSAT. Neste caso, devido a diferença entre as resoluções espaciais das imagens, foi possível verificar claramente o incremento das feições espaciais na composição gerada. A comparação entre a técnica de Sobreposição de Imagens e Transformação IHS é demonstrada através da Figura 4.8.

Através da manipulação da componente "S", foi possível gerar também uma composição mais realçada, onde as áreas alteradas são melhor discriminadas.

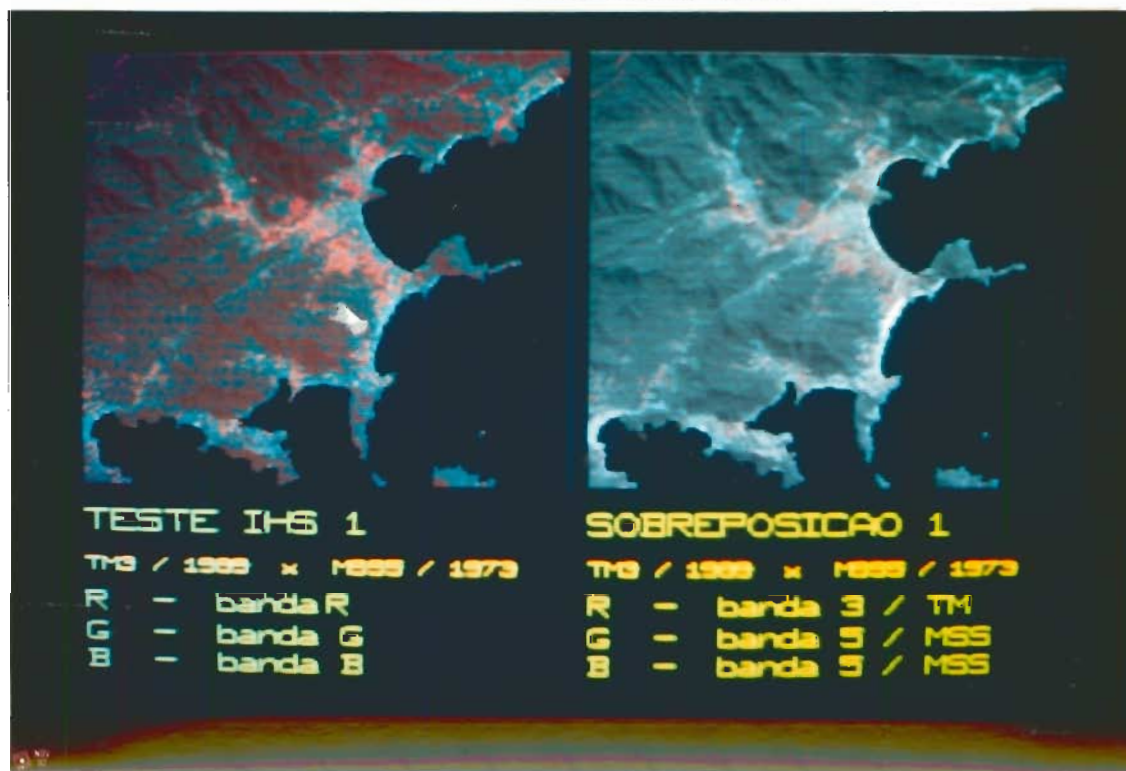


Fig. 4.8 - Comparação entre a transformação IHS e a sobreposição de imagens.

Nos outros dois testes efetuados (TM/LANDSAT 1984 e TM/LANDSAT 1989; TM/LANDSAT 1984 e HRV/SPOT), notou-se a superioridade de contraste das composições submetidas a transformação "IHS", frente à simples "Sobreposição de Imagens".

As aplicações feitas através da técnica de Imagem Diferença, mostram que os resultados desta técnica não apresentaram bons resultados quando comparados com a técnica de Transformação "IHS" ou à Sobreposição de Imagens. Além de basear-se em testes empíricos para fatiamento do histograma da Imagem Diferença, o produto gerado é uma imagem temática, onde a ausência de atributos espaciais e espectrais dificultam a análise e a compreensão das alterações ocorridas.

1) A MELHOR TÉCNICA APLICADA

A transformação "IHS" feita entre imagens MSS/LANDSAT de 1973 e TM/LANDSAT de 1989 foi a que gerou melhores resultados para o objetivo proposto do presente trabalho. A integração de produtos híbridos para avaliação da expansão urbana gera melhores resultados se a imagem de superior resolução espacial é mais recente. Isso significa que haverá o incremento da resolução espacial da composição através da substituição da componente "I", pela imagem mais atual e de superior resolução, incorporando também à mesma, as feições espaciais urbanas mais recentes.

Por este motivo, considera-se que a imagem de superior resolução espacial, seja também a mais atual.

No que se refere aos realces de contraste efetuados a partir da componente "S", essa questão é indiferente.

Como resultado dessa transformação, obtemos uma composição onde as feições espaciais responsáveis pelo melhor detalhamento de áreas urbanas é dependente da imagem mais atual e de superior resolução espacial. Tomando-se o exemplo da transformação "IHS" efetuada entre as imagens TM e MSS verifica-se que a composição final, apesar de originariamente ter sido montada com 2 bandas MSS e apenas 1 TM, as feições espaciais predominantes são provenientes da banda 3 do TM.

Exemplos semelhantes podem ser efetuados com imagens TM x SPOT (P); TM x Fotografia Aérea; SPOT x Fotografia Aérea, ou qualquer outro par de dados digitais de bandas correlacionadas, adotando-se como imagem de superior resolução espacial, a imagem mais atual.

4.2.3.5 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO MAPEAMENTO OBTIDO A PARTIR DA DA TÉCNICA DE TRANSFORMAÇÃO IHS

A comparação efetuada através da sobreposição entre o mapeamento da expansão urbana dos produtos visuais e digitais de Sensoriamento Remoto, ocorrida entre 1973 e

1989 gerou os resultados demonstrados através da Tab. 4.7, referentes ao cálculo das áreas consideradas nos mapeamentos:

TABELA 4.7 - CÁLCULO DAS ÁREAS MAPEADAS A PARTIR DOS PRODUTO DIGITAL E VISUAL

	P. DIGITAL (km ²)	P. VISUAL (km ²)
área urbana de 1973	4,00	3,87
área urbana de 1989	11,52	13,35
área de expansão urbana	7,52	9,47

As Figuras 4.9 e 4.10 apresentam os mapeamentos realizados a partir de produtos fotográficos, e digitais a partir da Transformação IHS.

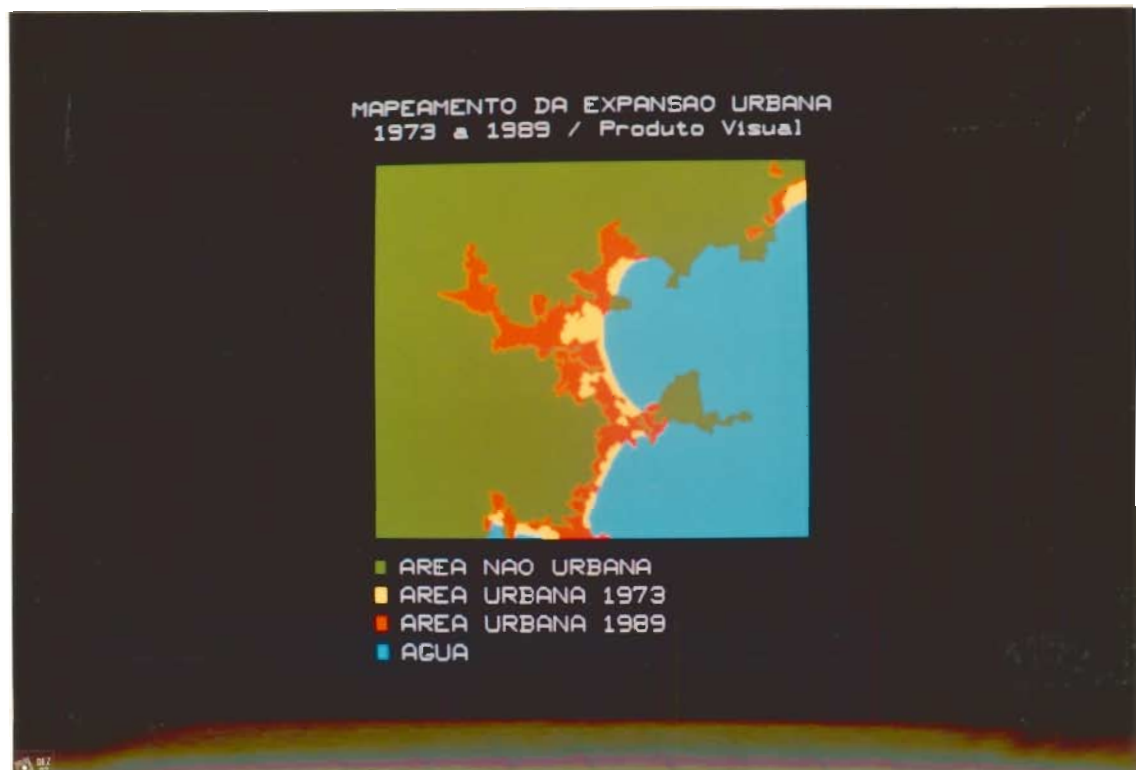


Fig. 4.9 - PI₁: Interpretação visual da expansão urbana (73 à 89) obtida a partir de produtos fotográficos.

A diferença encontrada entre as áreas urbanas mapeadas a partir dos produtos digitais e visuais demonstrou também a existência de erros de omissão e inclusão, conforme demonstra a Figura 4.11.

A figura 4.11 indica a existência de erros de omissão e de inclusão para as classes de área urbana de 1973, e para área não urbana.

Os erros I, e erros IV foram considerados insignificantes, já que as principais diferenças existentes entre os mapeamentos realizados referem-se à omissão da área urbana de 89 e a inclusão da área urbana de 73 no mapeamento obtido a partir da transformação IHS.

O erro II, que diz respeito a omissão da área urbana de 1989 foi quantificado em aproximadamente 14%, sobre a área total mapeada.

Já o erro de inclusão para a classe da área urbana de 1973 (erro III) foi quantificado em 3,2% da área total, sendo praticamente desprezível.

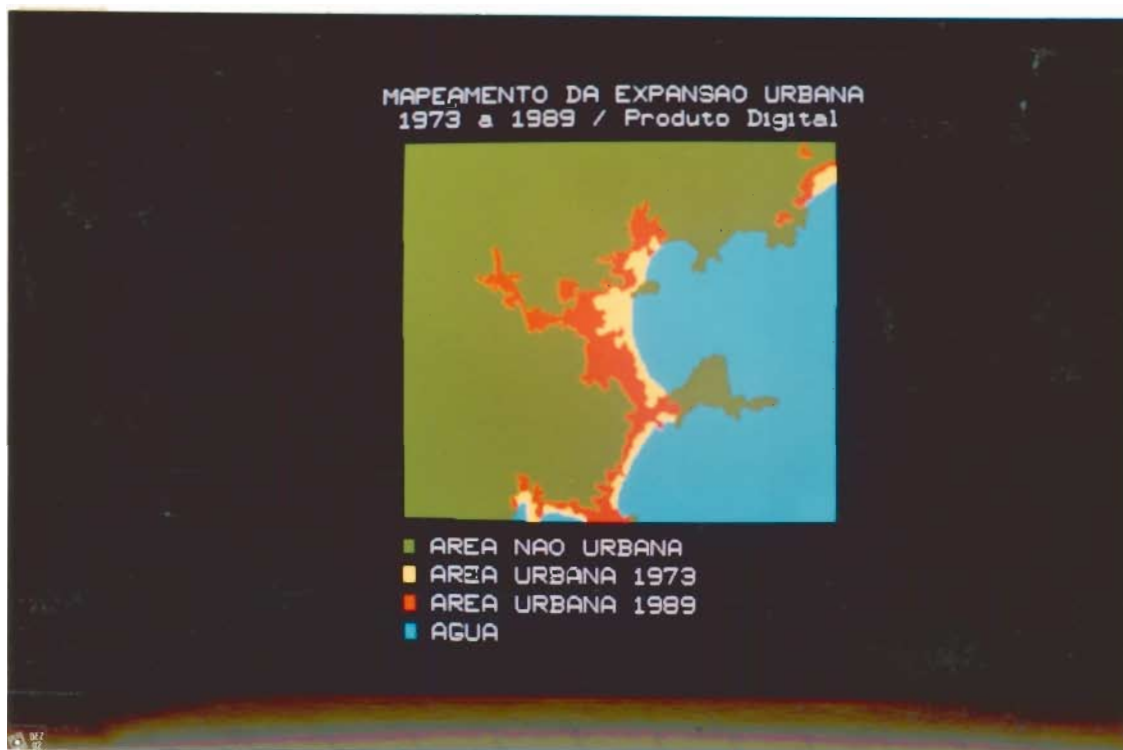


Fig. 4.10 - PI_2 : Interpretação visual da expansão urbana (73 à 89) obtida a partir de Transformação IHS.

Constata-se, com base nos erros de mapeamento encontrados que a maior parte da omissão da área urbana de 1989 (erro II) foi feita devido a inclusão de áreas não urbanizadas.

A existência desses erros leva a constatação do seguinte:

Algumas áreas mapeadas no produto de verdade terrestre, só foram classificadas como área urbana, após trabalho de campo. devido a ausência de informações na imagem que as caracterizassem de imediato como áreas urbanas.

O mapeamento realizado através da transformação "IHS" gerou as mesmas dúvidas e portanto algumas áreas não foram mapeadas como área urbana de 1989 e consequentemente mapeadas como áreas não urbanizadas.

Outro aspecto distinto entre os dois produtos e que também causa diferenças entre os mapeamentos efetuados, é que o produto digital indica toda e qualquer alteração ocorrida e detectável através da banda selecionada. O trabalho de campo torna-se portanto fundamental para que com segurança seja determinado o tipo da alteração ocorrida.

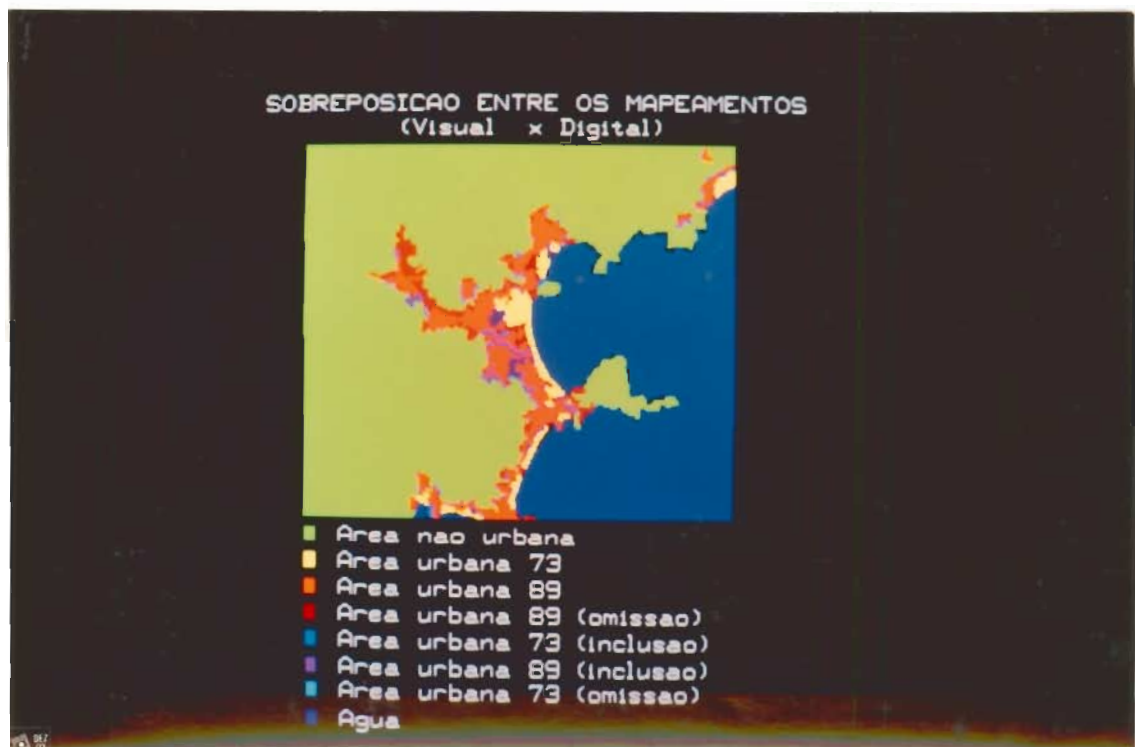


Fig. 4.11 - Sobreposição entre os mapeamentos visual e digital.

Outra fonte de erro encontrada diz respeito a digitalização dos P.Is (Planos de Informações) através do S.I.G.. A imagem digital foi mapeada através da unidade visualizadora de imagens e da mesa digitalizadora, o que gera muitas fontes de erros em função do procedimento adotado.

Neste caso, o processamento fotográfico do produto digital seria uma alternativa para eliminar grande parte das diferenças ocasionadas por procedimentos de interpretação muito distintos.

Em outras palavras, procedimentos de interpretação diferenciadas podem apresentar individualmente resultados satisfatórios, porém a comparação desses mapeamentos implica em erros, que muitas vezes não referem-se a identificação das classes mapeadas, mas ao processo de elaboração do mapeamento (registro e digitalização).

O mapeamento obtido através da interpretação visual das imagens transparências, é, pois, mais indicado para geração de produtos cartográficos devido ao procedimento adotado que infere em menor quantidade de erros. Quanto ao produto digital gerado, ele pode ser útil para o mesmo fim, desde que processado fotograficamente para posterior mapeamento.

4.3 - RESULTADO DA INTEGRAÇÃO DOS DADOS DE EXPANSÃO URBANA ÀS INFORMAÇÕES GEOTÉCNICAS SELECIONADAS, ATRAVÉS DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Os resultados aqui apresentados referem-se a análise das informações provenientes dos mapeamentos elaborados (Apêndices A e B), aliadas ao conhecimento teórico e prático adquirido através do estudo e trabalhos de campo na área de estudo.

4.3.1 - ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA DE UBATUBA (1973 à 1989)

Através do produto gerado (Apêndice A), com base nos mapeamentos da ocupação urbana obtidos para os anos de 1973, 1979, 1984 e 1989 integrados ao Sistema de Informações Geográficas, das observações feitas em campo e do conhecimento histórico do município, tornou-se possível fazer a análise das condicionantes e tendências da evolução e expansão urbana ocorrida no município de Ubatuba no período de 73 à 89.

De acordo com os mapeamentos efetuados e integrados ao S.I.G., Ubatuba possui uma área continental aproximada de 701,74 km².

Dessa área total, 510,73 km² refere-se ao Parque Estadual da Serra do Mar caracterizado pela abundante Mata Atlântica, o que vale dizer que este parque representa 72,78% da área total do município.

A área caracterizada como não urbana representa 23,43% ou 164,43 km² do território ubatubano e é caracterizada pelos contrafortes da Serra do Mar, morros e morrotes costeiros e também por parte da planície costeira, ainda desprovida de assentamentos urbanos.

A área urbana do município representa apenas 26,57 km² ou 3,79% do território ubatubano. As superfícies, em km², das áreas urbanas mapeadas para os anos de 1973, 1979, 1984 e 1989 são descritas através da Tab. 4.8 abaixo.

TABELA 4.8 - ÁREAS (KM²) REFERENTES A OCUPAÇÃO E EXPANSÃO URBANA-OCORRIDA NAS DATAS MAPEADAS

	OCUPAÇÃO URBANA ACUMULADA	EXPANSÃO OCORRIDA
1973	5,00	-----
1979	9,20	4,20
1984	19,26	10,05
1989	26,57	7,31

Os números acima indicam os seguintes crescimentos médios anuais para os períodos (Tabela 4.9).

TABELA 4.9 - CRESCIMENTO URBANO MÉDIO ANUAL POR PERÍODO MAPEADO (KM²)

PERÍODO	CRESCIMENTO MÉDIO ANUAL
1973 à 1979	0,70
1979 à 1984	2,011
1984 à 1989	1,46

1) ANÁLISE DA OCUPAÇÃO URBANA DE UBATUBA EM 1973

Em 1973, Ubatuba encontrava-se com sua ocupação urbana na maior parte concentrada nos arredores da antiga vila (P. Iperoig) estendendo-se para as Praias do Itaguá e Pereque-Açu, ao sul e norte respectivamente.

Essa ocupação detinha 5,00 km² ou 0,71% da área total do município.

Alguns loteamentos e residências de turistas espalhados ao longo da costa sul do município, principalmente nas praias do Tenório, Grande, Toninhas, Enseada e Lázaro completam o panorama urbano do município demonstrando o início da expansão dos potenciais turísticos de Ubatuba.

2) ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA DE UBATUBA DE 1973 à 1979

De 1973 à 1979 a expansão urbana predominante do município se deu principalmente nos arredores do núcleo urbano central, devido a pré existência de infra estrutura urbana nessa região, propiciando sua expansão.

Sua área passa de 5,00 km² em 1973 para 9,20 km² nesta data, o que significa um crescimento médio anual de 0,70 km².

Esse crescimento é caracterizado pela predominância da população local e pelo início da invasão dos turistas, iniciando o surgimento das habitações de veraneio.

A ocupação da costa sul do município, ao longo da Rio-Santos, tem continuidade com a implantação de novos loteamentos e com o surgimento de estabelecimentos hoteleiros em algumas praias como, por exemplo, Maranduba, Lázaro e Enseada.

O início da ocupação urbana na costa norte do município, se dá através da implantação de um novo loteamento implantado na Praia de Itamambuca.

3) ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA DE UBATUBA DE 1979 à 1984

A análise da ocupação urbana em 1984 demonstrou que de 1979 até esta data ocorreu uma forte expansão motivada pela crescente e contínua exploração turística de Ubatuba.

A área urbana de Ubatuba em 1984 é de 10,05 km², e o crescimento anual do período de 1979 à 1984 é de 2,01 km². Essa média elevou-se bastante em relação a média anual ocorrida no período de 1973 à 1979, pois a especulação imobiliária desenfreada passa a direcionar e a acelerar o ritmo da ocupação urbana do município, trazendo com ela uma série de agravantes, entre os quais:

- a) problema habitacional da população local: surgem favelas e residências localizadas em locais de risco.

- b) danos ao meio ambiente, causados pela falta de critérios no uso e ocupação do solo.

Mais a mais novos loteamentos localizam-se ao longo da Rio-Santos (ao norte e ao sul), acompanhados da expansão e adensamento dos pré existentes. Estabelecimentos comerciais, de serviço e hoteleiros dão suporte à essa ocupação.

4) ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA DE UBATUBA DE 1984 à 1989

A partir da década de 80 Ubatuba já tem consolidado seu principal e sempre crescente condicionante da ocupação urbana: a especulação imobiliária em função do potencial turístico da região.

Nesta data, Ubatuba apresenta uma área urbana de 26,75 km² e um crescimento médio anual no período de 1984 à 1989 de 1,46 km². A média anual diminuiu em relação ao período de 1979 à 1984 pois representa a continuidade de um processo que teve o seu auge no final da década de 70 e início da de 80.

A partir de 84, até 89 a configuração urbana de Ubatuba é praticamente a mesma retratando o processo contínuo de urbanização através do surgimento de novos loteamentos e do adensamento vertical em áreas centrais e de interesse turístico. Juntamente com o contínuo crescimento urbano ocorrem também às consequências desastrosas desse processo de ocupação induzida sem nenhum planejamento.

5) CONFIGURAÇÃO URBANA ATUAL DO MUNICÍPIO:

Para melhor entendimento do município de Ubatuba, ao abordar seus aspectos de urbanização atuais optou-se em dividi-lo em 3 áreas, sendo elas: o núcleo urbano central (onde se deu o início da ocupação urbana do município); a costa sul (todas as praias situadas desde o núcleo urbano central até a sua divisa com o município de Caraguatatuba); e a costa norte (todas as praias situadas desde o núcleo urbano central até a divisa com o município de Paraty - RJ).

a) NÚCLEO URBANO CENTRAL

Atualmente o núcleo urbano central, originalmente formado na praia de Iperoig, compreende, a praia do Itaguá ao sul, do Pereque-Açu ao norte e um trecho da rodovia que liga Ubatuba à Taubaté, conforme demonstrado na Figura 4.12.

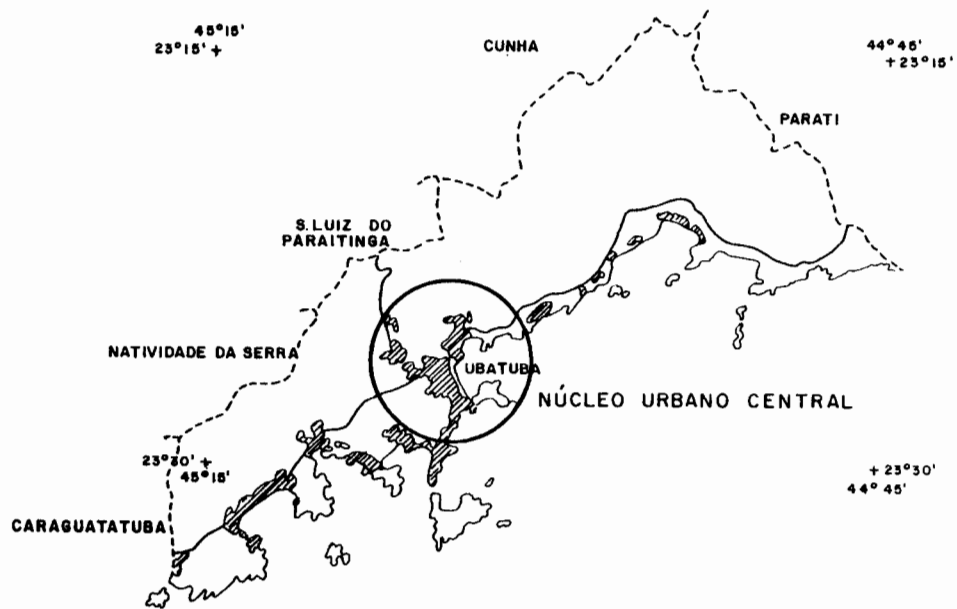


Fig. 4.12 - Localização da área compreendida pelo do núcleo urbano central no município de Ubatuba.

A ocupação é caracterizada por um uso misto, onde habitações residenciais, comércio e serviço se misturam a uma grande quantidade de novos edifícios residenciais situados esparsamente dentro do núcleo urbano.

É nesse núcleo que reside a maior parte da população fixa de Ubatuba e onde se encontram os principais serviços públicos (incluindo bancos, hospital, farmácias, supermercados, correio, etc.). As avenidas a beira mar se consolidam através da presença de habitações, poucos edifícios, e na sua maioria restaurantes, sorveterias e lanchonetes.

Verifica-se também, que dentro desse núcleo, além das habitações uni e multi familiares mais antigas destinadas aos turistas, surgem cada vez mais, um número maior de edifícios de apartamentos para veraneio.

O aeroporto de Ubatuba situa-se nesse núcleo, próximo às áreas mais urbanizadas do município.

Bairros pobres da população local do município localizam-se nas periferias desse núcleo em locais com pouca infra estrutura e saneamento.

Através da interpretação da imagem TM/LANDSAT de 1989 pode-se observar que existe ainda grande quantidade de vazios urbanos nesse núcleo, os quais devem propiciar o crescimento e o adensamento urbano nessas áreas. No entanto essas áreas encontram-se marginalizadas e pouco a

pouco ocupadas pela população ubatubana de classe baixa, devido a desenfreada busca de áreas com grandes atrativos turísticos localizadas próximas à orla.

Situações problemáticas devido a existência de ocupação urbana e atividades desenvolvidas em desacordo com o meio ambiente fazem presente nos trechos marginais a rodovia Oswaldo Cruz, que dá acesso à Taubaté. Vários bairros localizam-se nessa região, se aproveitando do fácil acesso e da disponibilidade de água (Rio Grande de Ubatuba). Esses bairros caracterizados pela existência de habitações precárias ou favelas, com o esgotamento de áreas de terraço começam a assentar-se sobre as encostas da Serra do Mar.

Nesse mesmo trecho existem várias mineradoras que fazem a extração do granito verde, ou mesmo pedra com fins para a construção civil.

As mineradoras, na maioria em situação ilegal, são facilmente identificadas nas imagens, devido aos afloramentos e as instalações das mesmas.

O mau condicionamento e a falta de disciplinamento da ocupação urbana estão levando parte da população local de Ubatuba a ocuparem as encostas da Serra do Mar na direção das praias do Pereque-Açu e Itaguá. Na praia do Pereque-Açu essa ocupação se dá do lado esquerdo da BR-101 (sentido Ubatuba - Rio de Janeiro). O desmatamento dessas áreas de encosta para ocupação urbana causam frequentes deslizamentos de terra que destróem as habitações e trechos da estrada situadas abaixo dessas áreas.

b) COSTA SUL DO MUNICÍPIO

Compreende todas as praias da costa sul do município, até a divisa com o município de Caraguatatuba, conforme ilustra a Figura 4.13.

Acompanhando a rodovia federal, BR-101 (Rio-Santos), desde a praia do Itaguá até a praia Dura, são inúmeros os tipos de habitações e empreendimentos imobiliários de veraneio que se situam ora á direita da BR (lado da Serra), ora de ambos os lados. A costa sul se caracteriza por um tipo de ocupação, onde a grande maioria das construções são para atender a demanda turística, sejam edifícios uni ou multi familiares, condomínios ou hotéis.

Os tipos de edifícios de veraneio são os mais variados e assentam-se quase sempre em encostas de declividade acentuada.

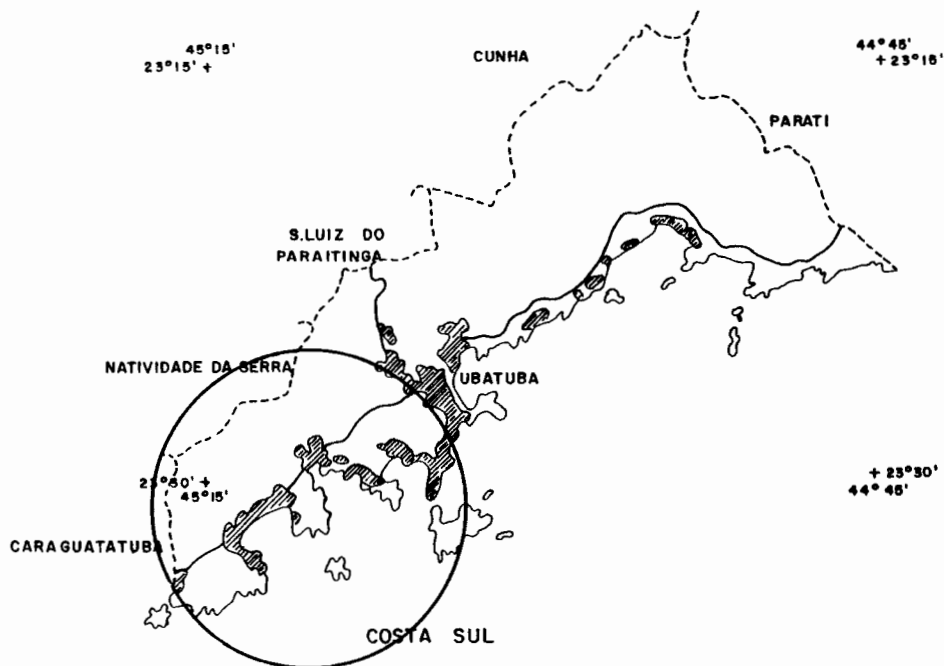


Fig. 4.13 - Localização da costa sul no município de Ubatuba.

Praias como: Tenório, Grande, Toninhas, Enseada, Pereque-Mirim, Lázaro, Domingas Dias, até a praia de Tabatinga em Caraguatatuba, ou seja, toda a costa sul, tem a estrada (BR-101), como um forte impulsionador e incentivador do assentamento urbano, que neste caso apresenta-se através das habitações de veraneio.

Pode-se verificar através do mapeamento da imagem TM/LANDSAT de 1989 que na praia do Pereque-Mirim a ocupação urbana não se limita às áreas de terraço, invadindo as encostas da Serra do Mar.

Da praia Dura à praia da Fortaleza o caminho se faz por um contraforte da Serra do Mar por estrada de terra, passando pela praia Vermelha do Sul. Na praia da Fortaleza a ocupação se faz presente através de residências de veraneio situadas nas encostas da serra, sendo as áreas planas inexistentes nessa região.

De volta a BR-101 as próximas praias são: Lagoinha, Sapé e Maranduba. Do lado do mar a ocupação se faz através da presença de condomínios residenciais, e habitações residenciais de alto nível para turistas. Nessa região, segundo trabalho do IPT (1991), verifica-se a presença de áreas originariamente de mangues aterradas para a implantação de loteamentos.

Do outro lado, devido a existência de uma grande área de planície, além da presença de alguns condomínios marginais à BR-101, existem os bairros sertões, onde sub-habita uma parte da população local do município. Estes sertões se referem a algumas das poucas áreas de planície do município.

Esses sertões, com poucos atrativos naturais não chamam a atenção dos empreendedores imobiliários, o que possibilita sua ocupação pela população ubatubana de classe mais baixa.

O acesso a esses bairros se faz através de estradas secundárias, de terra. As habitações são precárias e se instalam, também, sobre locais de risco, como encostas e áreas de declividade acentuada.

De Maranduba é feito o acesso secundário às praias da Caçandoca e do Pulso, por estrada de terra, sobre um contraforte da Serra do Mar. Essas praias possuem um tipo de ocupação semelhante a praia da Fortaleza, com algumas residências assentadas sobre as encostas da serra do mar.

Com respeito aos assentamentos em áreas de risco, podemos destacar na costa sul, principalmente o tipo de ocupação desenvolvida pela população local classe baixa, devido a ausência de critérios e de acessoria técnica compatível, desde a escolha do local até a execução da obra.

Por outro lado, as obras de veraneio de alto padrão, (cujos empreendedores dispõem de recursos técnicos e financeiros para uma construção adequada), vem ocupando áreas proibidas por lei como é o caso de encostas com declividade acentuada, áreas de várzeas e manguesais.

c) COSTA NORTE

Compreende as praias ao norte do município, a partir da Praia Vermelha do Norte até a divisa com o estado do Rio de Janeiro, conforme mostra a Figura 4.14.

Pode-se notar através da imagem TM/LANDSAT de 1989 que a costa norte do município, apresenta-se de forma diferenciada em relação a costa sul, devido a inexistência de áreas planas favoráveis à ocupação urbana (terraços). Isso explica o fato de serem poucos os condomínios que se localizam desse lado do município.

A maioria das habitações, loteamentos e condomínios assentam-se do lado do mar, ou a beira mar, como é o caso das praias de Itamambuca, Félix e Prumirim.

Esses loteamentos quase sempre assentam-se em locais frágeis e com baixa capacidade de suporte à ocupação. O principal loteamento, e também o mais ocupado é o de Itamambuca que assenta-se, segundo informações da Secretaria do Meio Ambiente (Ubatuba) e IPT (1991) sobre área de mangue aterrada.

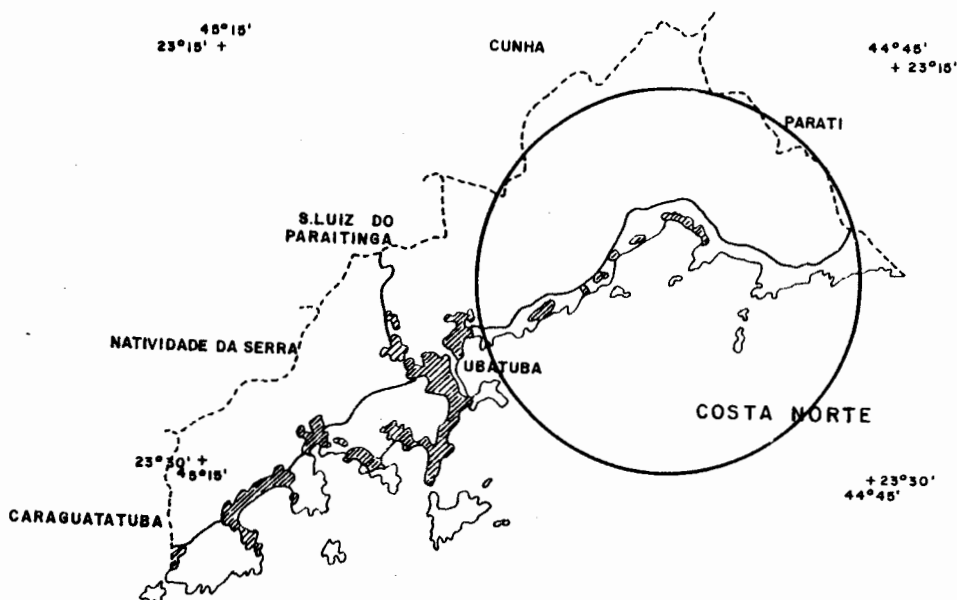


Fig. 4.14 - Localização da costa norte no município de Ubatuba.

O loteamento existente na praia do Prumirim, assenta-se em área acidentada próxima às margens do rio Prumirim.

Esse loteamento possui aproximadamente 20 casas, e seu entorno é caracterizado por ampla cobertura vegetal.

Do lado esquerdo da BR-101, vez ou outra sobre as encostas, assentam-se bares e restaurantes (serviços de apoio).

As únicas planícies existentes desse lado da costa, localizam-se no interior das praias de Puruba, Ubatumirim e Fazenda. No interior da praia de Puruba encontra-se uma ampla várzea alagadiça, às margens do rio Puruba.

Na praia de Ubatumirim a planície possui as mesmas características da de Puruba, e localiza-se às margens do rio Ubatumirim.

Na praia da Fazenda nota-se a presença de poucas e esparsas habitações cercadas por ampla cobertura vegetal. Essa habitações não foram visualizadas através das imagens TM/LANDSAT, devido a presença predominante da vegetação.

Em Picinguaba, antigo núcleo caiçara, tombado pelo CONDEPHAAT, através da resolução SC-07 de 01/03/1983 nota-se a presença sempre crescente de casas de turistas (já construídas ou em construção), ocupando encostas de grande declividade, já que a planície é inexistente. Esta área por estar inserida no Parque Estadual da Serra do Mar (área de preservação permanente) não foi objeto do estudo de potencial geotécnico realizado pelo IPT.

Outras atividades conduzidas em total descon sideração com o meio ambiente, presentes desse lado do município são as caixas de empréstimo. Topos de morros são frequentemente cortados e desmatados através das caixas de empréstimo, incentivando os deslizamentos de terra nessas localidades.

Com respeito à ocupação urbana na costa norte, os principais problemas detectados dizem respeito ao mau disciplinamento referente aos loteamentos e residências de veraneio, que próximos à praia muitas vezes assentam-se sobre áreas de mangue ou restingas (ecossistemas litorâneos).

4.3.2 - ANÁLISE DA CARTA DE REFERENCIAL AO USO URBANO NO MUNICÍPIO DE UBATUBA

A carta de referencial ao uso urbano gerada (Apêndice B), é de grande importância para planejadores urbanos por identificar as áreas mais, ou menos propícias a esse tipo de ocupação, estabelecendo inclusive, recomendações em função do tipo de obra a ser executada e da localização da mesma.

Desta maneira pode-se adequar o tipo de obra a ser executada, às características geotécnicas de uma dada localidade, utilizando-se de técnicas de construção adequadas.

A carta gerada dividiu a área do município (excluindo-se a área do Parque Estadual da Serra do Mar) em quatro áreas com restrições à ocupação urbana, de acordo com o potencial geotécnico à elas conferidos.

Através do produto gerado e das análises feitas através da carta de expansão urbana, foi possível observar que Ubatuba tem sua área urbana na maior parte ocupando áreas de planícies (terraços e áreas de alagadiços) próximas a orla, com restrições tipo I.

Essa ocupação, entretanto, estendendo-se indisciplinadamente e sem critérios para as encostas (suaves e íngremes) da Serra do Mar. Essa ocupação quando feita pelo segmento da população local de Ubatuba ocorre sem nenhum acompanhamento ou fiscalização técnica, aliada a ausência de critérios construtivos compatíveis. fazendo com que essas obras coloquem em risco seus habitantes e gerem danos ao meio ambiente.

Verificou-se que o esgotamento das áreas de terraço, resulta em ocupações urbanas situadas em áreas de riscos potenciais, como é o caso dos bairros sertões do município (Praia Dura, Maranbuba, Pereque Mirim, Itaguá) ocupando áreas com restrições tipo I, II e III.

A presença cada vez mais constante de loteamentos ao longo das praias em áreas de grande fragilidade, afirma a necessidade do conhecimento do meio físico e dos ecossistemas nelas presentes para a proposição de restrições específicas, que compatibilize o tipo de uso às características específicas e peculiares dessas áreas.

1) Áreas com restrição TIPO I

Composta pelas áreas de terraço, encostas suaves e áreas de alagadiços, compreendem 87,48 km² do município de Ubatuba, ou 44,53% da área compartimentada (toda a área do município com exceção do Parque Estadual da Serra do Mar). Essa área, entretanto, representa apenas 12,48% da área total do município de Ubatuba, o que vale dizer que o município de Ubatuba é carente de áreas geotecnicamente mais favoráveis à ocupação urbana, constituindo-se na sua maioria de áreas frágeis e com restrições específicas ao uso urbano.

Essas áreas (restrições tipo I), pela sua localização, configuração topográfica e potencial geotécnico à elas conferidos é a que detem a maior parte das áreas de ocupação urbana do município, seja nas regiões de orla ou nos bairros sertões.

2) Áreas com restrição TIPO II

Composta pelas áreas de corpos de talus, depósitos alveolares e áreas de impacto compreendem 32,59 km² ou 16,59% da área compartimentada. São áreas que encontram-se também com a ocupação urbana bastante acentuada pois localizam-se na interface entre as áreas de terraço e a Serra do Mar.

3) Áreas com restrição TIPO III

Formada pelas encostas íngremes e muito íngremes representam 56,31 km² ou 28,66% da área compartimentada. São áreas bastante problemáticas à ocupação urbana, requerendo o seguimento de critérios técnicos específicos para uma ocupação adequada.

4) Áreas com restrições TIPO IV

Compostas por áreas de mangues, várzeas e corrida de massa, representam 20,10 km² ou 10,22% da área compartimentada. De acordo com informações do IPT (1991) e Secretaria do Meio Ambiente (Ubatuba), áreas de mangue vem sendo aterradas para dar suporte aos assentamentos urbanos.

CAPÍTULO 5CONCLUSÕES

Este trabalho visou sistematizar procedimentos de pré processamento, interpretação de produtos digitais e analógicos multitemporais e multisensores, além da obtenção de dados do meio físico voltados a análise da expansão urbana e detecção de alterações em ambientes litorâneos urbanos.

As técnicas de sensoriamento remoto aplicadas neste trabalho foram selecionadas após minucioso estudo das mesmas, a fim de agilizar as etapas de um trabalho que vise o conhecimento e análise da expansão urbana em ambientes litorâneos.

Os resultados apresentados pela interpretação visual dos dados evidenciaram a necessidade de metodologias distintas de interpretação de dados de sensoriamento remoto para áreas urbanas, a depender do sensor utilizado (MSS/LANDSAT e TM/LANDSAT).

Estudos retrospectivos, como é o caso do presente trabalho fazem uso de imagens provenientes do sensor MSS/LANDSAT, o qual devido a sua pobre resolução espacial (80 m) não se torna o mais adequado para interpretação de áreas urbanas. Porém no presente trabalho dispunha-se de fotografias aéreas em datas compatíveis às imagens MSS/LANDSAT, as quais foram incorporadas à metodologia elaborada, gerando resultados satisfatórios.

Recomenda-se pois, a utilização de fotografias aéreas como elementos auxiliares no mapeamento de áreas urbanas a partir de produtos MSS/Landsat.

A avaliação da precisão do mapeamento apresentou uma exatidão igual ou superior a 85%, feito a partir de imagens TM/LANDSAT, favorecendo a utilização de produtos de sensoriamento remoto orbital para áreas urbanas.

O pré-processamento dos dados aplicado para correção radiométrica e das imagens gerou bons resultados com base nas técnicas de transformação de níveis digitais para imagem reflectância, do método do mínimo histograma e selecionados para o presente trabalho.

A sua aplicação é rápida e direta e gerou resultados satisfatórios para o objetivo proposto, que consistiu em equalizar os histogramas e médias de imagens multitemporais.

Os resultados obtidos através da técnica de registro entre as imagens foram bastante satisfatórios favorecendo a aplicação das técnicas de processamento digital propriamente ditas.

Através da aplicação das técnicas de processamento digital selecionadas para avaliar a expansão urbana de Ubatuba em períodos distintos, a técnica de transformação IHS foi a que apresentou melhores resultados, especialmente para a composição de imagens formada pelos produtos MSS/LANDSAT e TM/LANDSAT.

Essa transformação apresentou-se como uma sofisticação da técnica de sobreposição de imagens, através da melhoria da sua resolução espacial e aumento de contraste entre áreas alteradas e não alteradas.

A técnica de transformação IHS foi adaptada para o objetivo do presente trabalho e contou com uma aplicação inédita para geração de composições multitemporais com fins de detecção de alterações em áreas urbanas. Áreas de expansão urbana e alterações ocorridas no tipo de cobertura do solo são efetivamente melhores visualizadas em composições de imagens multitemporais obtidas através dessa técnica.

Sugere-se a aplicação da Técnica de Transformação IHS a partir de dados com resolução espacial igual ou superior ao produto Spot pancromático, integrados à dados mais antigos (TM ou MSS/Landsat). Áreas alteradas e não alteradas serão representadas com maior nitidez devido à resolução espacial superior do sensor utilizado.

Essa técnica de Transformação "IHS" pode ser utilizada para outros fins, tais como: conhecimento da evolução urbana de uma cidade, determinando novas tendências; identificação da expansão urbana ocorrida entre datas específicas; identificação de áreas urbanas alteradas; monitoramento do crescimento urbano e de atividades antrópicas sobre o meio ambiente; auxiliar no monitoramento e fiscalização de atividades e ocupações sem critérios; auxiliar na fiscalização da legislação do uso e ocupação do solo.

A imagem diferença não contribuiu para o objetivo proposto visto que o seu histograma não apresentou a separação das classes alteradas e não alteradas, requerendo grande consumo de tempo para se fazer a escolha empírica do limiar para separação das classes. Além disso, o produto gerado (imagem temática) não foi o mais adequado para o conhecimento das alterações ocorridas no ambiente urbano.

Vale mencionar, entretanto, que a depender do tipo do produto final que se pretenda gerar e do alvo a ser analisado essa técnica pode apresentar resultados satisfatórios.

Os resultados apresentados através da comparação dos mapeamentos feitos a partir de produtos analógicos, e digitais (transformação IHS), mostraram que o primeiro é mais indicado para a confecção de cartas, devido a sua maior precisão cartográfica, enquanto que o segundo pode ser mais eficaz para rapidamente detectar alterações ocorridas entre datas específicas numa região, tornando-se elemento auxiliar às prefeituras no monitoramento da ocupação urbana e fiscalização de atividades antrópicas, sendo, pois, recomendado para estes fins.

Através do SIG foram gerados dois produtos cartográficos: o primeiro referente à expansão urbana indicou os condicionantes e tendências da ocupação urbana de Ubatuba no período de 1973 à 1989. O segundo mostrou o referencial ao uso urbano de Ubatuba através de quatro níveis de restrições, obtido através da sobreposição entre o mapeamento urbano de 1989 e à adaptação feita a carta geotécnica do IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

Esses mapeamentos elaborados servem como subsídio a elaboração de Plano Diretor, proporcionando a integração de dados do meio físico, sócio-econômicos e outros, visando permitir o conhecimento mais detalhado e específico das questões do município, favorecendo a tomada de decisões para a implementação adequada e efetiva de Planos Diretores Municipais.

CAPÍTULO 6CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os mapeamentos gerados tem como principal objetivo gerar subsídio para a elaboração de diretrizes para o ordenamento da ocupação urbana para o município de Ubatuba.

O primeiro produto gerado com base nos mapeamentos efetuados mostra a expansão urbana de Ubatuba ocorrida entre 1973 e 1989, cuja análise e identificação dos problemas dela decorrentes foi feita na seção 4.3.1. do presente trabalho.

O segundo produto caracterizou as áreas com restrições diferenciadas ao uso urbano do município, que relacionadas ao mapeamento do uso urbano identifica as regiões de ocupação urbana e seu respectivo potencial para ocupação.

Com base nos problemas levantados através da análise das cartas geradas e de trabalhos de campo realizados na área de estudo foi possível verificar que a ocupação urbana do município de Ubatuba vem ocorrendo de forma espontânea e sem nenhum planejamento, condicionada principalmente pela forte especulação imobiliária que ocorre no município.

A fim de gerar uma ocupação ordenada onde devem ser observados critérios específicos devem ser considerados os seguintes aspectos:

- 1) ordenamento da ocupação urbana respeitando-se o seguimento das restrições ao uso urbano apresentadas neste trabalho e realização de estudos geotécnicos específicos em locais que apresentem tal necessidade.
- 2) controle da especulação imobiliária do município.
- 3) estabelecimento de planos de ocupação para a costa norte, costa sul e núcleo urbano central do município considerando-se os aspectos físicos e ambientais de cada setor, potencial geotécnico, atual estado de ocupação e capacidade de suporte (espacial e físico) dos mesmos para a implantação de obras de veraneio (residências, condomínios, loteamentos, hotéis e outros).
- 4) induzir o adensamento vertical no núcleo urbano central e a ocupação das áreas de vazios urbanos existentes no mesmo.

- 5) tornar abertos à visitação pública parques ecológicos existentes no município e induzir a sua visitação através da criação de atividades de lazer compatíveis ao ambiente natural existente.
- 6) dar atenção especial a ocupação urbana na costa norte devido a existência de poucas áreas propícias à ocupação.
- 7) dar atenção especial também à ocupação urbana na costa sul, devido a grande quantidade de construções de veraneio existentes (condomínios e loteamentos horizontais e verticais e outros) em locais de risco (encostas, mangues e restingas).
- 8) observar as restrições impostas à ocupação de encostas devido ao grande número de consequências desastrosas proporcionadas pela ausência de critérios específicos a esse tipo de ocupação.
- 9) criar políticas de habitação popular, turismo e industrialização para o município.

Essas diretrizes visam trazer ao município de Ubatuba o equilíbrio entre suas atividades turísticas, ambientais e sócio-econômicas, garantindo a permanência de seus recursos naturais.

Dentro dos aspectos abordados neste trabalho e da proposição de diretrizes que visem o melhor disciplinamento da ocupação urbana, aborda-se aqui questões complementares como: turismo, industrialização e habitação que aliadas às propostas de ocupação urbana formuladas visam viabilizar o desenvolvimento urbano e sócio-econômico do município.

O turismo de Ubatuba é caracterizado por um processo espontâneo através da busca das pessoas pelo litoral. Está aliado a forte especulação imobiliária que impõe os tipos de loteamentos e condomínios a serem implantados no município e sua localização, fazendo de Ubatuba um município essencialmente de veraneio, em detrimento da promoção da sua população local.

Devem ser criadas atrações turísticas induzidas em Ubatuba, visando combinar o caráter paisagístico e ambiental do município com atividades de lazer através da criação de clubes náuticos, mirantes e parques planejados para atender a visitação pública.

Para que a vocação turística de Ubatuba se dê de maneira racional e equilibrada viabilizando o planejamento racional do município propõe-se que sejam observados, em síntese os seguintes aspectos:

- 1) impor um número limite para a implantação de determinadas obras de veraneio (loteamentos, condomínios verticais e horizontais e outros) e observadas as restrições de ocupação específica de cada localidade.
- 2) induzir as atividades hoteleiras, em contrapartida ao limite imposto acima, para atender a demanda turística.
- 3) determinar usos compatíveis para parques, reservas ecológicas e áreas afins, que os tornem locais abertos à visitação turística permanente, através da criação de atividades de lazer, esportivas, culturais, compatibilizando essas atividades com a paisagem natural e seu potencial físico. As áreas mais propícias à esse tipo de ocupação situam-se na costa norte do município, que apresenta maior número de reservas ecológicas e áreas de preservação.
- 4) promover durante toda época do ano de eventos esportivos e culturais no município motivando a busca pelo litoral não apenas em épocas de temporada e férias escolares.

O controle dessa atividade visa gerar o equilíbrio das atividades locais e de veraneio, estabelecendo limites para implantação de obras e induzindo atividades turísticas em prol do desenvolvimento urbano e sócio-econômico do município.

Outro aspecto que desempenha papel importante no planejamento das atividades sócio-econômicas de um município é a questão da industrialização. Em Ubatuba essa questão parece à primeira vista, incompatível com seu aspecto físico e vocação natural.

É importante verificar, no entanto, que para a implantação de indústrias no município de Ubatuba deverão ser observados critérios para escolha do local, assim como para o tipo da indústria a ser implantada, pois esses elementos são dependentes das características e potencial de suporte de Ubatuba.

Para Ubatuba propõe-se a implantação de indústrias de gêneros alimentícios do mar, ou ainda, de artigos náuticos: barcos, materiais para pesca, mergulho, esportes do mar, artigos para praia, etc.

Além de se falar em critérios para implantação de indústrias e aumento da receita municipal: requisitos e lucros, respectivamente da industrialização, outro aspecto vantajoso e importante é a geração de empregos para a parcela da população local de Ubatuba que desempenham atualmente atividades de pesca e agricultura de subsistência.

Uma consequência direta seria a geração de empregos, que absorveria a população local.

Essa política deve prever em síntese:

- 1) apoiar a criação de indústrias específicas de pequeno porte, relacionadas aos produtos oriundos e destinados ao município.
- 2) escolher o local geotecnicamente compatível com o tipo de obra, assim como a previsão de suporte, estipulando um número máximo de indústrias para Ubatuba.
- 3) o compromisso por parte das indústrias no não comprometimento do meio ambiente e a rígida fiscalização da prefeitura no que se refere a esses aspectos.

Outro problema que vem se agravando mais a mais é a questão da habitação da população local.

Não existe por parte da Prefeitura Municipal de Ubatuba nenhuma política voltada à questão da habitação popular. A classe baixa de Ubatuba é formada principalmente por caiçaras, ou aqueles habitantes que se dedicam à atividades relacionadas à agricultura e pesca, geralmente de subsistência.

Essa população reside nos bairros sertões, em locais sem infra-estrutura e saneamento básico, fazendo com que essa camada da população viva em condições precárias e sub-humanas, ocupando as encostas e as margens de rios.

Essas ocupações (em encostas) ocorrem sem nenhum critério técnico e sem a observação das restrições de uso conferidas a essas áreas, reafirmando a necessidade do poder público fazer uso da carta de referencial de uso à ocupação urbana e estabelecer rígida fiscalização às obras a serem implantadas no município.

As políticas aqui sinteticamente discutidas (turismo, industrialização e habitação), devem ser adotadas em seguimento as propostas elaboradas a fim de que seja criado uma forma de planejamento eficaz compatibilizando as questões físicas e ambientais às questões sócio-econômicas de Ubatuba.

No caso de municípios litorâneos, o estudo da expansão urbana torna-se ainda mais importante, visto a diversidade e a complexidade dos ambientes naturais existentes (ecossistemas litorâneos), aliados a ocupação desordenada e à especulação imobiliária decorrentes da exploração turística.

Recomenda-se pois, a elaboração do mapeamento dos ecossistemas litorâneos para o município de Ubatuba através da interpretação de fotografias aéreas, inventários e trabalhos de campo.

A fim de viabilizar as sugestões de uso urbano deste trabalho, salienta-se que este tema: "uso e ocupação do solo" é tratado na legislação nacional, desde o nível constitucional federal, até o nível dos decretos municipais.

Dentro das limitações e restrições apontadas pelas leis federais e estaduais, cabe ao município estabelecer a maior parte, pois as mesmas estão vinculadas às características físicas e ambientais peculiares da região e ao interesse local.

Devendo estar as leis urbanísticas e de uso e ocupação do solo de um município em conformidade com os seus aspectos físicos e ambientais, a legislação municipal torna-se a mais importante e mais abrangente. Essas leis urbanísticas municipais são inseridas dentro do Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado do município.

O Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado, PDDI, é uma lei municipal que possui a finalidade de conduzir e ordenar o crescimento da cidade, além de disciplinar e controlar as atividades urbanas em benefício do bem estar social.

Para tanto, o Plano Diretor se destina à implementação das diretrizes de usos que fundamentadas através de legislações específicas devem considerar as inter-relações existentes entre o meio ambiente (aspectos físicos e ambientais), e as atividades sociais e econômicas do município (vocação do município, questão habitacional e industrial, entre outras).

Juntamente com informações passíveis de serem obtidas através das imagens, devem ser obtidas informações complementares, provenientes de estudos específicos como: potencial geotécnico, fenômenos históricos e sócio-econômicos, entre outros.

Assim, um P.D.D.I. deve prever estudos acerca da ocupação e expansão urbana do município, capacidade de suporte à ocupação urbana pelo meio ambiente, vocação sócio-econômica do município, além de levantamentos dos problemas gerados pelo mau condicionamento dessas questões.

A técnica de sensoriamento remoto e as metodologias apresentadas neste trabalho se mostraram eficientes, gerando subsídios para elaboração de Planos Diretores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, J.R. Land use and land cover changes : a framework for monitoring. Journal Research United States Geological Survey, 5(2):143-153, 1977.
- Aronoff, S. Classification accuracy : a user approach. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48(8):1299-1307.
- Assis, M. Planejamento territorial do município de Ubatuba - levantamento sociológico. São Paulo, USP.FAU.CPEU,1964.
- Brito, E.J.G.N. Dinâmica de ecossistemas costeiros e critérios ambientais de urbanização. Rio de Janeiro. 2 à 6/10/1989. Apostila do curso de Proteção de Ecossistemas Costeiros. FEEMA, Rio de Janeiro, 1989.
- Brum, E.R. Integração dos canais multiespectrais e pancromáticos do sensor HRV/SPOT para obtenção de composições coloridas com resolução espacial próxima a 10 metros. (Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto)-Instituto de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1989. (INPE-5035-TDL/403).
- Buchanan, M.D.; Perdergrass, R. Digital image processing : can intensity, hue and saturation replace red, green and blue? Electro Optical Systems Design, 3(10):29-36, 1980.
- Byrne, G.F.; Crapper, P.F.; Mayo, K.K. Monitoring land cover change by principal component analysis of multitemporal Landsat data. Remote Sensing of Environment, 10(10):175-184, Oct. 1980.
- Câmara Neto, G. Registro Automático de imagens de satélite. São José dos Campos, INPE, ago., 1988. (INPE-4637-PRE/1349).
- Carper, W.J.; Lillesand, .M.; Kiefer, B.W. The use of IHS transformation for merging SPOT pancromatic and multiespectral data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 56(4):459-467, 1990.
- Companhia de Tecnologia e Saneamento Básico (Cetesb). Diagnóstico ambiental do município de Ubatuba - Análise do meio físico. São Paulo, 1987. V.1.
- Chavez Jr., P.S. Digital merging of Landsat TM and digitized NHAP data for 1:24000 scale image mapping. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 52(10):1637-1646, 1986.

- _____ Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 55(9):1285-1294, 1989.
- Cliche, G.; Bonn, F.; Teilled, P. Integration of the SPOT pancromatic channel into its multispectral mode for image sharpness enhancement. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 51(3):311-316, 1985.
- Costa, S.M.F. Avaliação de técnicas de processamento de imagens TM-Landsat aplicadas a delimitação de áreas urbanas. (Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto)-Instituto de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1989. (INPE-5071-TDL/7410).
- Crapper, P.F.; Hynson, K.C. Change detection using Landsat photographic imagery. Remote Sensing of Environment, 13():291-300, Sept., 1983.
- Cruz, O. A serra do mar e o litoral na área de Caraquatatuba. (Tese de Doutorado em Geografia)-USP. Instituto de Geografia. São Paulo, 1974.
- Diazo. Multilingual Dictionary of Remote Sensing and Photogrammetry. Falls Church, Virginia. American Society of Photogrammetry, 1984, p.65.
- Dicks, S.E.; Lo, T.H.C. Evaluation of thematic map accuracy in a land-use and land-cover mapping program. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 56 (9):1247-1252, 1990.
- Diegues, A.C. Conservação e Desenvolvimento sustentado de ecossistemas litorâneos no Brasil. Curso Nacional de capacitação em gerenciamento costeiro. Rio de Janeiro, CIRM/FEEMA, 3 - 15.ago., 1987.
- _____ Desenvolvimento sustentado, gerenciamento geo ambiental e de recursos naturais. Cadernos FUNDAP, (16):33-45, jun. 1989.
- Dutra, L.V.; Foresti, C.; Meneses, P.R.; Kurkdjian, M.L.N.O. Utilização da transformação IHS para integração de imagens de diferentes resoluções : estudo do uso do solo urbano. São José dos Campos, INPE, 1988. (INPE-4606-PRE/1329).
- Ehlers, M.; Jadkowski, W.A.; Howarth, R.; Application of SPOT data for regional growth analysis and local planning. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 56(2):175-180, 1990.

- Ehlers, M. Multisensor image fusion in remote sensing. In: International Congress of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 16., Commission III, Kyoto, 1988. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. ISPRS, 1988, v.27, Part B3, p. 152-162.
- Erthal, G.J. Registro translacional de imagens : métodos correlacionais e sequenciais. (Tese de Mestrado em Computação Aplicada)-Instituto de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1985. (INPE-3456-TDL/169).
- Eyton, J.R. Landsat multitemporal color composites. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 49(2):231-235, Feb. 1983.
- Foresti, C.; Oliveira, M.L.N.; Niero, M.; Lima, U.M.B.; Parreiras, E.M.M.F. The use of image registration technique in Brasilia's urban growth monitoring. São José dos Campos, INPE, 1984. (INPE-3302-PRE/614).
- Foresti, C. Environmental impact of the urban growth on the western São Paulo metropolitan area. São José dos Campos, INPE, 1988. (INPE-4670-PRE/1370).
- Forster, B.C. Combining ancillary and spectral data for urban applications. In: International Congress of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 15., Commission II, Rio de Janeiro, 1984. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. ISPRS, 1984, v.25, Part A7, p. 207-216.
- Ginevan, M.E. Testing land use map accuracy: another look. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 45(10): 1371-1377, 1979.
- _____ An examination of some problems and solutions in monitoring urban areas from satellite platforms. International Journal And Remote Sensing. 6(1):139-151, 1985.
- Haydn, R.; Dalke, G.W.; Henkel, J. Application of IHS color transform to the processing of multisensor data and image enhancement. IN: International Symposium on Remote Sensing of Arid and Semi arid Lands, Cairo, Egypt, Proceedings. Cairo, Egypt, 1982. p.599-616.
- Howarth, P.J.; Boasson, E. Landsat digital enhancements for change detection in urban environments. Remote Sensing of Environment, 13(5):149-160, 1983.

- Howarth, P.J.; Wickware, G.M. Procedures for change detection using Landsat data. International Journal of Remote Sensing, 2(3):227-291, 1981.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. (IPT). Carta geotécnica do município de Ubatuba-SP. IPT, São Paulo, 1991. 2V.
- Jensen, J.R.; Toll, D.L. Detection residencial land use development at the urban fringe. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 18(4):629-643, April, 1982.
- Jensen, J.R. Urban/Suburban land use analysis. In : Manual of Remote Sensing, 2. Falls Church, VA American Society of Photogrammetry, 1983 V.2., cap. 30, p.1571-1666.
- Kurkdjian, M.L.N.O. Integração de dados de diferentes sistemas sensores através da técnica de transformação IHS, visando o estudo da estrutura intra-urbana. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., Manaus, 24-29 Jun. 1990. Anais. São José dos Campos, INPE, 1990. v.2, p.331-335.
- Lindgren, D.T. Land use/land cover : inventory and change. In: Land use planning and Remote Sensing. Dordrecht, Martinus Nijhoff Publishers, 1985. Cap.8, p.101-117.
- Mascarenhas, N.D.A.; Velasco, F.R.D. Processamento digital de imagens. São Paulo, USP. I.M.E., 1984. Quarta Escola de Computação, São Paulo, 12-20 jun. 1984.
- McMahon, G.M.; Prench, K.B.; Collins, L.M. Temporal analysis of rural-urban fringe areas : a case study. In: AUSTRALASIAN REMOTE SENSING CONFERENCE, 3, Gold Coast, Queensland, 21-25 may, p.235-250.
- Markham, B.L.; Barker, J.L. Radiometric properties of U.S. processes Landsat/MSS data. Remote Sensing of Environment. 22 (1) : 39-71. jun., 1987.
- Mather, P. Computer processing of remotely-sensed images : an introduction. Chichester, John Wiley, 1987. 852p.
- Medeiros, J.S. Desenvolvimento metodológico para a detecção de alterações da cobertura vegetal através da análise digital de dados MSS Landsat. (Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto)-Instituto de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1987. (INPE-4123-TDL/262).

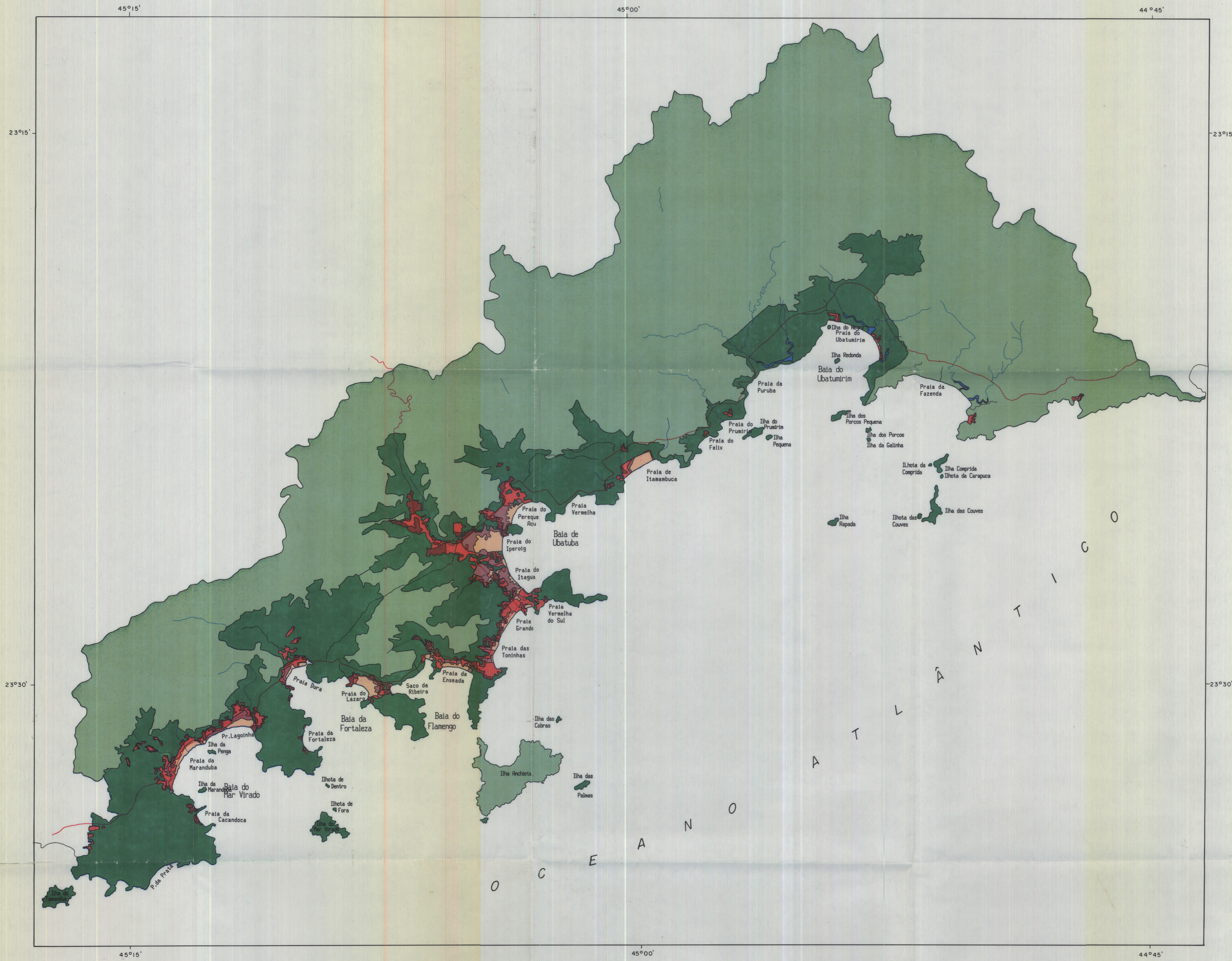
- Nelson, R. Reducing Landsat scene variability. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51(5): 583-593, 1985.
- Oliveira, M.L.N.; Foresti, C.; Niero, M.; Parreiras, E.M.M.F. Aplicação de dados do satélite Landsat no estudo da evolução urbana de Brasília. São José dos Campos, INPE, abril, 1984 (INPE-3063-PRE/480).
- Oliveira, M.L.N.O.; Ii, S.S. Integração de imagens SPOT multiespectral e aerofoto pancromática para estudo do uso do solo urbano. São José dos Campos, INPE, 1989 (INPE-4967-PRE/1536).
- Pereira, M.N.; Kurkdjian, M.L.N.O.; Foresti, C.; Lima, U.M.B. Aplicações de composições multitemporais obtidas a partir de dados Landsat no estudo do crescimento urbano. São José dos Campos, INPE, março, 1988. (INPE-4480-PRE/1246).
- Pereira, M.N.; Kurkdjian, M.L.N.O.; Foresti, C. Sistemas de classificação do uso da terra. In: Cobertura e uso da terra através de sensoriamento remoto. São José dos Campos, INPE, nov, 1989, V.1, cap. 3, p.22 (INPE-5032-MD/042).
- Quarmby, N.A.; Cushnie, J.L. Monitoring urban land cover changes at the urban fringe from SPOT/HRV imagery in south-east England. International Journal of Remote Sensing, 10(6):953-963, 1989.
- Robinove, C.J. Computation with physical values from Landsat digital data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48(5):782-784, 1982.
- Rubec, C.D.; Thie, J. Land use monitoring with Landsat digital data in southwestern Manitoba. In: Canadian Symposium on Remote Sensing, 5., Victoria, Aug., 28-31, 1978. Proceedings. Pacific Forest Research Center, Visctoria, 1978. p.136-149.
- São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. Áreas naturais sob proteção na Serra do Mar, São Paulo, 1975.
- São Paulo. Secretaria Estadual de Análises Demográficas (SEADE) Análise demográfica regional : litoral. São Paulo, 1982.
- _____. Projeção da população dos municípios e distritos pertencentes à região II de planejamento da Sabesp, segundo a situação de domicílio urbano e rural até o ano 2010. São Paulo, 1988.

- Silva, A.C. O litoral norte do estado de São Paulo : formação de uma região periférica. (Tese de Doutorado em Geografia)-USP. Instituto de Geografia, São Paulo, 1975.
- Singh, A. Change detection in the tropical forest environment of northeastern India using Landsat. In: Eden, M.J.; Parry, J.P. ed. Remote Sensing in tropical land management. New York, John Wiley, 1986, p.237-254.
- _____. Digital change detection techniques using remotely sensed data. International Journal of Remote Sensing, 10(6):989-1003, 1989.
- Stauffer, M.L.; McKynney, R.L. Landsat image differencing as an automated land cover change detection technique. Greenbelt, MD, NASA, Goddard Space Flight Center, Aug., 1978 (NASA/CR 170476).
- Switzer, P.; Kovalik, W.S.; Lyon, R.J.P. Estimation of atmospheric path radiance by the covariance matrix method. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 41(7):1469-1476, 1981.
- Todd, W.J. Urban and regional land use change detection by using Landsat data. Journal of Research U.S. Geological Survey, 15(5):529-524, 1977.
- Toll, D.L.; Royal, J.A.; Davis, J.B. Urban update procedures using Landsat data. In: American Society of Photogrammetry. Fall Technical Meeting, Niagara Falls, N.Y.; Oct. 7-10, 1980. Falls Church, VA, ASP, 1980, p.RS-1-E-1 - RS-1-E-17. Technical papers.
- Valeriano, D.M. Processamento digital de dados do MSS/Landsat aplicado ao mapeamento da cobertura da terra da planície costeira do rio Tubarão, S.C.: metodologia e estimativa de exatidão de classificação. (Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto)-Instituto de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1985. (INPE-3455-TDL/188).
- Weismiller, R.A.; Kristof, S.J.; Scholz, D.K.; Anuta, P.E.; Monin, S.M. Evaluation of change detection techniques for monitoring coastal zone environment. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43(12):1533-1539, Dec., 1977.
- Welch, R.; Ehlers, M. Merging multiresolution SPOT/HRV and LANDSAT/TM data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 56(4):459-467, 1990.

APÊNDICE A

CARTA DA EXPANSÃO URBANA
NO MUNICÍPIO DE UBATUBA
(1973 A 1989)

MAPA DA EXPANSÃO URBANA DO MUNICÍPIO DE UBATUBA (1973 a 1989)



LEGENDA

- Ocupação urbana em 1973
- Ocupação urbana em 1979
- Ocupação urbana em 1984
- Ocupação urbana em 1989
- Área não urbana
- Pque.Est.da Serra do Mar
- Ocup.Urb.no Pque.Est.
- Pque.Est. da Ilha Anchieta

NOTAS DE CRÉDITO

Os mapeamentos das áreas urbanas de 1973 e 1979 foram feitos a partir da interpretação das imagens fotográficas MSS/LANDSAT (banda 5) com a utilização paralela de fotografias aéreas nas escalas de 1:10.000 e 1:45.000.

Os mapeamentos das áreas urbanas de 1984 e 1989 foram feitos a partir da interpretação visual de imagens fotográficas TM/LANDSAT (banda 3) com apoio de trabalho de campo para checagem do mesmo.

ESCALA 1:100.000

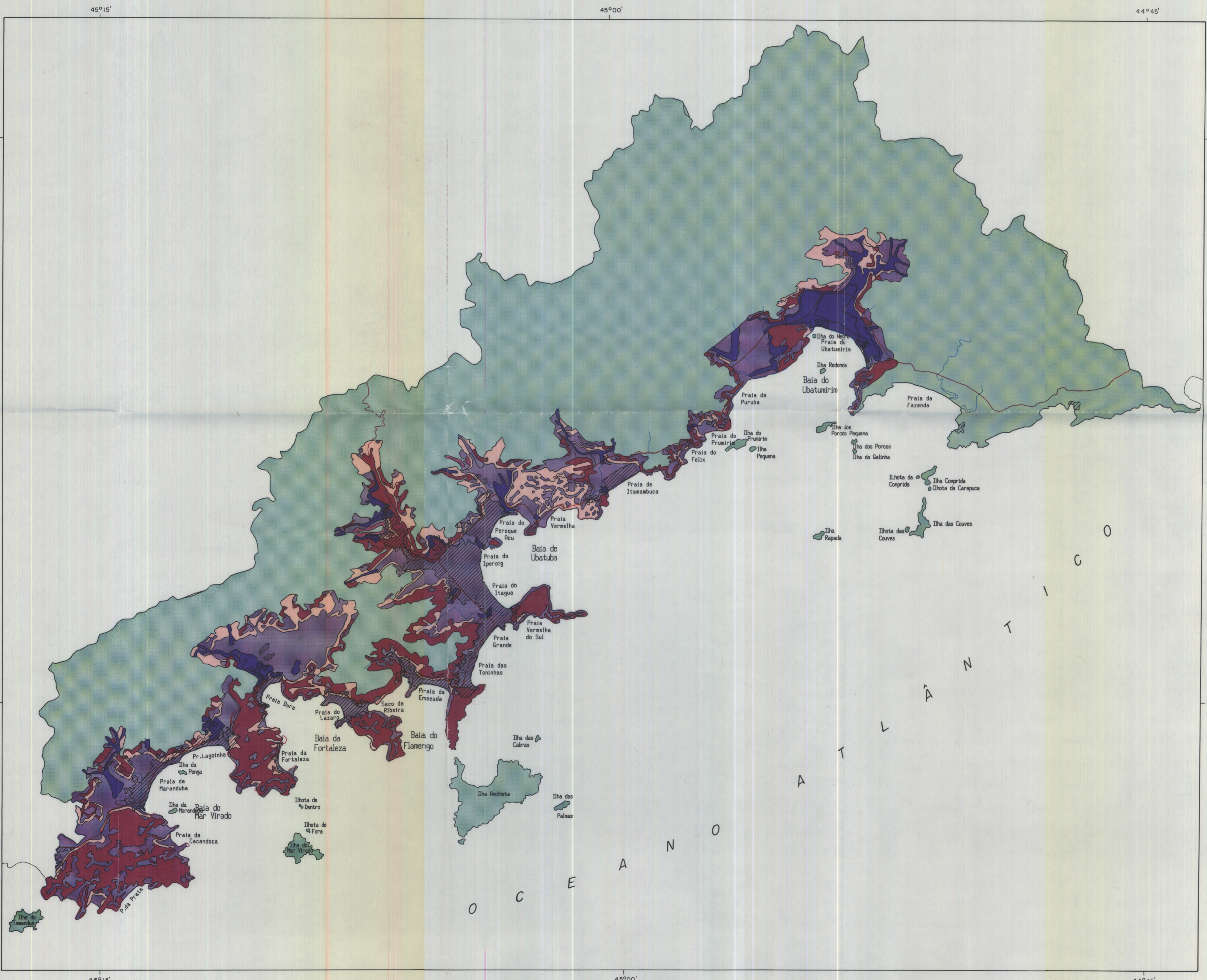
APÊNDICE B

CARTA DO REFERENCIAL AO USO URBANO
DO MUNICÍPIO DE UBATUBA

MAPA REFERENCIAL PARA USO URBANO NO MUNICÍPIO DE UBATUBA

LEGENDA

- Área com restrições II a ocupação
- Área com restrições I a ocupação
- Área com restrições III a ocupação
- Área com restrições IV a ocupação
- Área de ocupação urbana em 1989
- Pque.Est.Serra do Mar
- Pque.Est.da Ilha Anchieta



NOTAS DE CRÉDITO

As classes de restrições foram definidas e agrupadas com base na CARTA GEOTÉCNICA DO MUNICÍPIO DE UBATUBA, elaborada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) em 1991.

A área de ocupação urbana foi mapeada através da interpretação de imagens fotográficas de TM/LANDSAT de 1989 (banda 3).

ESCALA 1:100.000