



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-7510-PUD/39

**MAPEAMENTO MULTITEMPORAL DO USO E COBERTURA DO
SOLO DO MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO - SP, UTILIZANDO
TÉCNICAS DE SEGMENTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE
IMAGENS TM - LANDSAT E HRV – SPOT**

Ana Cristina Machado Rodríguez

Publicado em cumprimento aos requisitos exigidos para a obtenção do título de Especialista em Sensoriamento Remoto, orientada pelos pesquisadores Pedro Hernandez Filho e Maurício Alves Moreira.

Ao meu esposo, José Luis e à Kika, pela paciência,
companheirismo e amor durante este trabalho.

Bom mesmo é ir à luta com determinação, abraçar a vida e viver com paixão, perder com classe e vencer com ousadia, pois o triunfo pertence a quem mais se atreve ... e a vida é muito para ser insignificante (Charles Chaplin).

AGRADECIMENTOS

À Dra. Tânia Maria Sausen pela amizade, ensinamentos, oportunidade, e acima de tudo por ter acreditado em mim.

Ao Orientador e pesquisador Pedro Hernandez Filho, pela motivação, empenho, discussões e ajuda na orientação deste trabalho de pesquisa.

Ao Dr. Maurício Alves Moreira por ter aceitado orientar-me na área de processamento de imagens e pela paciência alegada neste trabalho de pesquisa.

Aos doutores Bernado Ruddorf, Yosio Edemir Shimabukuro e Carlos Moreira pelo apoio e atenção depositada em mim.

A FUNCAT, especialmente a Dra. Jussara Medeiros pelo apoio e a doação de materiais.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de pesquisa.

Ao Departamento de Sensoriamento Remoto do INPE, em particular a Maria Cristina dos Santos e a Fabiana de Lima.

Ao Laboratório de Monitoramento de Recursos Naturais Agronômicos e Florestais, em particular ao amigo Luigi Carli Marroni Aulicino.

Aos amigos Joaquim e Coimbra pela amizade e incentivo durante a realização deste trabalho.

Às funcionárias da Biblioteca, com especial atenção a Suelena Costa Braga Coelho e Silvia Castro Braga Coelho que, com extrema boa vontade e carinho, sempre estavam dispostas a ajudar.

A todos colegas do INPE que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho de pesquisa.

RESUMO

A constante influência do homem no meio ambiente tem se tornado uma importante problemática para a preservação e conservação dos recursos naturais. Portanto, o estudo das alterações ocorridas com o passar dos anos, tem sido de grande importância para os órgãos governamentais tanto em nível estadual como federal. O objetivo deste trabalho de pesquisa é apresentar um mapeamento multitemporal do uso e cobertura do solo através de imagens TM e HRV dos satélites Landsat 5 e Spot 3 respectivamente. A área de estudo, com uma extensão de 400,97 Km², corresponde ao Município de São Sebastião que pertence à região administrativa de São José dos Campos. Este município, localizado no Litoral Norte do Estado de São Paulo, foi escolhido por apresentar diversidades de uso e ocupação do solo e também uma pressão da expansão urbana nos últimos anos. Neste estudo foram utilizadas as imagens do sensor TM (bandas 3, 4 e 5) referentes aos anos de 1988 e 1997, assim como imagens do sensor HRV (pancromática) do ano 1999. A partir destas imagens foram gerados mapas de uso e cobertura do solo na escala 1: 50.000 utilizando algoritmos de segmentação (crescimento de regiões) e classificação supervisionada (distância de Bhattacharyya) de imagens. A dinâmica do uso e cobertura do solo foi obtida através do cruzamento de PIs temáticos utilizando-se a Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL) do *software* de geoprocessamento SPRING. Os resultados obtidos demonstraram a alta tendência do crescimento urbano. Isto deve alertar as organizações competentes a tomar providências no intuito de diminuir a degradação dos recursos naturais. Assim, recomenda-se a implantação imediata de um plano diretor baseado no Zoneamento Ecológico - Econômico do município.

LAND USE AND COVER MULTITEMPORAL MAPPING OF SÃO SEBASTIÃO-SP
MUNICIPALITY USING SEGMENTATION AND CLASSIFICATION TECHNIQUES OF
TM-LANDSAT AND HRV-SPOT IMAGES

ABSTRACT

The permanent human influence on the environment had become an important problem for preservation and conservation of the natural resources. Therefore, the study of changes occurred during the pass of the years, has been of great importance for the governments in state and federal level. The objective of this research work is to show a multi-temporal mapping of land use and cover using TM and HRV images from Landsat 5 and Spot 3 satellites. The study area with an extension of 400, 97 Km² corresponds to the municipality of São Sebastião that belongs to the administrative region of São José dos Campos. Their land use diversity and urban growth rates, especially in the last years, chose this municipality, located in the north coast of São Paulo State. TM-Landsat images (bands 3, 4 and 5) referring to 1988 and 1997 years and HRV-Spot (panchromatic-1999) image were used in this study. From these images, land use and cover maps in 1:50.000 scale, were created using segmentation (growing regions) and supervised classification (Bhattacharrya distance) algorithms. The land use and cover dynamic was obtained through the crossing of thematic layers using the LEGAL language from the SPRING software. The high tendency of the urban growth in the municipality was confirmed by the obtained results. This should alert to the responsible organizations to take measures guided to diminish the degradation of the natural resources. The immediate implantation of managing plan based on the Ecological – Economic study of the municipality is highly recommended.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	12
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 – Sensoriamento Remoto	16
2.1.1 – Landsat	17
2.1.2 – SPOT	18
2.2 - Comportamento Espectral da Vegetação	19
2.2 - Comportamento Espectral dos Solos	23
2.3 – Comportamento Espectral de outros Alvos	26
CAPÍTULO 3 – ÁREA DE ESTUDO	27
3.1 - Localização	27
3.2 - Características Físico – Geográficas	28
3.2.1 - Geologia	28
3.2.2 - Geomorfologia	28
3.2.3 - Solos	29
3.2.4 - Cobertura Vegetal	30
3.2.5 - Clima	31
3.3 - Características Sócio - Econômicas	32
CAPÍTULO 4 - MATERIAIS E MÉTODO	33
4.1 - Materiais e Equipamentos	33
4.1.1 - Dados Orbitais	33
4.1.2 - Dados Cartográficos	34
4.1.3 - Aplicativo Computacional	35
4.1.4 - Equipamentos	36
4.2 - Metodologia	36
4.2.1 - Criação do Banco de Dados	38
4.2.2 - Processamento Digital	39
4.3 - Edição e Confeção de Mapas	48
4.4 - Trabalho de Campo	49
4.5 – Cruzamento das Imagens Classificadas	50

	<u>Pág.</u>
CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
5.1 - Análise dos Mapas Temáticos através do Cruzamento de Pi's Temáticos	54
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
APÊNDICE A – RESULTADOS DA OBSERVAÇÃO REALIZADA DURANTE O TRABALHO DE CAMPO	73
APÊNDICE B - MAPAS DE USO E COBERTURA DO SOLO (1988, 1997 E 1999) GERADOS A PARTIR DAS IMAGENS DE SATÉLITE	76
APÊNDICE C - MAPA DA DINÂMICA DE USO E COBERTURA DO SOLO DO MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO GERADO A PARTIR DO CRUZAMENTO DE PI'S TEMÁTICOS DOS ANOS 1988, 1997 E 1999	80
APÊNDICE D - PROGRAMAS COMPUTACIONAIS	82

LISTAS DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 – Curva média típica do comportamento espectral da uma folha verde sadia	20
2.2 – Esquema do sistema de sensoriamento remoto da vegetação	22
3.1 - Mapa de localização da área de estudo.....	27
3.2 – Composição colorida com as bandas 5 (R), 4 (G) e 3 (B) da imagem TM Landsat com o limite do município de São Sebastião.....	30
4.1 – Fluxograma de atividades.....	37
4.2 – Imagem da região oeste do município de São Sebastião sem contraste (A) e contrastada (B), obtida no ano de 1988.....	41
4.3 – Região oeste do município de São Sebastião (TM 543 e 453 RGB) do ano de 1988.....	42
4.4 – Região oeste do município de São Sebastião (SPOT/Pancromática) do ano de 1999.....	42
4.5 – Imagem do Landsat TM do município de São Sebastião, bandas 4, 5, 3 (RGB) de 1988.....	43
4.6 – Região oeste do município de São Sebastião (Imagem segmentada TM 543 (RGB) de 1997.....	45
4.7 – Imagem Landsat TM (345-RGB) e Mapa de uso e cobertura do solo do ano de 1997 do município de São Sebastião	49
5.1 – Gráficos da dinâmica de uso e cobertura do solo do município de São Sebastião nos anos de 1988, 1997 e 1999	54
5.2 – Ocorrência de Floresta Primária e Secundária (localizado no topo do morro)	55
5.3 – Presença de restinga de porte arbustivo (localizado na área abaixo da floresta).....	56
5.4 – Ocorrência de Área Degradada (localizado em parte do topo morro)	57
5.5 – Presença de Pastagem e/ ou Campo Antrópico (localizado no topo do morro.....	58

	<u>Pág.</u>
5.6 – Presença de Afloramento Rochoso (próximo a Praia de Baraquecaba)	59
5.7 – Ocorrência de Culturas Mistas como milho e banana	59
5.8 – Plantação de Beringela caracterizando a classe de Culturas Mistas	60
5.9 – Presença de Área Desmatada já apresentando regeneração	61
5.10 – Ocorrência de Área Urbana (próximo ao centro de São Sebastião)	61
5.11 – Caracterização da área urbana (próximo aos tanques da PETROBRAS)	62
5.12 – Ocorrência de Praia (próximo a Rodovia SP-101)	62

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 – Principais aplicações dos canais do sensor TM	18
2.2 – Características do sensor HRV-SPOT	19
4.1 – Imagens do Landsat /TM e SPOT/HRV	33
4.2 – Documentos Cartográficos	34
5.1 – Análise das amostras dos anos de 1988, 1997 e 1999	52

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A análise do uso e cobertura do solo, mediante informações de Sensoriamento Remoto, constitui uma técnica de grande utilidade ao planejamento e administração da ocupação ordenada e racional do meio físico, além de possibilitar avaliar e monitorar a preservação de áreas de vegetação natural. Através da interpretação de imagens de satélite obtém-se, de forma rápida, um mapa temático atualizado e preciso das diferentes estruturas espaciais resultantes do processo de ocupação e uso do solo.

O Sensoriamento Remoto é, sem dúvida, uma ferramenta que auxilia de maneira importante na caracterização do meio físico, biótipo e áreas submetidas ao processo de antropismo. O uso integrado de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento, através do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), tem levado, nestes últimos anos, ao desenvolvimento de trabalhos que aproveitam estas facilidades computacionais e onde a atividade humana e a disponibilidade de recursos naturais, constituem os alvos principais de atenção (Mazzocato, 1998).

Segundo Padilha (1996), os produtos de sensoriamento remoto, tanto imagens orbitais como fotografias aéreas, são de extrema necessidade para analisar o processo de planejamento e reestruturação do ambiente urbano. Para Loch e Kirchner (1988), esses produtos permitem a identificação de origens e características dos agentes modificadores do espaço, além permitirem o mapeamento e a verificação da extensão e da intensidade das alterações provocadas pelo homem.

Valente (1996), mostrou a utilidade das técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas na determinação de áreas de ocupação a partir de um estudo realizado na região metropolitana de Porto Alegre. Neste estudo ficou evidenciado, também, a importância do uso de dados multiespectrais e temporais para uma atualização dos mapas existentes de cobertura vegetal e de uso da terra.

Vários estudos têm sido realizados com o objetivo de fazer o monitoramento da vegetação utilizando dados multiespectrais e temporais. Dentre eles destacam-se os estudos realizados por Shimabukuro et al. (1997), sobre a cobertura vegetal do estado de São Paulo e Rodríguez Yi (1997), no mapeamento e monitoramento de vegetação no estado do Mato Grosso.

Estudos feitos por Lucas et al. (1993); Brondizio et al. (1994) e Alves e Skole (no prelo), enfatizam a importância da utilização de dados multitemporais, coletados por sensores orbitais, para avaliar áreas de vegetação secundária em locais abandonados após terem sido desmatado.

Além, do monitoramento de vegetação, existem vários estudos relacionados com o monitoramento do crescimento urbano utilizando dados de sensores remotos. Dentre eles pode-se citar os estudos feitos por Vieira et al., (1991) sobre a avaliação da expansão urbana no município de Ubatuba - SP, utilizando dados de sensores orbitais e por Foresti (1987), onde a autora analisou o impacto ambiental da expansão urbana no setor oeste da área metropolitana da cidade de São Paulo através de dados e técnicas de sensoriamento remoto.

O monitoramento do crescente desenvolvimento urbano a partir de técnicas automáticas e interpretações visuais de produtos de Sensoriamento Remoto; vêm sendo utilizado também de forma eficiente no controle e planejamento urbano de grandes cidades (Niero et al, 1982 e Oliveira et al, 1984). Neste contexto, destaca-se o projeto MAVALE que contém uma metodologia detalhada sobre o estudo de controle do processo de expansão urbana nos eixos da via Dutra, Litoral norte e Campos do Jordão (Kurkdjian et al., 1991). Os resultados deste estudo demonstraram que era preciso adequar o Litoral às restrições urbanísticas e ambientais com ênfase nas questões do saneamento básico, na restrição da ocupação das encostas e principalmente na preservação dos ecossistemas litorâneos.

Quanto às técnicas de processamento digital de dados coletados por sensores remotos, Câmara et al. (1992), desenvolveram uma técnica automática de segmentação de imagens, a qual foi implementada no Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas –

SPRING. Esta técnica baseia-se no crescimento de regiões e em um classificador não supervisionado (Bins et al, 1992). Através desta abordagem podem-se delimitar áreas de ocupação do solo, utilizando combinações de imagens contendo informações espectrais da área imageada em diferentes bandas do espectro eletromagnético. Além disso, permite ao usuário controlar o tamanho mínimo das áreas que se deseja monitorar e a diferença mínima entre os níveis de cinza para a definição de uma borda entre áreas. A segmentação tem mostrado um bom potencial para ser usada em tarefas de elaboração de mapas de uso da terra, graças à delimitação eficiente de áreas.

A técnica de segmentação aliada à classificação de dados orbitais por métodos computacionais, tem sido empregada no mapeamento de recursos naturais com bastante sucesso. Por exemplo, Hernandez et. al. (1994), utilizaram a interpretação visual e a classificação digital por regiões de imagens Landsat/TM, no mapeamento do uso da terra e áreas de regeneração da vegetação na Floresta Nacional do Tapajós. Ambas metodologias mostraram boa concordância segundo os resultados obtidos através da estatística Kappa.

Encorajado pelo sucesso obtidos pelos autores supra citados, a respeito do uso das técnicas de sensoriamento remoto na solução de problemas relacionados com o planejamento e administração da ocupação de áreas agro-pastoris e urbanas, nesta pesquisa procurou-se aplicar os conhecimentos das técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento no estudo da dinâmica de uso e cobertura do solo no município de São Sebastião – SP, através do uso de dados digitais dos sensores TM-Landsat e HRV-SPOT. Assim, para a presente pesquisa tem como objetivos:

Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral analisar a dinâmica do uso e cobertura do solo do município de São Sebastião nos últimos 10 (dez) anos, utilizando dados multitemporais do TM-Landsat e do HRV-SPOT, obtidos nos anos de 1988, 1997 e 1999.

Para atender a este objetivo geral, os tipos de categorias ou classes de uso do solo obtidos neste trabalho serão integrados dentro de um banco de dados no SPRING, para gerar mapas

de classificação de potencialidade do solo, com base na vulnerabilidade a certas práticas de manejo, e potencial para atividades de ocupação antrópica.

Objetivos Específicos

- a) Gerar mapas contendo a distribuição espacial de uso e cobertura do solo em escala de 1: 50.000, para caracterizar os diferentes tipos de uso nos anos de 1988, 1997 e 1999 no município.
- b) Utilizar técnicas de segmentação por regiões e cruzamentos dos resultados obtidos em cada data de aquisição dos dados orbitais e gerar um mapa final, na escala 1: 100.000, contendo a distribuição espacial das mudanças ocorridas no uso e cobertura do solo no período considerado.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 – SENSORIAMENTO REMOTO

O Sensoriamento Remoto é definido um conjunto de “hardwares” e “softwares” utilizados na coleta e tratamento de informações espectrais obtidas à distância, de alvos na superfície terrestre.

Na literatura é encontrada várias formas e critérios empregados na definição de sensoriamento remoto. Para Lillesand (1987), o sensoriamento remoto é a ciência de obter informações de um determinado objeto, área ou fenômeno através da análise dos dados adquiridos sem o contato direto com os objetos investigados. Já Novo (1989), define o sensoriamento remoto como sendo a utilização de modernos sensores, aeronaves, espaçonaves, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a Radiação Eletromagnética (REM) e as substâncias existentes na superfície terrestre em suas mais diversas manifestações.

No sensoriamento remoto, a maioria dos sensores utilizados para quantificar a REM, proveniente dos alvos na superfície da Terra, utiliza como fonte de radiação o sol, exceto os sensores ativos (radares e laser) que possuem suas próprias fontes de radiação.

A radiação eletromagnética (REM) é uma forma de transmissão da energia que consiste na aceleração de uma carga elétrica que provoca perturbações no campo elétrico e magnético, se propagando no vácuo (Novo, 1989). Quando essa radiação interage com a matéria, o resultado desta interação dependerá das propriedades elétricas e magnéticas do material.

A REM após atravessar a atmosfera atinge alvos na superfície terrestre e interage com os mesmos. Como resultado dessa interação, a energia incidente é fracionada em três componentes, ou seja: parte é absorvida, parte é transmitida parte é refletida de volta para o espaço. Além disso, os alvos também emitem a radiação eletromagnética, resultante de reações físico-químicas que ocorre ao nível atômico e moleculares de cada alvo. Assim, é possível analisar as condições dos alvos na superfície terrestre, através do emprego de sensores que captam a radiação refletida ou emitida por eles. Segundo Rosa (1992), os

níveis de coleta de dados por sensoriamento remoto são, em geral, agrupados em três categorias: terrestre, sub-orbital e orbital.

No presente trabalho foram utilizadas informações obtidas por dois diferentes sistemas sensores orbitais, ou seja: o sensor TM (Thematic Mapper), a bordo dos satélites LANDSAT e o HRV/SPOT (High Resolution Visible/ System e Probatoire d'Observation de La Terre).

2.1.1 – Landsat

O programa Landsat foi desenvolvido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) no início dos anos 70 (Novo, 1989). Este programa fez o lançamento de pelo menos sete satélites, e atualmente encontra-se em operação o Landsat 5 e o Landsat 7.

O Landsat 5 apresenta uma órbita quase polar de aproximadamente 98° de inclinação, se posicionando de forma hélio-síncrona, girando em órbita da Terra a uma altitude de 705 Km. A Faixa de imageamento do sensor TM é 185 X 185 Km, apresenta uma resolução temporal de mais ou menos 16 dias (Chuvieco, 1990).

Existem dois sensores a bordo do satélite Landsat 5, o MSS (Multispectral Scanner Subsystem) e o TM (Thematic Mapper). No Brasil, quase que a totalidade dos trabalhos desenvolvidos na área de recursos naturais, utiliza dados coletados pelo sensor TM (Novo, 1989).

O sensor TM/Landsat possui uma resolução espacial de 30m x 30 m nas bandas localizadas no visível e infravermelho próximo e médio, e uma resolução de 120m x 120m na banda do infravermelho termal (Tabela 2.1).

TABELA 2.1. – PRINCIPAIS APLICAÇÕES DOS CANAIS DO SENSOR TM

CANAL	FAIXA ESPECTRAL (μm)	APLICAÇÕES
1	0,45 – 0,52	Mapeamento de águas costeiras; Diferenciação entre solo e vegetação; Diferenciação entre vegetação coníferas e decídua;
2	0,52 – 0,60	Reflectância de vegetação verde sadia;
3	0,63 – 0,69	Absorção da clorofila; Diferenciação de espécies vegetais;
4	0,76 – 0,90	Levantamento de biomassa; Delineamento de corpos d'água;
5	1,55 – 1,75	Medidas de umidade de vegetação; Diferenciação entre nuvens e neve;
6	10,4 – 12,5	Mapeamento de estresse térmico em plantas; Outros mapeamentos térmicos;
7	2,08 – 2,35	Mapeamento hidrotermal.

FONTE : Novo (1989), p. 149

2.1.2 – SPOT

O programa SPOT começou a ser desenvolvido pelo CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) na França, em 1977 e teve a colaboração da Bélgica e da Suécia (Chuvieco, 1990). O quarto satélite da série, o SPOT 4 foi lançado em 24 de março de 1998, porém o satélite SPOT 3 ainda continua operando normalmente.

O satélite SPOT orbita a Terra a uma altitude de 832 Km de altura e apresenta uma órbita polar síncrona com o Sol mantendo uma inclinação de $98^{\circ}7'$ em relação ao plano equatorial (Novo, 1989).

O SPOT possui uma resolução temporal de 26 dias que pode ser reduzida até 2–3 dias dependendo da latitude, devido à capacidade de variação do ângulo de observação do sensor. O satélite leva a bordo dois sensores de alta resolução, o HRV (Hight Resolution

Visible) com 10m x10m de resolução espacial no modo pancromático e 20m x 20m no modo multiespectral (Tabela 2.2).

TABELA 2.2 – CARACTERÍSTICAS DO SENSOR HRV - SPOT

BANDA	FAIXA ESPECTRAL (μm)	RESOLUÇÃO (m)
XS1	0,50 – 0,59	20
XS2	0,61 – 0,68	20
XS3	0,79 – 0,89	20
PAN	0,51 – 0,73	10

FONTE: Chuvieco (1990), p. 125

2.2 - COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO

Para o conhecimento mais completo da vegetação, o progresso técnico-científico atual exige da comunidade científica a aplicação de novos enfoques metodológicos assim como a aplicação das mais modernas ferramentas e tecnologias. Nesse contexto, o sensoriamento remoto, as técnicas de processamento digital de imagens e os sistemas de informações geográficas têm muitos a oferecer.

Para o estudo do comportamento espectral da vegetação é preciso considerar dois aspectos: um as folhas como entidades independentes e outro relativo ao dossel.

As propriedades espectrais da vegetação podem ser representadas pelos processos de absorvância, reflectância e transmitância, podendo cada uma ser hemisférica ou bidirecional (Ponzoni e Shimabukuro, 1991).

A energia radiante incidente, ao interagir com a folha, é parcialmente absorvida, transmitida e refletida. A energia absorvida seletivamente em determinados comprimentos de onda pelos pigmentos das plantas é, em parte, dissipada na forma de calor ou

fluorescência, sendo que apenas uma pequena parcela da energia é armazenada em forma de compostos orgânicos através da fotossíntese (Gates et al., 1965).

As propriedades espectrais de uma folha são função de sua composição, morfologia e estrutura interna, e podem variar com a sua idade dentro do mesmo grupo genético (Kumar, 1972).

Na Figura 2.1, é representada a curva média típica de uma folha verde sadia. Nessa figura, verifica-se que a região do visível (0,45 - 0,70 μm) caracteriza-se por uma alta absorção da REM por parte dos pigmentos existentes nos cloroplastos. Eles são os responsáveis pela baixa reflectância da vegetação na faixa do visível. Esses pigmentos são a clorofila, os carotenos e as xantofilas presentes nas folhas em percentagens variadas (Kumar, 1972).

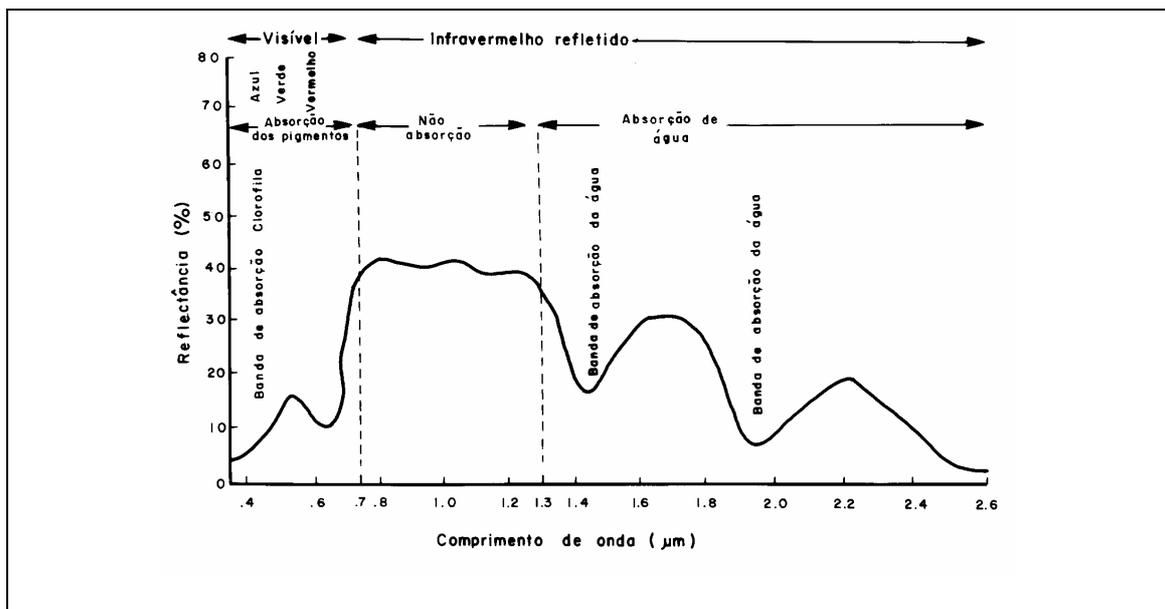


Figura 2.1 - Curva média típica do comportamento espectral de uma folha verde sadia.
FONTE: Kumar (1972), p. 7.

Na região do infravermelho próximo (0,7-1,3 μm), a energia radiante interage com a estrutura da folha; a reflectância espectral é geralmente constante e tem valores altos, e o espalhamento da REM pelas folhas é considerável. A absorção por parte da água é também muito baixa e tem pouca influência na reflectância das folhas (Kumar, 1972).

A região do infravermelho médio (1,3 - 2,6 μm) é dominada pela absorvância das moléculas da água contidas na folha. Nesta região espectral a presença da água propicia três picos de maior absorção que ocorrem nos comprimentos de onda de 1,4; 1,9 e 2,6 μm (Kumar, 1972).

Na região do infravermelho termal (3,0 - 20,0 μm), a energia resulta fundamentalmente de vibrações moleculares devido à temperatura dos corpos. Assim, a radiação termal da vegetação depende da energia emitida pelas folhas, de sua emissividade e temperatura absoluta, encontrando-se intrinsecamente relacionada com o ambiente circundante, com a fisiologia foliar e com a disponibilidade hídrica. Esta faixa é geralmente indicada para a detecção de estresse hídrico, composição de florestas e quantidade de biomassa (Gates, 1970).

O dossel é composto pelo conjunto de diferentes tipos de elementos da vegetação como: folhas, galhos, frutas, flores etc. (Goel, 1988). A interação da REM com a cobertura vegetal é complexa devido aos próprios parâmetros que compõem a arquitetura do dossel, e o fato de ele ser geralmente composto por diferentes espécies vegetais.

O fluxo de radiação solar incidente sobre um dossel é constituído por duas partes: uma fração da radiação que não é nem absorvida nem espalhada pela atmosfera, denominada fluxo direto, e outra fração espalhada pela atmosfera na direção descendente e que incide sobre o dossel de forma difusa, denominada de radiação difusa ou do céu.

Segundo Goel (1988), o fluxo solar incidente sobre um dossel, e sua radiância, ou seja, o fluxo que atinge o sensor, depende não só das propriedades de absorção ou espalhamento dos elementos que compõem a vegetação, como também da orientação e densidade dos elementos.

O sensor recebe vários tipos de fluxos:

1. Fluxo espalhado por um elemento único da vegetação (espalhamento simples) num instante determinado de tempo;
2. Fluxo espalhado por diferentes elementos da vegetação em diferentes momentos de tempo (espalhamento múltiplo) que não atingiu o solo;

3. Fluxo refletido pelo solo que não é interceptado por outro elemento da vegetação, ou é interceptado e espalhado na direção do sensor.

Na Figura 2.2 é representado o sistema total envolvido no sensoriamento remoto da vegetação, a partir de sua reflectância, é constituído pela fonte de radiação (a_i), pela atmosfera (b_i) que representa o meio de propagação, pelo dossel (c_i), pelo solo (d_i) e pelo sensor (r_i). As características radiométricas do sensor são determinadas pelo detector (e_i) (Goel, 1988).

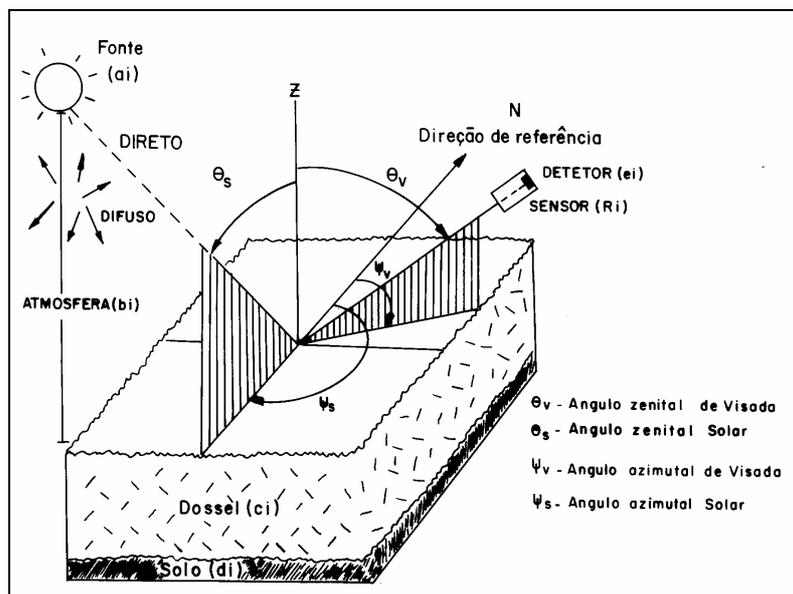


Figura 2.2 - Esquema do sistema de sensoriamento remoto da vegetação.
 FONTE: Modificada de Danson (1985), p. 41 e Goel (1988), p. 3.

A reflectância do dossel é produto da interação entre a radiação solar, a atmosfera, os elementos da vegetação e o solo. A análise da reflectância proveniente do dossel é muito complexa devido ao grande número de variáveis envolvidas (Kumar, 1972; Pinter et al., 1985; Goel, 1988; Curran e Wardley, 1988;).

Segundo Colwell (1974), o fator de reflectância espectral bidirecional de folhas é o parâmetro fundamental para a caracterização do dossel. Outros parâmetros são: transmitância das folhas, quantidade e arranjo do dossel (galhos, frutos etc.), características do solo, ângulo zenital solar, ângulo de visada e ângulo azimutal relativo (da fonte e do sensor).

Para a melhor compreensão da importância e influência de cada um destes parâmetros, no sinal que finalmente atinge o sensor, foram desenvolvidos diferentes modelos matemáticos baseados na interação da radiação com o dossel. Existem, assim, numerosos modelos que descrevem esta interação como, por exemplo, os modelos de Egbert (1977), Jackson et al. (1979), Otterman (1981, 1984), Jupp et al. (1986) entre outros, destacando-se o modelo SAIL proposto por Verhoef e Bunnik (1981) e posteriormente por Goel (1988). Este modelo enfatiza a Distribuição Angular das Folhas (DAF), considerando a reflectância do dossel como dependente da geometria de iluminação e dos parâmetros arquitetônicos e espectrais de seus elementos constituintes (Ponzoni, 1993).

O modelo de reflectância do dossel fornece a conexão lógica entre as características botânicas e biofísicas do dossel, a geometria da interação radiométrica e as mudanças resultantes da radiação refletida (Goel, 1988).

As folhas constituem o elemento dominante no processo de transferência de energia do dossel. Segundo Kimes e Kirchner (1983), a estrutura do dossel pode ser matematicamente descrita por diferentes parâmetros físicos como: a distribuição das plantas sobre o terreno, o Índice de Área Foliar (IAF), a densidade espacial das folhas e a distribuição da inclinação azimutal das folhas. Para o sensoriamento remoto, a estrutura do dossel é de grande importância, pois descreve como é espalhada ou refletida a radiação por cada elemento (folha) individualmente.

2.2 - COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS SOLOS

Os principais parâmetros que influenciam o comportamento espectral dos solos são os seguintes:

- **Umidade:** geralmente os solos se apresentam mais escuros quando úmidos do que quando secos. Segundo Formaggio (1999), isso é devido às reflexões internas dentro do fino filme de água que recobre as partículas do solo. Uma parte da energia não seria refletida, mas sim novamente refletida entre a superfície da partícula e a superfície do filme de água;

A curva espectral não muda de formato quando se umedece o solo e a diminuição da reflectância é maior quando são umedecidos solos com pouca matéria orgânica (MO) do que solos com alto conteúdo MO

As bandas de absorção de água afetam a forma das curvas de reflectância dos solos. Existem as faixas principais (1,45 - 1,95 μm) e as secundárias ou fracas (0,97; 1,20 e 1,77 μm), onde estas três últimas são combinações das três frequências vibracionais fundamentais da molécula de água, que ocorrem fora de 2,5 μm .

- **Matéria orgânica:** à medida em que o conteúdo de MO aumenta, a reflectância do solo diminui, no intervalo entre 0,4 e 2,5 μm .

Os constituintes orgânicos (ácidos húmicos, úlvico e compostos não-específicos, incluindo resíduos de plantas em decomposição) influenciam a reflectância do solo em diferentes graus, embora a contribuição de cada um seja difícil de quantificar.

Segundo Formaggio (1999), a reflectância entre 0,60 e 1,10 μm tem as melhores correlações com certos constituintes orgânicos; porém, há necessidade de melhores técnicas para determinar os constituintes orgânicos.

O intervalo entre 0,90 e 1,22 μm é o melhor para mapear carbono orgânico dos solos.

Os comprimentos de onda até 1,2 μm são os melhores para separar níveis de MO dos solos, isto é, a discriminação é maior na faixa do visível e do infravermelho próximo.

- **Granulometria:** o tamanho e a forma das partículas, bem como o tamanho e a forma dos agregados do solo (resultantes de uma trituração branda) parecem influir na reflectância do solo de várias maneiras.

Formaggio (1999), encontrou que as partículas finas preenchem um volume mais completamente e formavam uma superfície mais plana. Agregados grossos (tendo uma forma irregular) formavam uma superfície complexa, com um grande número de espaços inter-agregados. À medida em que a luz incide nos agregados grandes (de formas irregulares), grande parte do fluxo incidente penetra nas "armadilhas" de luz e é completamente extinto.

- **Óxidos de Ferro** : são muito importantes para solos tropicais altamente intemperizados. O tipo e a quantidade relativa de óxidos de ferro influenciam as cores dos solos, que variam de vermelhos a amarelos, os quais são ricos em argilas sesquioxídicas.

Os solos com elevado conteúdo de ferro poderiam ser facilmente distinguidos pela inflexão característica dada pelo Fe_2O_3 (Formaggio,1999).

O conteúdo de óxido de ferro livre do solo é significativo (em termos de influência espectral) tanto no visível quanto no infravermelho, porém, a significância aumenta com o aumento dos comprimentos de onda e a presença de MO não diminui a contribuição do ferro para a reflectância do solo.

- **Mineralogia de argila**: nos espectros dos minerais de argila dos grupos Montmorilonita e Caulinita, as principais feições de absorção se devem à presença de água.

As bandas de absorção de 1,4 e 1,9 μm (absorção muito forte) ocorrem devidas à água molecular confinada, típica das Montmorilonitas. E no intervalo centrado em 1,4 e 2,2 μm (forte) são típicas da reflectância da Caulinita, enquanto que a falta de água confinada em quantidade apreciável resulta em somente uma banda de absorção em 1,9 μm (absorção fraca).

- **Material de origem**: as curvas de reflectância para solos desenvolvidos de calcários, de argilitos e de arenitos exibem formas características contrastantes.

O Latossolo vermelho escuro da região de Barretos - SP (proveniente de arenito Bauru sem cimento calcário) apresenta comportamento espectral distinto de Latossolo vermelho escuro da região de Leme – SP, proveniente de argilitos (Formaggio, 1999).

As intensidades de reflectância das rochas ígneas diminuem a partir das formas ácidas, passando pelas intermediárias, pelas básicas e até as ultra-básicas, as quais sempre mostram uma banda de absorção bem definida de ferro-ferroso próximo de 1,0 μm (Formaggio, 1999).

Portanto, áreas geográficas de material de origem similar podem ser melhor estudadas separadamente quando se objetiva relacionar a reflectância com outros parâmetros do solo como: a cor, a capacidade de troca catiônica, as condições de drenagem interna do solo, a temperatura, a localização (condições de umidade macro-regional) e as condições de superfície, entre outros.

2.3 – COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE OUTROS ALVOS

Segundo Novo (1989), o comportamento espectral da água pode se caracterizado em seus diferentes estados físicos, líquido, gasoso (nuvens) ou ainda sólido (neve). No estado líquido, a água apresenta uma baixa reflectância (0,38 à 0,70 μm), como nuvem apresenta uma altíssima reflectância (0,38 à 2,5 μm) e a neve que apresenta reflectância ainda maior que as nuvens (0,7 à 1,2 e 1,2 à 1,4 μm).

O comportamento espectral das sombras tanto topográficas como de nuvens se apresenta de forma linear com valores de ND (número digital) ou nível de cinza próximo a zero, não se obtendo informações devido a presença de pouquíssima radiação solar (Crósta, 1992). No entanto para o estudo de formas de relevo e feições geológicas, as sombras topográficas são de grande utilidade para a análise das estruturas geológicas.

CAPÍTULO 3

ÁREA DE ESTUDO

3.1 - LOCALIZAÇÃO

O município de São Sebastião está localizado no litoral norte do Estado de São Paulo, na região sudeste do Brasil, aproximadamente entre as coordenadas 23°38'52" e 23°50'30" de latitude Sul e 45°23'44" e 45°50'00" de longitude Oeste (Figura 3.1).

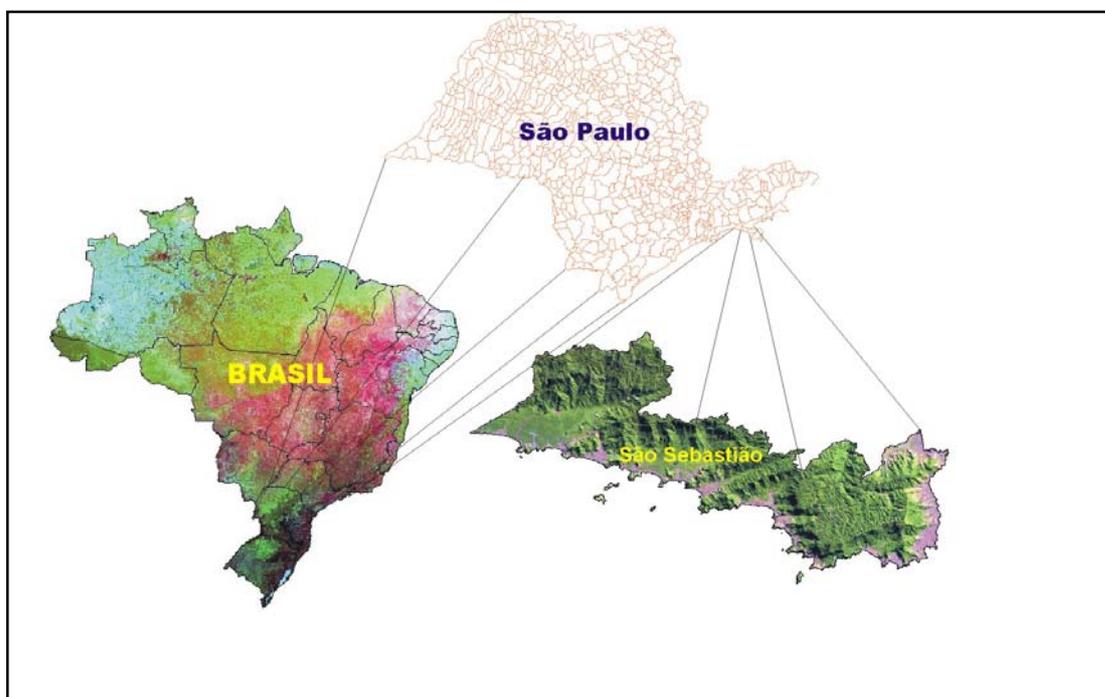


Figura 3.1 - Mapa de localização da área de estudo.

O município contém uma área territorial de aproximadamente de 400,97 Km² (IBGE, 1996) e localiza-se na Província Costeira, incluindo a zona de serra (Subzona Serra do Mar) e zonas de baixas litorâneas (Almeida, 1964).

Ao Norte limitam-se com o município de Ilha Luz, ao Sul com Ilhabela, a Oeste com São Francisco da Praia e Leste com Maresias. O Município se encontra ligado a outras regiões

do Estado através da rodovia Rio - Santos (BR-101), destaca-se também a rodovia Dom Paulo Rolim Loureiro (SP-098) que une Moji da Cruzes a Bertioga e a rodovia dos Tamoios (SP- 099) ligando as cidades de São José dos Campos e Caraguatatuba.

No município de São Sebastião, a drenagem é feita em direção ao mar pelos rios : Grande, Camburi e Riberão dos Pilões.

3.2 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO - GEOGRÁFICAS

3.2.1 - Geologia

Segundo Pires Neto et al. (1988), o município de São Sebastião está localizado em uma região de Baixadas Litorâneas que é caracterizada predominantemente pelas planícies costeiras. Estudos realizados pelo referido autor demonstraram que existe uma discriminação de distintos tipos de depósitos, como planícies de origem mista, depressões úmidas alagadiças, cordões arenosos, planícies aluviais, planície de maré e praias.

A área de estudo está representada por duas unidades geológicas. A primeira unidade é o Complexo Costeiro com idade arqueana, muito heterogênea, onde as rochas sofreram metamorfismo de fácies granulito e anfibolito, assim como migmatização e granitização em graus variados. A segunda unidade é a cobertura Cenozóica com depósitos mais recentes, como baixos terraços marinhos, mangues, aluviões, coluviões e cordões litorâneos areiosos (Mazzocato, 1998).

3.2.2 - Geomorfologia

Conforme o levantamento bibliográfico feito pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo (IPT), a subdivisão do relevo desta região se baseia nos conceitos de províncias, zonas e subzonas geomórficas.

Segunda a classificação de Almeida (1964), a geomorfologia da região caracteriza-se em duas unidades, uma Província Costeira, incluindo a zona de serra (parte do município pertence a subzona Serra do Mar) e outra a Zona de Baixadas Litorâneas.

A Província Costeira funciona como um rebordo do Planalto Atlântico, e está delimitada por escarpas abruptas com forma quase linear da Serra do Mar (condicionadas por linhas de falhas). Apresentando cotas altimétricas que variam de 1200 m (pico do Papagaio - 1183 m) até cota zero metros na beira da praia (Mazzonato, 1998).

Devido à variabilidade das extensões das planícies litorâneas em todo o Estado de São Paulo, é necessário fazer uma separação entre áreas norte e sul. Na área Norte encontra-se o município de São Sebastião apresentando morros litorâneos que chegam a atingir diretamente as águas oceânicas, dominando costas altas intercaladas por pequenas planícies e enseadas que formam "praia de bolso" (Pires Neto et al., 1988).

Segundo a classificação taxonômica do relevo de Ross (1991), os padrões de formas morfológicas do município de São Sebastião se dividem em dois tipos: *Acumulação*, representado por planícies de distintas gêneses e *Denudação*, representado por morros, colinas, serras e formas aplainadas entre outras.

3.2.3 - Solos

Conforme o trabalho do Macrozoneamento da Região do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo (Projeto MAVALE), nesta região ocorre o solo Latossolo Vermelho - Amarelo Álico, caracterizado por textura argilosa revestido por Mata Atlântica. Tal unidade é compreendida por solos minerais com horizonte A latossólico proeminente. Este horizonte A é moderado apresentando dois tipos de relevo: montanhoso e forte ondulado (Kurkdjian et al., 1992).

Com variação desta unidade, ocorre o Cambissolo Álico, caracterizado por textura média e também argilosa. Apresentando relevo montanhoso e escarpado, onde o horizonte A é

moderado e proeminente. Associados a este tipo de horizonte encontram-se os solos Podzólico Hidromórfico, de textura arenosa e Areias Quartzosas Marinhas Distróficas de relevo plano.

3.2.4 - Cobertura Vegetal

O Município de São Sebastião encontra-se sob o regime da Mata Atlântica. Por estar situado neste domínio florestal, o município tem sofrido pouca ação antrópica por ser uma área de constante vigilância no sentido de preservar a Mata Atlântica. Este fato pode ser observado na Figura 3.2, numa imagem em composição colorida obtida pelo sensor TM do Landsat-5, do ano de 1998.

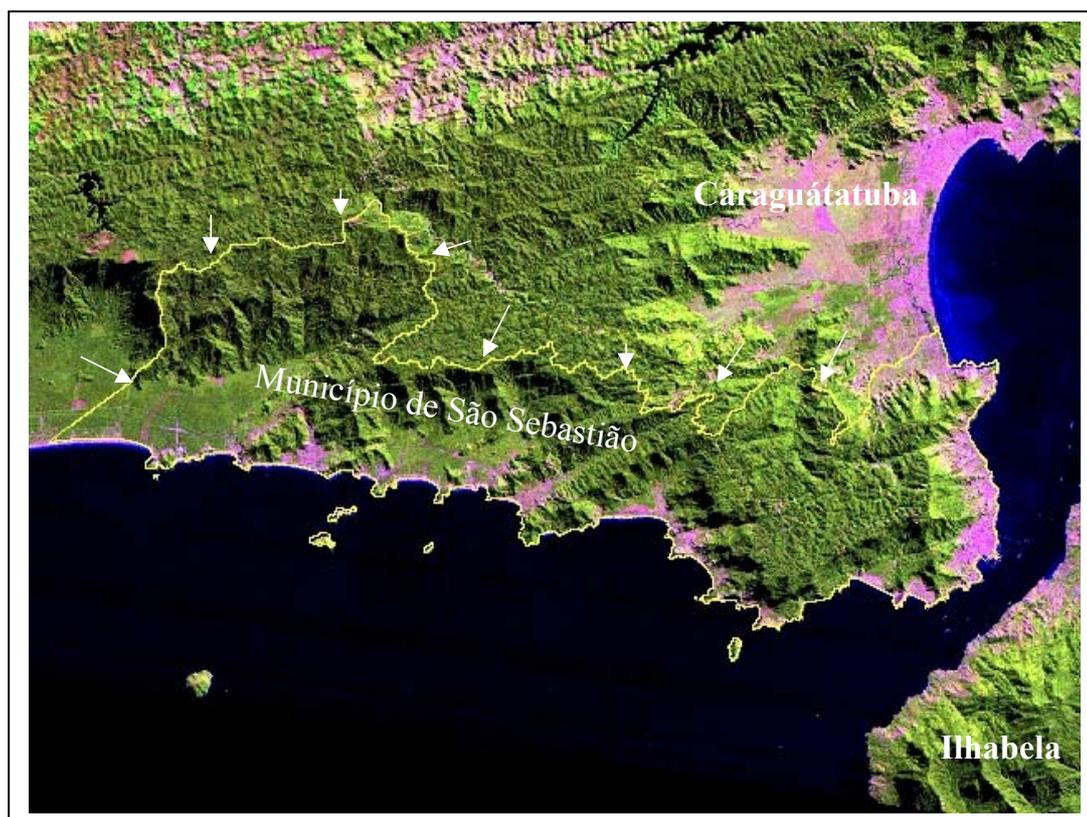


Figura 3.2 – Composição colorida com as bandas 5(R), 4(G) e 3(B) da imagem TM-Landsat com o limite do município de São Sebastião - SP.

Segundo Mazzocato (1998), a principal formação florestal no município de São Sebastião é a Mata Atlântica que é dividida em três tipos de mata: *Mata de Planície Litorânea*, apresentando vegetação de restinga, floresta mediana de variedade vegetacionais em função da ação da água do mar e constantes ventos; *Mata de Encostas*, representada por árvores altas com copas de dossel descontínuo e *Mata de Altitude*, apresentada nas escarpas mais altas, sendo esta a vegetação mais baixa, rica em líquens e epífitas.

O município apresenta um escasso desenvolvimento na agricultura e na pecuária, entre poucos cultivos podemos citar a mandioca, a banana e o feijão. O setor industrial conta com 1% da população Economicamente Ativa (PEA), tendo o turismo como a base de sustento econômico do município.

3.2.5 - Clima

Os principais tipos de clima do município, segundo a descrição de Setzer (1966), são:

Af – clima quente e úmido, sem estação seca. O mês mais seco tem mais de 60mm de precipitação e a temperatura do mês mais frio é acima de 18°C. Este tipo climático restringe-se à baixada litorânea até o início da Serra do Mar, onde sofre mutação para o clima mesotérmico, devido a amenização da temperatura pela altitude.

Cfa – Clima subtropical de altitude, úmido, sem estiagem. A temperatura do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês mais frio varia de 3°C a 18°C. Apresentam no mês mais seco precipitações superiores a 30 mm. Localiza-se entre a escarpa da Serra do Mar e a planície litorânea.

3.3 - CARACTERÍSTICAS SÓCIO-ECONÔMICAS

São Sebastião pertence a região administrativa de São José dos Campos e possui uma das maiores taxas de concentração populacional do estado, consequência da demanda do turismo e lazer da região Metropolitana.

Segundo o Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE), o grau de urbanização aumentou de 44,21% em 1960 para 95,78% em 1980, constituindo atualmente um sério problema que ameaça o meio ambiente. A grande procura dos turistas pelas belezas naturais e pelo lazer ajudou o município a ter um enriquecimento, principalmente com a construção da rodovia BR 101 no ano de 1974, que trouxe o desenvolvimento urbano (Mazzocato, 1998).

CAPÍTULO 4

MATERIAIS E MÉTODO

Neste capítulo são descritos os materiais e equipamentos utilizados, bem como a abordagem metodológica empregada para a realização deste trabalho.

4.1 - MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

4.1.1 – Dados orbitais

Para a realização desta pesquisa utilizou-se dados espectrais obtidos pelos sensores TM do Landsat e do HRV do SPOT, conforme consta na Tabela 4.1.

TABELA 4.1 - IMAGENS DO LANDSAT/TM E SPOT/HRV

SATÉLITE/SENSOR	ORBITA/PONTO	K/J	DATA	BANDA	FORMATO
Landsat/TM	218/76	-	03/07/88	3,4 e 5	Digital/CD
Landsat/TM	218/76	-	26/06/97	3,4 e 5	Digital/CD
SPOT/HRV	-	718/397	16/05/99	Pan	Digital/CD

Os seguintes critérios foram considerados na seleção das imagens:

- a) **Ângulo de Elevação Solar:** Visando minimizar a incidência de sombras na área, foram escolhidas imagens que apresentassem valores iguais ou maiores que 30°. Isto facilita a extração de informações que geralmente ficam prejudicadas pelo efeito das sombras, tendo em vista que área de estudo se apresenta muito acidentada.
- b) **Ângulo Azimutal:** Foram escolhidas imagens que tivessem um ângulo de azimute maior que 30°, com o objetivo de ressaltar os elementos de textura, forma e feições da cobertura vegetal e do uso do solo do município de São Sebastião.

- c) **Cobertura de Nuvens e Visibilidade:** Foram selecionadas imagens que apresentassem pouca cobertura de nuvens (<30%). E que tivessem uma visibilidade alta (>7) para assegurar a inexistência de efeitos de névoa e brumas entre outros, proporcionando assim uma boa visualização da área do projeto.
- d) **Efeitos Atmosféricos:** Objetivando o mapeamento multitemporal as imagens, foram selecionadas entre as passagens dos meses mais próximos para minimizar efeitos atmosféricos.

4.1.2 - Dados Cartográficos

Os dados cartográficos utilizados nesta pesquisa encontram-se descritos na Tabela 4.2.

TABELA 4.2 – DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS

CARTA	FOLHA	ESCALA	INSTITUIÇÃO	ANO	TEMA
Caraguatatuba	SF-23-Y- D - VI-1	1 : 50.000	IBGE	1974	Topográfico
Maresias	SF-23-Y- D - V- 4	1 : 50.000	IBGE	1973	Topográfico
Pico do Papagaio	SF-23-Y- D - V-2	1 : 50.000	IBGE	1974	Topográfico
São Sebastião	SF-23-Y- D -VI-3	1 : 50.000	IBGE	1975	Topográfico
Salesópolis	SF-23-Y-D-V-1 e SF-23-Y-D-V-3	1 : 50.000	IGGS	1971	Topográfico
Rio de Janeiro/Vitória	SF-23/24 N°3, Volume 32	1:100.000	Projeto Radam	1983	Vegetação
Rio de Janeiro/Vitória	SF-23/24 N°5, Volume 32	1:100.000	Projeto Radam	1983	Capac. de Uso dos Recursos Naturais Renováveis
Santos	SF-23-Y-D	1:250.000	Plano Cart. do Est. de São Paulo	1980	Carta de Utilização da Terra do Estado de São Paulo

Além dos dados cartográficos contidos na Tabela 4.2, foram utilizados também mapas mapa de Compartimentação Fisiográfica do Município de São Sebastião, na escala 1:50.000, editado em setembro de 1996 pelo Instituto Geológico de São Paulo e um arquivo digital (Arj.exe) de Drenagem contendo as classes de: curso d'água, margem dupla, represa/barragem, ilha e lago. Assim como, o arquivo de Limite municipal contendo as classes de : Limite municipal, São Sebastião e outros.

4.1.3 – Aplicativo Computacional

O aplicativo computacional utilizado neste trabalho foi o SPRING versão 3. 3.

Este sistema de Geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de ferramentas voltadas ao tratamento de informações espaciais. Além da geração de saídas na forma de mapas convencionais, relatórios, arquivos digitais, e outros. Promovendo, assim recursos para armazenamento, gerenciamento, manipulação e análise de dados (INPE, 1999).

O SPRING opera como um banco de dados geográficos, armazenando a geometria dos mapas em arquivos e os atributos dos dados em bancos de dados convencionais como Dbase, Access e outros.

Segundo INPE (1999), algumas das principais características do aplicativo são:

- ◆ Integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de fontes cartográficas, dados de censo, cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno.
- ◆ Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, além de ferramentas para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados.

Além destas características, o banco de dados do SPRING pode suportar um grande volume de dados em diversas escalas, projeções e fusos, com a capacidade de assegurar a identidade dos objetos geográficos.

Este programa tem a possibilidade de trabalhar com dados vetoriais e matriciais, permitindo a integração dos mesmos com dados de sensoriamento remoto num Sistema de Informações Geográficas.

O SPRING é um programa criado fundamentalmente para aplicações ambientais, integrando dados de imagens de satélites, mapas temáticos, cadastrais e modelos numéricos de terreno.

4.1.4 - Equipamentos

- Workstation *Sun* Ultra 1;
- Mesa Digitalizadora *Digigraf* modelo *Van Gogh*, formato A0;
- Plotter *Hewlett Packard 2500* jato de tinta, formato A0;
- Scanner de mesa *Scan Jet II* ex. da Hewlett Packard ;
- Câmara Fotográfica – Pentax;
- *GPS II PLUS* – Garmin’s GPS II Plus Versatile Personal Navigator.

4.2 – METODOLOGIA

A abordagem metodológica foi dividida em duas etapas. Uma relacionada com a criação do banco de dados e a outra com a análise da dinâmica dos mapas temáticos de uso e cobertura referentes aos anos de 1988, 1997 e 1999.

Nas imagens de satélite dos anos de 1988, 1997 e 1999 (originais), empregou-se técnicas de pré-processamento e de segmentação por crescimento de regiões. Estas imagens foram submetidas ao algoritmo de classificação supervisionada obtendo-se como resultado classificações temáticas de uso e cobertura do solo para cada período citado.

O trabalho de campo foi realizado através de uma checagem “in situ” de áreas que apresentaram dúvidas de interpretação, objetivando corrigir os possíveis erros ocorridos nas classificações temáticas de uso e cobertura do solo.

As classificações dos dados do TM-Landsat e do HRV/SPOT foram realizadas utilizando a abordagem de classificação não supervisionada ISOSEG, gerando imagens temática. As imagens temáticas obtidas com os dados do TM-Landsat (PI’s) foram cruzadas no SPRING com aquelas obtidas com os dados do HRV/SPOT, através do Programa LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico).

Com o cruzamento das imagens temáticas, obteve-se um mapa da dinâmica de uso e cobertura do solo, além de uma análise teórica das mudanças de uso e cobertura do solo ocorrido por influência antrópica nos anos de 1988, 1997 e 1999.

Todos os procedimentos metodológicos envolvidos neste estudo estão sumarizados no fluxograma da Figura 4.1.

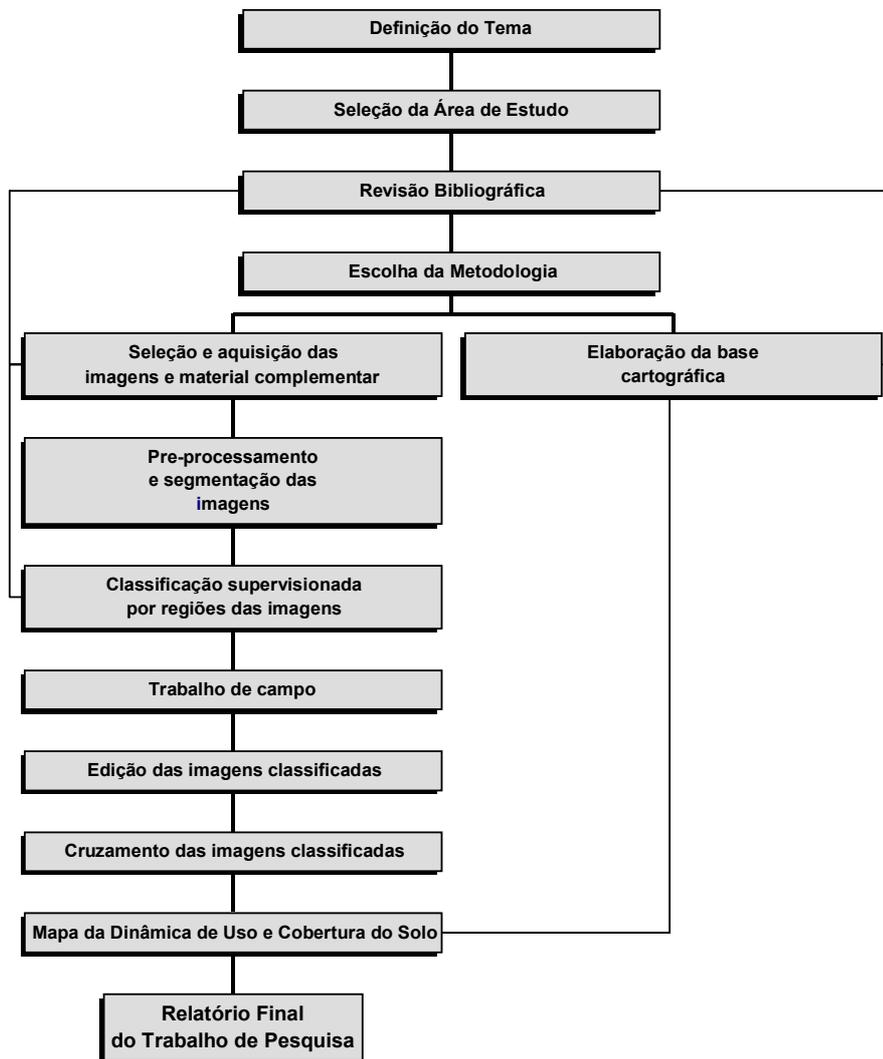


Figura 4.1 - Fluxograma de atividades

4.2.1 - Criação do Banco de Dados

Segundo Hansen (1989), o banco de dados (BD) é uma estrutura que guarda registros de forma integrada ou partilhada, e permite que itens de dados individuais sejam usados por diferentes programas e faz a combinação de diversos conjuntos de dados.

Um sistema de BD é um programa computacional, normalmente, grande e complexo, que permite ao usuário mudanças de dados, atualizações, correções de erros, etc. O sistema opera com dados: numéricos, alfanuméricos, datas entre outros.

O BD possui linguagens para descrição, manipulação de dados pesquisas de elementos espaciais da informação. Além, disso provê ferramentas de programação e possui estruturas particulares (Hansen, 1989).

Para a criação do BD deste projeto foi utilizado o aplicativo computacional do SPRING. O BD no SPRING armazena todas as definições de *categorias* de dados, que armazenarão os diversos tipos de mapas (PI's), e que por sua vez são constituídas das entidades *geo-objetos* e *geo-campos* (SPRING, 1999).

O BD de São Sebastião, consta de um projeto chamado Município criado em projeção UTM/SAD69 com uma área (retângulo envolvente) definida pelas coordenadas geográficas S 23° 55' 44.0" e O 45° 15' 26.0".

As categorias de Drenagem e Limite, correspondentes ao modelo de dados temático, foram criadas no projeto, e os dados em formato ASCII referentes à rede de drenagem e o limite municipal importados para novos PI's no projeto São Sebastião.

Foram criados as categorias Landsat e Spot, onde continham os planos de informações referentes às imagens de cada satélite. Os dados digitais das imagens apresentavam-se em CD's, a imagem do satélite Landsat estava no formato INPE e a do Spot no formato TIF (Bitmap TIFF). Estes dados foram lidos com o utilitário de importação de imagens IMPIMA da versão 3.3 do SPRING, resultando em arquivos GRIB's (Gridded Binary) para

os sensores TM (bandas 3, 4 e 5) e HRV (banda pancromática) dos anos 1988, 1997 e 1999, respectivamente.

As imagens da categoria Landsat e da categoria Spot foram trazidas do IMPIMA para dentro do projeto com a resolução espacial de 30 metros. Este procedimento tinha como objetivo fazer a integração das imagens dos sensores TM e HRV para se analisar as mudanças ocorridas nos anos de 1988, 1997 e 1999.

Os arquivos GRIB's das imagens foram registrados e importados para dentro dos PI's das referidas categorias apresentando um total de 2364 colunas e 1410 linhas, o que facilitou a análise comparativa das imagens multi-temporais envolvidas neste trabalho.

4.2.2 - Processamento Digital

As imagens geradas por sensores remotos captam de forma seqüencial a radiância média de uma área do terreno, equivalente ao tamanho do pixel (*picture element*). Estas são constituídas por um conjunto de pixels arranjados de forma matricial, onde cada um tem uma localização definida em um sistema de coordenadas (linha e coluna) representados por “*x*” e “*y*” (Crósta, 1992).

Cada pixel assume um atributo numérico que representa o nível de cinza, variando de preto ao branco chamado de ND (número digital). Este ND está relacionado com a média da intensidade da energia eletromagnética refletida ou emitida pelos diferentes materiais existentes na área da superfície da Terra, que correspondem ao tamanho do pixel.

As imagens apresentam várias distorções espaciais causadas pelos movimentos dos satélites, não tendo nenhuma precisão cartográfica em relação ao posicionamento dos objetos (*x* e *y*) na superfície terrestre. A aplicação de técnicas de processamento digital de imagens permite gerar novos arranjos numéricos que possibilitam a extração de informações confiáveis das imagens.

As técnicas de processamento digital aplicadas nas imagens deste projeto são:

a) Registro de Imagem

A retificação geométrica visa compensar ou corrigir erros causados pelo movimento do satélite (varredura) e da Terra, curvatura da Terra, variações na plataforma (altitude e velocidade) e efeitos panorâmicos (efeitos causados nos tamanhos dos "pixels" coletados em varredura fora do nadir).

Basicamente, a retificação pode ser feita de forma específica, ou seja, aplicando modelos matemáticos para a correção específica do tipo de fonte de erro, ou através do relacionamento matemático entre a localização do "pixel" e a coordenada deste ponto em um sistema de coordenadas geográficas (Richards, 1993).

Segundo Crósta (1992), a correção geométrica é definida como a transformação de uma imagem de modo que ela assuma as propriedades de escala e de projeção de um mapa.

Neste trabalho utilizaram-se imagens de dois sistemas sensores distintos, o TM-Landsat (bandas 3, 4 e 5) e o HRV-Spot (banda pancromática), que apresentam resolução espacial de 30 e 10 metros, respectivamente. Ambas imagens foram trazidas do IMPIMA para a correção geométrica (registro) com a resolução de 30 metros. A resolução espacial da imagem Spot teve que ser reamostrada para 30 metros com a intenção de igualar com a do Landsat. Este procedimento foi necessário para que se pudessemos fazer o mapeamento multitemporal de uso e cobertura do solo do município de São Sebastião.

A referência adotada para a correção geométrica foi a rede de drenagem, proveniente do arquivo digital cedido pela FUNCATE. O ajustamento foi feito mediante o reconhecimento de pontos de controle na imagem ajustados com as coordenadas da base, via tela do monitor no SPRING. A escolha dos pontos de controle foi feita obedecendo a uma distribuição uniforme destes por toda a imagem, tentando evitar erros que viessem a prejudicar o mapeamento multitemporal. Posteriormente, aplicou-se um polinômio de transformação de primeiro grau.

Também, foi feito o registro de imagem - imagem com o objetivo de se obter uma perfeita correspondência de localização das áreas de ocupação do solo nas diferentes imagens, uma

vez que o mapeamento do uso e cobertura do solo no município tinha como base o critério multitemporal.

b) Técnicas de realce

Normalmente numa imagem original (bruta), os valores de níveis de cinza encontram-se concentrados apenas em uma parte da variação tonal permitida pela resolução radiométrica do sensor (de 0 a 255 níveis de cinza), apresentando a imagem com pouco contraste. Prejudicando assim, a diferenciação dos alvos nas imagens de satélite.

A principal vantagem desta técnica é que este procedimento de processamento não altera o padrão de resposta do histograma original, simplesmente expande suas extremidades (Crósta, 1992).

Na Figura 4.2, é mostrado uma imagem sem nenhum tipo de contraste (A) e a mesma imagem após ter sido contrastada através da ampliação linear (B). Note-se que na imagem contrastada houve uma modificação na intensidade original dos níveis de cinza, executando um aumento do contraste dos alvos de interesse na imagem. Esta técnica facilita a identificação dos usos da terra e da cobertura vegetal presentes no município de São Sebastião.

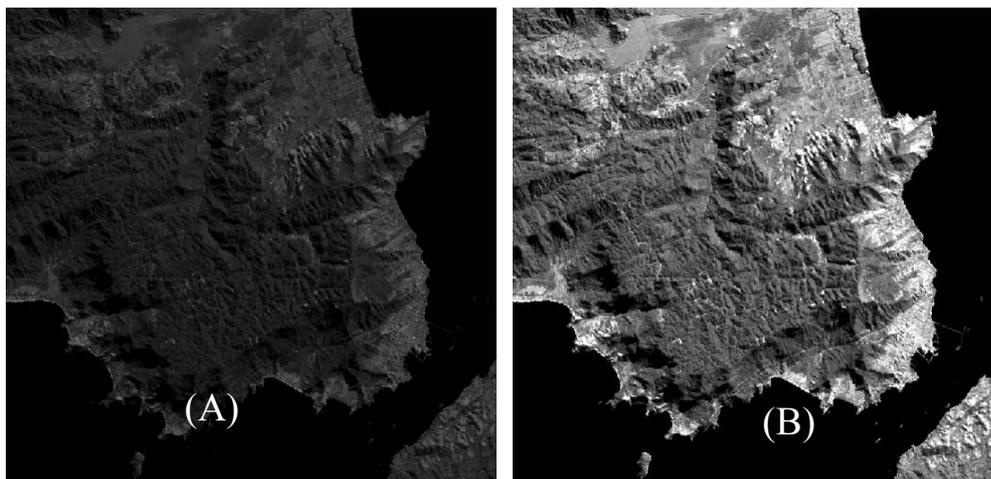


Figura 4.2 – Imagem da região oeste do município de São Sebastião sem contraste (A) e contrastada (B), obtida no ano de 1988.

c) Composições coloridas

Foram utilizadas duas combinações com as bandas do TM, a 5(R)4(G)3(B) que apresentou uma boa discriminação de alvos como desmatamentos, áreas degradadas, área urbana entre outros; e também a 4(R)5(G)3(B) que mostrou melhores resultados na identificação da vegetação (Figura 4.3).

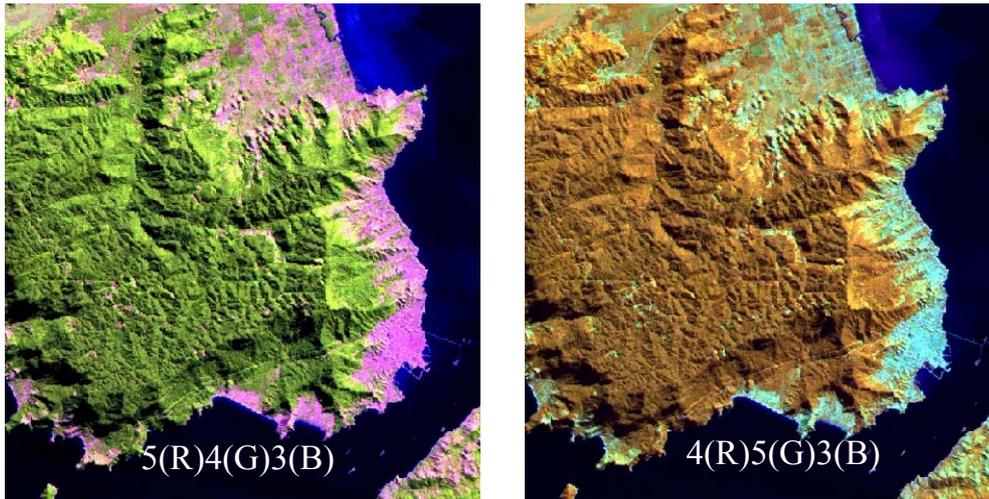


Figura 4.3 – Região oeste do município de São Sebastião (TM 543 e 453 RGB - 1988)

Na imagem Spot pancromática foi aplicado apenas uma ampliação linear de contraste que permitiu discriminar alguns alvos importantes no mapeamento de uso e cobertura do solo do município (Figura 4.4).



Figura 4.4 – Região oeste do município de São Sebastião (Spot/ Pancromática - 1999)

d) Segmentação por Crescimento de Regiões

Prévio à aplicação da segmentação foi feita uma máscara para área do município de São Sebastião através do modo LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) do SPRING. Este procedimento foi empregado visando um melhor aproveitamento das capacidades do segmentador, em relação com a distinção espectral das áreas de interesse na imagem (Figura 4.5).



Figura 4.5 – Imagem do Landsat TM do município de São Sebastião, bandas 4,5,3 (RGB) do ano de 1988.

A técnica de segmentação foi feita para separar a área de estudo em regiões homogêneas de ocupação e cobertura do solo. Utilizando o método de crescimento de regiões, o qual consiste na agregação de *pixels* com propriedades similares em conjuntos denominados regiões, cujas bordas definem os seus contornos. A extração destas bordas será realizada através do algoritmo de Erthal et al.,(1991).

Desta forma, uma região é um conjunto de *pixels* adjacentes que exhibe uma homogeneidade com relação aos seus atributos (número digital), tais como: média, variância, área, perímetro, etc.

Segundo Bins (1996), o método de crescimento de regiões considera a similaridade dos valores de nível de cinza dos pixels de uma imagem supondo que sendo \mathbf{R} o domínio de toda uma imagem e \mathbf{R}_i as sub-regiões da imagem. Com isso, se pressupõe que :

- a) A região deve ser conectada, ou seja, para qualquer par de pixels pertencentes a região, \mathbf{x}_i e \mathbf{x}_j , devendo haver uma seqüência $\{\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_k, \mathbf{x}_{k+1}, \dots, \mathbf{x}_j\}$ tal que \mathbf{x}_k e \mathbf{x}_{k+1} são vizinhos e todos os vizinhos da seqüência pertencem a região;
- b) $\mathbf{I} = \bigcup_{k=1}^m \mathbf{R}_k$, em que \mathbf{I} é a imagem inteira e \mathbf{R}_k é a $k^{\text{ésima}}$ região;
- c) $\mathbf{R}_i \cap \mathbf{R}_j = \emptyset$, para todo i e j , $i \neq j$;
- d) Supondo uma função booleana $\mathbf{H}(\mathbf{R})$, que muda a homogeneidade de uma região tem-se :

$$\mathbf{H}(\mathbf{R}_k) = \text{verdadeiro, para } k = 1, 2, \dots, m;$$

$$\mathbf{H}(\mathbf{R}_i \cup \mathbf{R}_j) = \text{falso, para } i \neq j;$$

Bins (1996), ainda comenta que existem diferentes implementações do algoritmo, onde se considera os pressupostos acima apresentados, agora duas regiões \mathbf{R}_i e \mathbf{R}_j serão agregadas se os seguintes critérios forem satisfeitos :

- a) $\mathbf{R}_j = \text{vizinho mais próximo}(\mathbf{R}_i)$;
- b) $\mathbf{R}_i = \text{vizinho mais próximo}(\mathbf{R}_j)$;
- c) $\text{dist}(\mathbf{R}_i, \mathbf{R}_j) < \text{limiar de similaridade}$;

Onde, $\text{dist}(\mathbf{R}_i, \mathbf{R}_j)$ é a distância euclidiana entre duas médias espectrais de \mathbf{R}_i e \mathbf{R}_j ;

$\mathbf{R} = \{ \mathbf{R}_k | \text{dist}(\mathbf{R}, \mathbf{R}_k) = \min(\text{dist}(\mathbf{R}, \mathbf{R}'), \mathbf{R}' \text{ pertence ao vizinho mais próximo de } \mathbf{R}) \}$

Assim, para a aplicação do algoritmo foram definidos dois limiares :

1 - Limiar de Similaridade

Este representa o limiar abaixo do qual duas regiões são consideradas similares, e então agrupadas em uma única região. Este limiar é definido pela distância Euclidiana mínima entre as médias das regiões consideradas (Erthal et al., 1991).

2 - Limiar de Área

É o valor de área mínima, dado em número de *pixels*, para que uma região seja individualizada. Ao final da segmentação, será obtido uma representação simbólica da imagem : uma lista de regiões com seus atributos, uma lista de arcos (fronteira entre duas regiões) com seus atributos (força e orientação média das bordas) e uma lista de nós (ponto de encontro de três ou mais regiões) Erthal et al.,(1991).

Após vários testes, definiu-se o valor 8 para o limiar de similaridade e 25 para o limiar de área, devido serem os que melhor representaram as regiões de interesse para o mapeamento de uso e cobertura do solo na área de estudo.

Estes limiares foram utilizados nas imagens originais do satélite Landsat nas bandas 3, 4 e 5 dos anos de 1988 e 1997, e também os mesmos para a imagem original do satélite Spot na banda pancromática do ano de 1999. Por isso, esta banda pancromática foi reamostrada 10 para 30 metros (resolução espacial), com intenção de executar a segmentação com os mesmos parâmetros utilizados nas bandas do Landsat.

Como resultado da segmentação foram obtidas três imagens temáticas (PI's chamados de imagens segmentadas dos anos de 1988, 1997 e 1999) contendo a distribuição espacial dos diferentes polígonos (Figura 4.6).

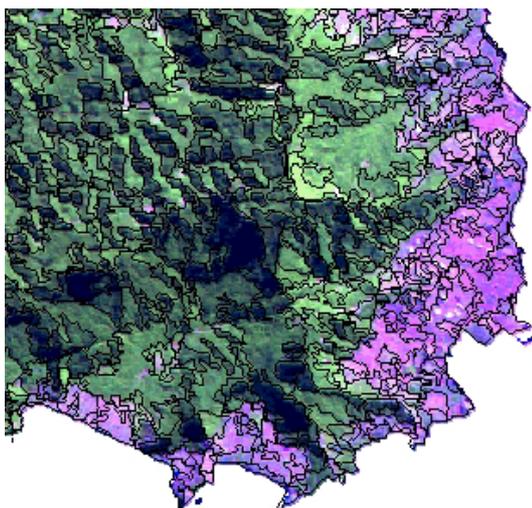


Figura 4.6 – Região oeste do município de São Sebastião (Imagem segmentada TM 543 de 1997)

e) Classificação Supervisionada

No intuito de realizar a classificação foi necessário criar três arquivos de contexto para os anos de 1988, 1997 e 1999, com o objetivo de armazenar as informações como : tipo de classificação – por regiões; bandas utilizadas no caso TM 3, 4, 5 e Spot Pancromática; e imagem segmentada utilizada.

Após estes procedimentos, executaram-se as etapas para a classificação descritas a seguir:

I - Extração de Regiões

Esta etapa consiste em extrair as informações de média e variância de cada região definida na segmentação, considerando as bandas a serem utilizadas na classificação (Bins et al, 1992).

A extração de regiões foi feita para cada imagem (1988, 1997 e 1999). Este procedimento teve a duração de 12 horas para as imagens TM 3, 4, 5 dos anos de 1988 e 1997. As regiões da imagem pancromática do satélite SPOT do ano de 1999 foram extraídas em 5 horas. A diferença exorbitante da duração de processamento das imagens está relacionado com o número de bandas envolvidas no processo de extração de regiões. Isto é, o algoritmo usado considera a composição (bandas originais) e segmenta todas as bandas ao mesmo tempo, no caso das imagens Landsat foram selecionadas as bandas 3, 4, 5, já no processamento da imagem Spot, considerou-se apenas uma banda a pancromática (banda original).

II - Treinamento

É necessário quando a classificação é supervisionada. Consiste em obter amostras de regiões representativas de cada classe de interesse. As amostras são retângulos ou polígonos que delimitam uma região pertencente a uma classe ou tema (INPE, 1999).

Na fase de aquisição de amostras, ou seja, de treinamento, foram criados doze temas a saber: floresta, restinga, floresta não conhecida, áreas degradadas, pastagem e/ou campo antrópico, afloramento rochoso, culturas mistas, praia, áreas desmatadas, área urbana, sombra - floresta e água para as imagens classificadas de 1988 e 1997. No entanto para a

imagem Spot pancromática (1999) que apresentava nuvens, foram criadas mais duas classes: nuvem e sombra – nuvem, além das mencionadas anteriormente.

Estes temas foram criados com base nos dados cartográficos do Projeto Radam (Mapa de Capacidade de Uso dos Recursos Naturais Renováveis - 1983) e do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo (Carta de Utilização da Terra do Estado de São Paulo – 1980).

III - Análise das Amostras

A análise permite verificar a qualidade das amostras adquiridas, com base nas matrizes de confusão (INPE, 1999).

IV - Classificação

A classificação por regiões consiste em identificar e rotular como uma classe determinando um grupo de regiões atribuindo uma determinada cor. O classificador utilizado foi o BHATTACHARRYA que usa as amostras de treinamento para estimar a função densidade de probabilidade para as classes apontadas. Depois, é avaliada, para cada região a distância de Bhattacharrya a cada classe candidata. A classe que apresentar a distância menor, será atribuída à região avaliada (INPE, 1999).

O limiar de aceitação selecionado foi de 90%. Após a classificação, foram geradas três imagens classificadas referentes aos anos de 88, 97 e 99 (modelo imagem).

V - Mapeamento para Geoclasses

Neste mapeamento as classes resultantes da classificação serão associadas às geoclasses previamente definidas. Segundo INPE (1999), o mapeamento permite transformar a imagem classificada (modelo imagem) para uma imagem raster do modelo temático. As geoclasses utilizadas são as correspondentes ao uso e cobertura do solo.

Antes do mapeamento para geoclasses, foi criado no modelo de dados do SPRING, uma categoria temática chamada de Uso_Cobertura_Solo com os mesmos nomes dos temas descritos anteriormente na etapa de treinamento, porém criados como classes nesta categoria.

Em todas as classificações foram feitas as associações dos temas das imagens classificadas com as classes da categoria de Uso_Cobertura_Solo que resultaram em três mapas temáticos raster (1988, 1997 e 1999).

4.3 - EDIÇÃO E CONFECÇÃO DE MAPAS

Cada mapa temático foi editado com base nas composições RGB, com o objetivo de tentar minimizar possíveis erros ocorridos durante a classificação temática por regiões.

No caso do mapa temático de 1999, a base utilizada foi a imagem Spot pancromática com uma ampliação linear de contraste. Além disso, usou-se o conhecimento adquirido durante a edição das imagens classificadas dos anos de 1988 e 1997, para que o mapeamento da cobertura vegetal e uso do solo não fosse prejudicada na classificação de 1999.

Tanto para a aquisição de amostras durante o treinamento descrito anteriormente, como para a execução da edição dos mapas temáticos (1988, 1997 e 1999), utilizou-se o método de “fotointerpretação” desenvolvido por Veneziani e Anjos (1982).

Este método é lógico e sistemático baseado no estudo das propriedades das formas levando em conta a disposição de elementos de textura de uma mesma classe, organizados em estruturas bem ou mal definidas resultando em formas identificáveis.

Segundo Veneziani (1988), este método de “fotointerpretação” envolve três fases : *Fotoleitura*, que consiste na identificação das feições e ou objetos de interesse sobre as imagens fotográficas; *Fotoanálise*, é o processo no relacionamento entre os objetos e ou feições contidas numa imagem e na associação e ordenamento das partes com propriedades comuns; e *Fotointerpretação*, relacionado com o raciocínio lógico, dedutivo ou indutivo, tentando compreender os princípios e meios que deram origem à associação e ordenamento das feições e ou objetos identificados.

Os mapas dos anos de 1988, 1997 e 1999 foram editados e levados para o módulo SPRING/ SCARTA. Onde, foram confeccionados os mapas de 1997 (Figura 4.8) e 1999 para checagem “in situ” no campo.

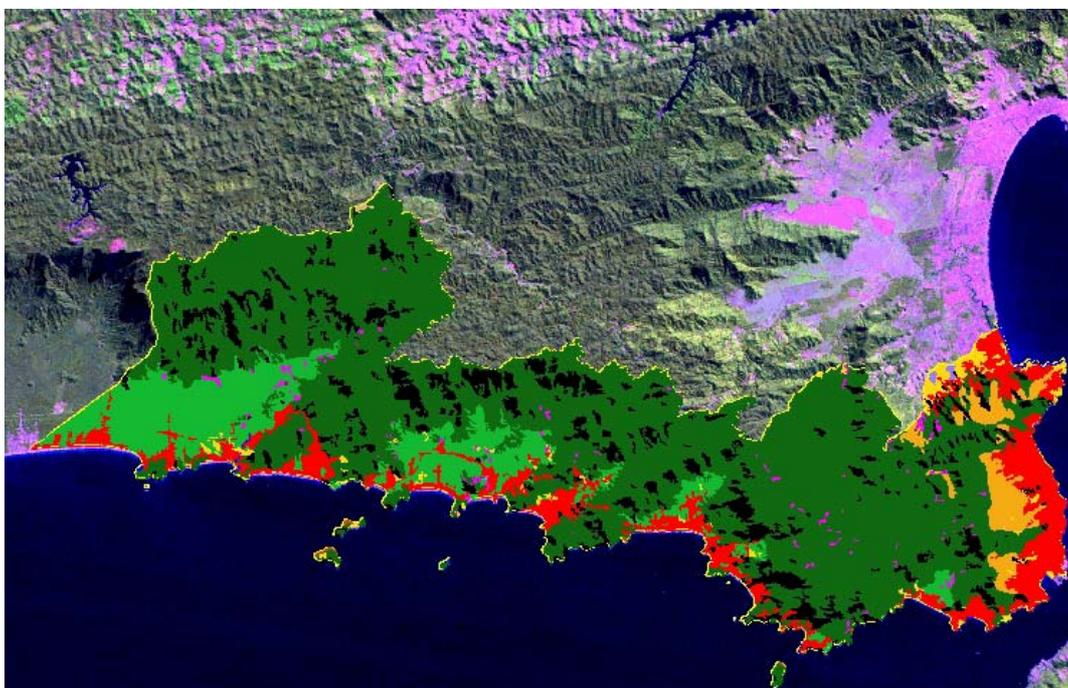


Figura 4.7 – Imagem Landsat TM (345-RGB) e Mapa de Uso e Cobertura do Solo do ano de 1997 do município de São Sebastião.

4.4 - TRABALHO DE CAMPO

Após ter sido obtidos os mapas de Uso e Cobertura do Solo dos anos de 1997 e 1999 foi necessário fazer a checagem “in situ” através do trabalho de campo, a intuito de dirimir dúvidas de rotulação das diferentes classes de uso e cobertura do solo.

Durante o trabalho de campo foram visitados pontos com dúvidas de rotulação, devidamente identificados nas imagens orbitais. Para estes pontos foram feitas anotações das características das áreas de dúvida. Além disso, aproveitou o trabalho de campo para fazer uma checagem do mapa temático com a realidade vista no campo.

Durante o trabalho de campo foram tomadas fotografias com a intenção de caracterização das áreas mapeadas durante a classificação;

Os resultados da observação de alguns pontos de dúvida visitados durante o trabalho de campo apresentam-se no Apêndice A.

Devido a limitações de tempo para a realização do trabalho, não houve checagem em pontos localizados muito distantes ou de difícil acesso. Porém, isso não prejudicou o trabalho, pois algumas áreas que não foram visitadas tinham as mesmas características de forma e textura a pontos anteriormente observados.

4.5 – CRUZAMENTO DAS IMAGENS CLASSIFICADAS

Antes do cruzamento das imagens classificadas, foi necessário fazer a reedição dos mapas de uso e cobertura do solo de 1997 e 1999 após o trabalho de campo. Na reedição foram corrigidos os polígonos com eventuais erros de classificação. Essa correção foi feita com os mapas ainda no formato raster (matriz).

Depois, desta correção foi efetuada a conversão da representação em formato varredura para em formato vetorial extraíndo-se os contornos dos objetos, e criando-se uma relação espacial do tipo vizinhança e pertinência entre os polígonos e a conectividade entre os arcos (INPE, 1999).

Foram criados a topologia e gerados os polígonos dos mapas de uso e cobertura do solo dos anos de 1988, 1997 e 1999 com a intenção de fazer o cruzamento destas informações.

Para a análise dos mapas temáticos foi necessário fazer o cruzamento de PI's dois a dois, como por exemplo: 1988 x 1997, 1988 x 1999 e 1997 x 1999. A tabulação cruzada possibilitou a obtenção do cálculo de áreas correspondente a cada ano para analisar cada alteração ocorrida durante o período para cada classe envolvida. Para este procedimento utilizou-se a tabulação cruzada dentro do aplicativo computacional do SPRING.

A tabulação cruzada permite a obtenção do cálculo da área das interseções entre as classes de dois PI's temáticos que estejam no formato varredura. Os dados devem apresentar

mesma resolução horizontal e vertical, o mesmo número de linhas e colunas (“*pixels*”) e estarem registrados, isto é, terem correspondência no sistema cartográfico (INPE, 1999).

Cruzou-se também, os mapas temáticos de uso e cobertura do solo dos anos de 1988, 1997 e 1999, utilizando a linguagem de programação de dados espaciais LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) do SPRING.

O programa em LEGAL é executado com auxílio de um editor de textos (formato ASCII) do próprio sistema operacional (INPE, 1999).

Não houve tempo disponível para realizar a demonstração das alterações por cada classe dos mapas de uso e cobertura do solo. Este procedimento necessitaria de cruzar classe a classe de cada ano, prevendo todas as combinações possíveis de ocorrência de uso e cobertura do solo.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todos os mapas dos anos de 1988, 1997 e 1999, obtidos através do mapeamento de uso e cobertura do solo referentes a área de estudo, são apresentados no Apêndice B.

No Apêndice C encontra-se o mapa da dinâmica de uso e cobertura do solo dos períodos estudados. E os programas envolvidos para as análises estão demonstrados no Apêndice C.

Os resultados apresentados referem-se aqueles alcançados durante o trabalho de campo e da análise dos dados multitemporais adquiridos nos anos de 1988, 1997 e 1999 através dos sensores TM – Landsat e HRV - SPOT.

A área total do município de São Sebastião calculada pelo SPRING foi de 395,82 Km². Segundo dados do IBGE (1996), a área do município corresponde a 400,97 Km². A diferença de 5,15 Km² pode ser devida a erros de registro da imagem, ou ainda, o IBGE pode ter utilizado alguma outro tipo de medição no referido município.

A Tabela 5.1, mostra a análise destas amostras para os anos de 1988, 1997 e 1999 selecionadas para a classificação pelo método de regiões.

TABELA 5.1 – ANÁLISE DAS AMOSTRAS DOS ANOS DE 1988, 1997 E 1999

ANÁLISE DAS AMOSTRAS (%)	1988	1997	1999
Desempenho Médio	86,58	99,96	100,00
Abstenção Média	0,00	0,00	0,00
Confusão Média	13,42	0,04	0,00

O melhor desempenho médio entre as amostras foi do ano de 1999, porém houve confusões entre as classes deste período. Isto pode ser devido a pouca variação espectral da banda pancromática do satélite SPOT. Nos outros anos, a confusão média entre as classes foi devida a presença de diferentes tipos de uso e cobertura do solo na região de estudo.

Em 1997, existiu confusão entre classes de desmatamento (91,69) e pastagem e/ou campo antrópico (8,31). Esta confusão foi devida à localização das classes, algumas classes que se apresentavam dentro da floresta foram chamadas de desmatamento. Porém, as que se apresentavam dentro ou nas proximidades da área urbana foram editadas como pastagem e/ou campo antrópico.

Para os dados do ano de 1988, houve um erro de classificação para na classe restinga (90,75%) com outro tema de floresta não conhecido (9,25%), este erro foi devido à semelhança de resposta espectral entre os dois temas. Após a verificação “in situ” observou-se que se tratava da classe de restinga propriamente dita. Talvez, esta semelhança de resposta espectral é devido a iluminação solar sob as cristas das Serra do Mar e do Juqueriqueré.

Para os dados obtidos no ano de 1999, o desempenho de classificação das áreas amostradas através do treinamento do classificador, foi de 100%. Aplicando este “pacote” de treinamento para classificar os dados do TM-Landsat e do HRV/SPOT, o desempenho da classificação geral foi diferente, para os dois tipos de produtos e, no caso do HRV/SPOT, o desempenho da classificação foi inferior àquele obtido para os dados do TM-Landsat. Isto mostrou que o “pacote” de treinamento obtido para os dados do TM-Landsat é diferente para os dados do HRV/SPOT. Essa menor diferença pode estar relacionado com o horário de passagem dos dois satélites, que provocou maior incidência de áreas sombreadas nos dados do HRV/SPOT, devido ter passado mais tarde do que o satélite Landsat.

Durante a execução da classificação algumas áreas das classes de restinga e floresta apresentaram semelhança de resposta espectral, o que ocasionou erro de classificação. Esse erro de classificação está associado as condições de iluminação na área de estudo. Áreas

que correspondem a floresta, localizadas nas cristas dos morros, recebem muita luminosidade, apresentando padrões de resposta espectral semelhante à classe de restinga. Esse tipo de erro foi corrigido através do programa de edição matricial, existente no SPRING.

5.1 - ANÁLISE DOS MAPAS TEMÁTICOS ATRAVÉS DO CRUZAMENTO DE PI's TEMÁTICOS

Os resultados da classificação, obtidos através da análise digital, para os dados dos anos 1988, 1977 e 1999 foram expressos de forma gráfica, conforme é mostrada na Figura 5.1.

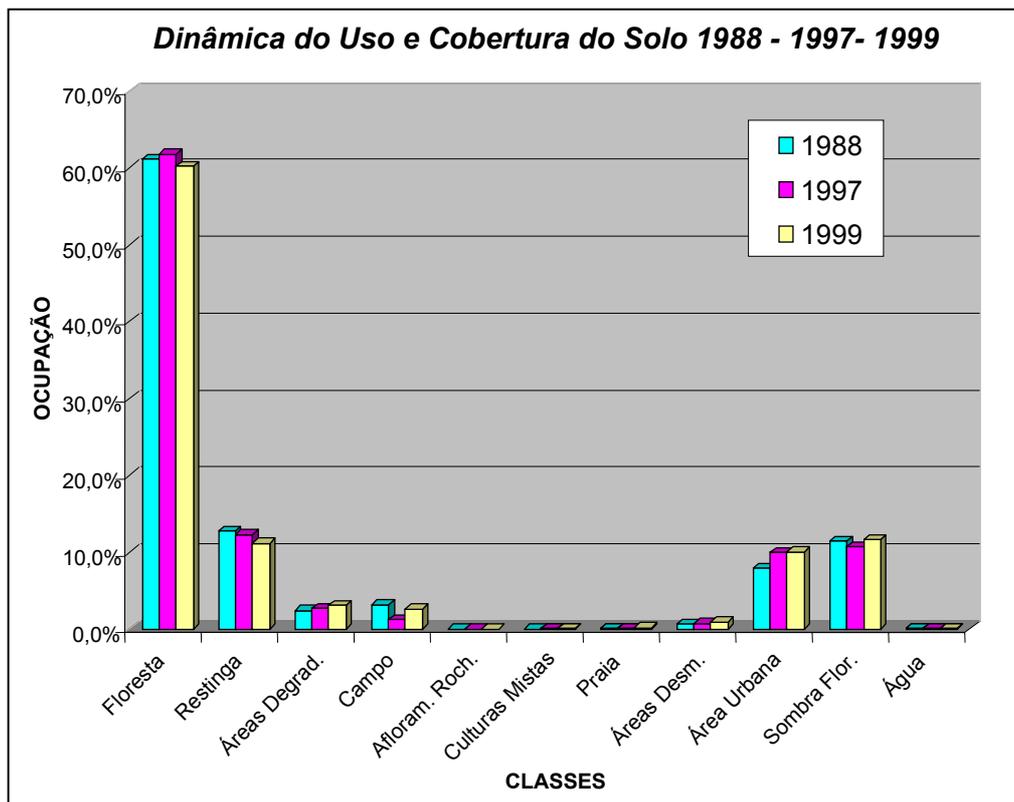


Figura 5.1 – Gráficos da dinâmica de uso e cobertura do solo no município de São Sebastião, nos anos de 1988, 1997 e 1999.

Observando os gráficos da Figura 5.1, nota-se que a classe floresta é a mais representativa na região, com aproximadamente 60 % de ocupação do solo.

Na área do município, a classe floresta compõe-se de árvores cujas copas atingem mais de 30 metros de altura, com uma cobertura do solo de 60% ou mais (Eiten, 1983).

Na Figura 5.2, pode-se ver uma representação da floresta em áreas de relevo acidentado do município. Tal fato justifica o menor desempenho de classificação nos dados do HRV/SPOT, conforme foi comentado acima.



Figura 5.2 – Ocorrência de Floresta Primária e Secundária (localizado no topo do morro)

A classe restinga ocorre no município em áreas de relevo mais plano, conforme pode ser visto na Figura 5.3. Nos resultados de classificação essa classe de uso do solo ocupa aproximadamente 10% da área municipal.

A restinga ocorre sobre areias marítimas sedimentares ou empilhadas em dunas apresentando porte arbustivo até herbáceo (Eiten, 1983).

Nota-se também nos gráficos da Figura 5.1, que há uma diferença insignificante nas porcentagens da classe restinga nas três datas analisadas, com o percentual decrescendo de 1988 para 1999. Esse decréscimo foi mais acentuado é evidenciado principalmente nas regiões em direção ao município de Bertiooga - SP.



Figura 5.3 – Presença de Restinga de porte arbustivo (localizado na área abaixo da Floresta)

Com relação a áreas degradadas, percebe-se na Figura 5.1 que o percentual de ocorrência desta classe no município, obtido através da classificação, foi relativamente pequena, em torno de 2 a 3%. Neste caso, observa-se que as áreas degradadas aumentaram o percentual de ocorrência do ano de 1988 para 1999.

Áreas Degradadas, na presente pesquisa, são aquelas que apresentam regeneração da vegetação, depois de ação antropogênica, conforme é mostrado na Figura 5.4.

Houve um pequeno aumento (2,4 a 3,1%) nas áreas degradadas, talvez por estarem mais próximas às áreas urbanas se tornou fácil à degradação, tendo em vista o crescimento urbano.



Figura 5.4 – Ocorrência de Área Degradada (localizado em parte do topo do morro)

As áreas de pasto correspondem a algum tipo de atividade pecuária, apresentando uma capa fina de vegetação rasteira com predominância de gramíneas, plantas graminóides, outras ervas e pastagens ou arbustos. As áreas de campo antrópico possuem pouca vegetação e apresentam algum tipo de ação antrópica (Eiten, 1983).

As áreas classificadas como sendo pastagem e/ou campo antrópico, representam mais ou menos 2% do município. Observando os gráficos da Figura 5.1, nota-se que no ano de 1997 houve uma retração de áreas ocupadas com a classe campo. Essa retração de área pode estar relacionada com o surgimento de novos assentamentos urbanos. E no ano de 1999 houve um pequeno aumento desta área de campo devido o surgimento de novas áreas de campo ocorridas através do desmatamento de áreas de floresta e restinga. Na Figura 5.5 ilustra este tipo de ocupação no município.



Figura 5.5 – Presença de Pastagem e/ou Campo Antrópico (localizado no topo do morro)

As áreas urbanas classificadas nos dados orbitais, obtidos nas três datas, corresponderam cerca de 8 a 10% do município. Nota-se que houve um incremento de área urbana relativamente expressivo do ano de 1988 para o ano de 1997. Entre os anos 1997 e 1999, o incremento da área urbana não foi significativo, mostrando assim, uma certa estabilidade na expansão da cidade de São Sebastião.



Figura 5.6 – Presença de Afloramento Rochoso (Próximo a Praia de Baraquecaba).



Figura 5.7 – Ocorrência de Culturas Mistas como milho e banana.



Figura 5.8 – Plantação de Beringela caracterizando a classe de Culturas Mistas.

As classes de ocupação do solo tais como: afloramento rochoso, áreas desmatadas e culturas mistas são pouco representativas no município (menos de 1%). Pelos gráficos da Figura 5.1, nota-se que durante o intervalo de tempo considerado, não houve acréscimo de áreas para estes três temas analisados.

A Figura 5.6 ilustra a ocorrência de área de afloramento rochoso que vem a ser um tipo de rocha dura de lados íngremes que apresentam líquens, musgos, e as Figuras 5.7 e 5.8, áreas ocupadas com cultura mista como milho, banana e beringela.

O insignificante crescimento das culturas mistas (milho, banana, beringela) observado no período em questão, demonstraram que a população não utiliza as atividades agrícolas como uma fonte de renda para o município.



Figura 5.9 – Presença de Área Desmatada já apresentando regeneração.



Figura 5.10 – Ocorrência de Área Urbana (Próximo ao Centro de São Sebastião).



Figura 5.11 – Caracterização da Área Urbana (Próximo aos tanques da PETROBRAS).

Nas áreas de desmatamento, também se observou uma percentagem muito baixa (0,7 a 1,0 %), isso pode ser devido a localização destas áreas se apresentar muito acidentada e de difícil acesso (Figura 5.9).

As Figuras 5.10 e 5.11 acima caracterizam ocorrência da classe de área urbana com presença de vias de transporte, cidades e áreas construídas de uso residencial ou comercial.

Na Figura 5.12 abaixo, mostra-se a ocorrência de praia que são acúmulo inclinado e liso de areia e cascalho, ao longo da linha do litoral. Esta superfície é estável, na parte interior e a parte próxima à água encontra-se sujeita à erosão pelo vento e principalmente pela água.



Figura 5.12 – Ocorrência de Praia (Próximo a Rodovia SP-101).

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho foram analisados os dados espectrais obtidos pelos sistemas sensores TM do Landsat e HRV do SPOT, para o mapeamento multitemporal do uso e cobertura do solo no município de São Sebastião - SP nos anos de 1988, 1997 e 1999. De acordo com os resultados obtidos chegou-se às seguintes conclusões e recomendações:

A técnica de segmentação mostrou sua eficácia ao minimizar ou substituir a digitalização de *overlays*, a correção e ajuste de linhas, a geração de mapas temáticos e outras etapas que envolvem a técnica de interpretação visual convencional.

O uso do algoritmo de classificação supervisionado por regiões, empregado neste trabalho mostrou rapidez e um bom desempenho no mapeamento de uso e cobertura do solo da área de estudo.

Os cruzamentos de informações temáticas contidas nos mapas, obtidos na escala de 1: 50.000, se mostraram de grande utilidade para a análise da dinâmica de uso e cobertura do solo em áreas com tendência ao crescimento urbano.

A obtenção da intensidade de ocupação do solo no município, através do uso de dados orbitais foi bastante confiável, de um custo relativamente baixo e num curto período de tempo (60 dias).

Recomenda-se para os próximos mapeamentos de uso e cobertura do solo, o uso integrado de imagens TM-Landsat e HRV-SPOT. Desta forma é possível aumentar a resolução espectral e espacial.

Em futuros trabalhos nesta área de estudo recomenda-se a aplicação do modelo linear de mistura espectral nas imagens, devido a grande presença de sombras que segundo Shimabukuro et al., (1997), este modelo gera imagens – fração de vegetação, solo e sombra. A utilização da componente sombra, certamente irá propiciar melhor resultado de classificação.

O aplicativo computacional SPRING constitui um grande avanço em relação aos programas utilizados no levantamento de recursos naturais. Este programa engloba um sistema de informação geográfica e um sistema de processamento de imagens de baixo custo e amigável com vários aplicativos computacionais como por exemplo, ENVI, PCI , IDRISI entre outros.

Nas condições em que se encontra o município de São Sebastião, o crescimento urbano prejudicaria muito a conservação e a recuperação da cobertura vegetal, agrícola, pastoril entre outras. Para que isso não ocorra é necessário um planejamento regional com a intenção de tomadas de decisões municipais.

Recomenda-se a implantação de um plano diretor baseado no Zoneamento Ecológico – Econômico com o objetivo de tentar diminuir os novos assentamentos desordenados, a degradação dos recursos naturais da região, e favorecer o desenvolvimento do turismo que desenvolverá o crescimento econômico e social. Este desenvolvimento refletirá na renda familiar da população possibilitando a geração de empregos, a fixação das famílias no município em condições de auto-sustentação, educação, saúde, além da preservação dos parques da Serra do Mar e da Serra de Juqueriquerê.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, (41): 169-263, 1964.
- Alves, D. S. and Skole, D. L., no prelo, Characterizing Land Use Cover Dynamics using Multitemporal Imagery. **International Journal of Remote Sensing**.
- Bins, L. S., Erthal, G. J.; Fonseca, L.M.G.,1992, Um método de Classificação Não-Supervisionada por Regiões. SIBGRAPI VI, **Anais**, 65-68
- Bins, L. S., Fonseca, L. M. G., Erthal, G. J., Ii, F., submetido, Satellite Image Segmentation: a region growing approach. [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 1996. **Anais**. São Paulo: Imagem Multimídia, 1996. Seção de Comunicações Técnicos-Científicas.
- Brondizio, E. S., Moran, E. F., Mausel, P., and Wu, Y., 1994, Land Use Change in Amazon Estuary: **Patterns of Caboclo Settlement and Landscape Management, Human Ecology**, 22 (3), 249-27
- Câmara, G, de Souza, R. C. M., Freitas, U. M., Casanova, M.A.,1992. SPRING: Processamento de Imagens e de Dados Georeferenciados. SIBGRAPI 92, **Anais**, Águas de Lindóia, Novembro 1992, 233-242
- Chuvieco, E. **Fundamentos de Teledetección Espacial**. Madrid, ed. Rialp, S.A., 1990, 453 p.
- Colwell, J. E. Vegetation canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, 3 (3): 175 – 183, 1974.
- Crósta, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento remoto**. Campinas – SP, UNICAMP, 1993. Segunda edição. 170 p.

- Curran, P. J.; Wardley, N. W. Radiometric leaf area index. **International Journal of Remote Sensing**, **9** (2): 259 – 274, 1988.
- Eiten, G. Classificação da vegetação do Brasil. Brasília – CNPq/Coordenação Editorial, 1983. 305 p.
- Egbert, D. D. A practical method for correcting bidirectional reflectance variation. Machine Processing Remotely Sensed Data Symposium. **Proceedings**. 1977. 178 – 189 p.
- Erthal, G. J.; Fonseca, L. M. G.; Bins, L. S.; Velasco, F. R. D.; Monteiro, A.M.V. Um Sistema de Segmentação e Classificação de imagens de Satélite. In: Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, 4., São Paulo, SP, 14-17 julho, 1991. **Anais**, São Paulo, EDUSP, 191, v. 1, p. 237-240
- Foresti, C. Impacto ambiental da expansão urbana no setor oeste da área metropolitana de São Paulo: Análise através de dados e técnicas de sensoriamento remoto. São José dos Campos, INPE, 1987, 30 p. (INPE 8279- PRE/279).
- Formaggio, A. R. **Comportamento espectral de alvos - Solos**. Material do Curso de Comportamento Espectral de Alvos. XIII Curso Internacional de Sensoriamento Remoto INPE – DSM. São José dos Campos – SP. 1999, 21 p.
- Gates, D. M.; Keegan, H. J.; Schleter, J. C.; Weidner, V. R. Spectral properties of plants. **Applied Optics**, **4** (1): 11-20, 1965.
- Gates, D. M. Physical and physiological properties of plants. In: National Academy of Sciences. (NAS). Remote sensing with special reference to agricultural and forestry. Washington, 1970.
- Goel, N. S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing Reviews**, **4** (1): 1-212, 1988.

- Hansen, K. L. GIS vs CAD vs DBMS em mapeamento digital: Exemplos em Engenharia Ambiental. Congresso Brasileiro de Cartografia. Brasília – DF. **Anais SBC**, 1989.
- Hernandez Filho, P.; Yanasse, C. C. F.; Sant’ana, S. J. S.; Kuplick, T. M.; Santos, P. P.; Dutra, L. V.; Orgambide, A. C. F.; Oliveira, P. M.; Cruz, R. J. D.; Azevedo, V. R. G. **Análise dos dados TM : Floresta Nacional do Tapajós**. São José dos Campos, 1994 (INPE – 5614 – RPQ/670).
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), **Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados**, [online]. <<http://www.seade.gov.br>>, julho, 1996.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Folha SF 23 Y-D-VI-1 Caraguatatuba**; carta topográfica. Rio de Janeiro, 1974.
- Instituto Geológico e Geográfico de São Paulo (IGGS). **Folha SF 23 Y-D-VI-1 e 3 Salesópolis**; carta topográfica. Rio de Janeiro, 1971.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Folha SF 23 Y-D-VI-3 São Sebastião**; carta topográfica. Rio de Janeiro, 1975.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Folha SF 23 Y-D-V-4 Maresias**; carta topográfica. Rio de Janeiro, 1973.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Folha SF 23 Y-D-V-2 Pico do Papagaio**; carta topográfica. Rio de Janeiro, 1974.
- INPE/DPI. **Manual do usuário do SPRING** – versão 3.3. São José dos Campos, 1999.
- Jackson, R. D.; Reginato, R. J.; Printer, P. J.; Idso, S. B. Plant canopy information extraction from composite scene reflectance of row crops. **Applied Optics**, **18** (22): 3775 – 3782, 1979.
- Jupp, D. L. B.; Walker, J.; Perrifge, L. K. Interpretation of vegetation structure in Landsat MSS imagery a case of study in disturbed semi-arid Eucalypt woodland. Part 2. Model-based analysis. **Journal Environmental Management**, **23** : 35 – 57, 1986.

- Kimes, D. S.; Kirchner, J. A. Diurnal variations of vegetation canopy structure. **International Journal of Remote Sensing**, 4 (2): 257 – 271, 1983.
- Kumar, R. Radiation from plants, reflection and emission : a review. Lafayette, Purdue Research Foundation. (Research Project n. 5543), 1972. 88 p.
- Kurkdjian, M. L. N.O. et al. **Macrozoneamento da região do vale do Paraíba e litoral Norte do Estado de São Paulo**. São José dos Campos, INPE, 1992, 205 p. (INPE 5381-PRP/165).
- Kurkdjian, M. L. N.O. et al. **PROJETO MAVALE : Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao macrozoneamento do vale do Paraíba e litoral Norte do Estado de São Paulo**. São José dos Campos, INPE, 1991, p. (INPE 5332- PRE/1731).
- Lillesand, T. M. ; Kiefer, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. John Wiley & Sons, Inc., 2 ed., 1987, 721 p.
- Loch, C.; F. F., Kirchner. Imagem de satélite na atualização cadastral. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5., Natal, RN, 11-15 out., 1988. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1988, v. 1, p. 3-6.
- Lucas, R.M., M. Honzak, G. M. Foody, P. J. Curran, Corves, C., 1993, Characterizing tropical secondary forests using multi-temporal Landsat sensor imagery. **International Journal of Remote Sensing**, 14, 3061-3067
- Mazzocato, M. E. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao Zoneamento urbano da bacia do rio Una : Município de São Sebastião,SP** (Dissertação - Instituto de Pesquisa Espaciais, São José dos Campos, 1998), 197p.
- Niero, M.; Lombardo, M. A.; Foresti, C. The use of Landsat data to monitor the urban growth of São Paulo metropolitan area. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 16., Buenos Aires, **Proceedings** 2-9 Jun. 1982.p.905-910.

- Novo, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto : princípios e aplicações**. São Paulo, Edgard Blucher, 1989. 308 p.
- Oliveira, M. L. N.; Foresti, C.; Barros, M. S. S.; Niero, M. A experiência do INPE no uso de sensoriamento remoto para estudos de planejamento urbano. Reunion Plenaria SELPER, 4.; In: Congresso Brasileiro de Geógrafos, Santiago, 1984. **Anais**. p. 103-109.
- Otterman, J. Reflection from soil with sparse vegetation. **Advance Space Research**, **1** 115 – 119. 1981.
- Otterman, J. Albedo of a forest modeled as a plane dense protusions. **Journal of Climate Applied Meteorology**, **23** (2): 297 – 307. 1984.
- Padilha, R. C. B. L. A.; Kurkdjian, M. L. N. O. Aplicação da técnica de segmentação em imagens HRV/SPOT para a discriminação dos vazios urbanos. [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 14-19 abr. 1996, **Anais**. São Paulo, Image-Multimídia, 1996.
- Pinter, Jr. P. J.; Jackson, R. D.; Ezra, C. E.; Gausman, H. W. Sun-angle and canopy – architecture effects on the spectral reflectance of six wheat cultivars. **International Journal of Remote Sensing**, **6** (12): 1813 – 1825, 1985.
- Pires Neto, A. G.; Chistofolletti, A. ; Garcia, J. P. M. Caracterização geomorfológica de planícies litorâneas e sua importância para a implementação de obras civis. In: Simpósio sobre Depósitos Quaternários das Baixadas Litorâneas Brasileiras, Rio de Janeiro. **Anais**. 2. 31-2.29, 1988.
- Ponzoni, F. J. Aplicação do modelo SAIL no estudo da reflectância espectral de dosséis de mudas de *Eucalyptus* sp. E de *Aspidorperma* sp (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Março 1993. 206 p.
- Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. **Spectral properties of vegetation**. Material do Curso de Comportamento Espectral de Alvos. Curso de Mestrado INPE – DSM. São José dos Campos – SP. 1991, 15 p.

- Projeto RADAMBRASIL. **Folha SF 23 Rio de Janeiro e Folha 24 Vitória**; vegetação e capacidade de uso dos recursos naturais renováveis. Rio de Janeiro, 1983, Vol. 32. (Levantamento de Recursos Naturais 3 e 5).
- Plano Cartográfico do Estado de São Paulo. **Folha SF 23-Y-D Santos**; carta de utilização da terra do Estado de São Paulo. São Paulo, 1980.
- Richards, J. A. **Remote sensing digital image analysis**. New York, Springer – Verlag, 1993.340p.
- Ross, J. L. S. Análise empírica de fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. In : ___ **Geomorfologia, ambiente e planejamento**, 2 ed. São Paulo, Contexto 1991. Cap. 12, p. 63-74.
- Rosa, R. **Introdução ao Sensoriamento remoto**. Uberlândia – MG, editora da UFU (EDUFU), 1992. 109 p.
- Shimabukuro, Y. E.; Mello, E. M. K.; Moreira, J. C.; Duarte, V. Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia. São José dos Campos, INPE, 1997, 16 p. (INPE 6147- PUD/029).
- Setzer, J. **Atlas Climático e ecológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, Comissão Estadual da Bacia Paraná - Uruguai, 1966, 61 p.
- Valente, A. L. S. Uma metodologia para determinação de áreas de risco através de geoprocessamento e sensoriamento remoto. [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 14-19 abr. 1996, **Anais**. São Paulo, Image-Multimídia, 1996.
- Vieira, I. M.; Kurkdjian, M. L. N. O. Avaliação da expansão urbana no município de Ubatuba com dados de sensoriamento remoto orbital. São José dos Campos, INPE, 1991, 18 p. (INPE 8295- PRE/295).

Veneziani, P.; Anjos, C. E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos, INPE, 1982. 61 p. (INPE-2227-MD/041).

Veneziani, P. **Interpretação visual de dados – Roteiro de Estudos e Definições Fundamentais**. Material do Curso de Interpretação Visual de dados. XIII Curso Internacional de Sensoriamento Remoto INPE – DSM. São José dos Campos – SP. 1988, 18 p.

Verhoef, W.; Bunnik, N. J. J. Influence of crop geometry on multispectral reflectance determined by the use of canopy reflectance models. In : International Colloquium on Signatures of Remotely Sensed Objects. Avignon. **Proceedings**. France, 1981. 273 – 290 p.

Rodríguez Yi, J. L. **Mapeamento e monitoramento de vegetação através de imagens AVHRR-NOAA** (Dissertação - Instituto de Pesquisa Espaciais, São José dos Campos, 1997), 133 p.

**APÊNDICE A – RESULTADOS DA OBSERVAÇÃO REALIZADA
DURANTE O TRABALHO DE CAMPO**

1) Relação de Pontos de observação adquiridos durante o Trabalho de Campo no Município de São Sebastião

Foram selecionados previamente 12 pontos de dúvida a serem visitados. Devido a condições de dificuldade de acesso e disponibilidade de tempo, foram realmente visitados apenas 8 pontos.

◆ Ponto 01

Este ponto tem as coordenadas geográficas correspondentes a S 23°43'30,8" e W 45°25'58,1". Está localizado no Bairro do Engenho (veraneio) e indicou através da imagem a ocorrência de Pasto e/ou Campo Antrópico. Foi observado no trabalho de campo que se tratava da presença de Culturas Mistas como banana, milho entre outros.

◆ Ponto 02

Este ponto apresenta as coordenadas geográficas correspondentes a S 23°27'13,4" e W 45°43'32,1". Está localizado próximo ao Rio Pereque-Mirim e indicou através da imagem a ocorrência da cultura de Banana, no entanto se tratava da cultura de Beringela. Então, permaneceu a classe de Culturas Mistas.

◆ Ponto 03

Este ponto tem as seguintes coordenadas geográficas : S 23°13'32,4" e W 45°24'49,4". Está localizado no Bairro da Enseada e indicou através da imagem a presença de campo antrópico, incluindo-se na classe de Pasto e/ou Campo Antrópico.

◆ Ponto 04

Este ponto tem as coordenadas geográficas correspondente a S 23°49'06,8" e W 45°27'18,6". Está localizado próximo a Praia de Guaeca em direção a Bertioga e indicou através da imagem a ocorrência de Restinga que foi confirmada com o trabalho de campo.

◆ Ponto 05

Este ponto apresenta as coordenadas geográficas correspondente a S 23°44'04" e W 45°27'17,8". Está localizado próximo ao Bairro do Engenho (veraneio) e indicou através da imagem a ocorrência de pasto. Então, incluiu-se na classe de Pasto e/ou Campo Antrópico.

◆ Ponto 06

Este ponto tem as coordenadas geográficas correspondente a S 23°47'58,4" e W 45°24'05,5". Está localizado próximo a PETROBRAS e indicou através das imagens a presença de área urbana. O trabalho de campo confirmou o ponto de dúvida como área urbana.

◆ **Ponto 07**

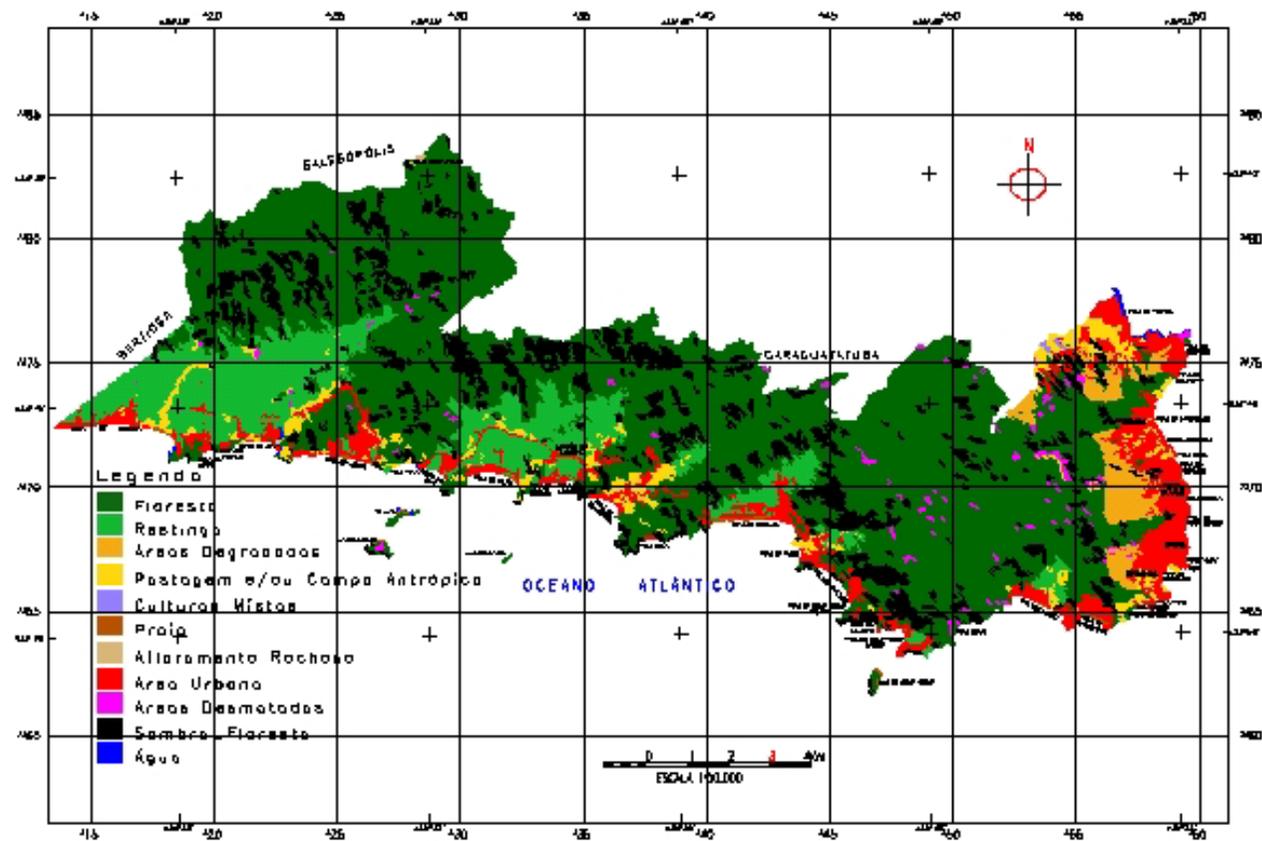
Este ponto tem as coordenadas geográficas correspondente a S 23°49'27,5" e W 45°26'30,0". Está localizado de frente para a Praia de Barequeçaba e indicou através das imagens a ocorrência de área urbana. Foi confirmado pelo trabalho de campo e permaneceu como área urbana.

◆ **Ponto 08**

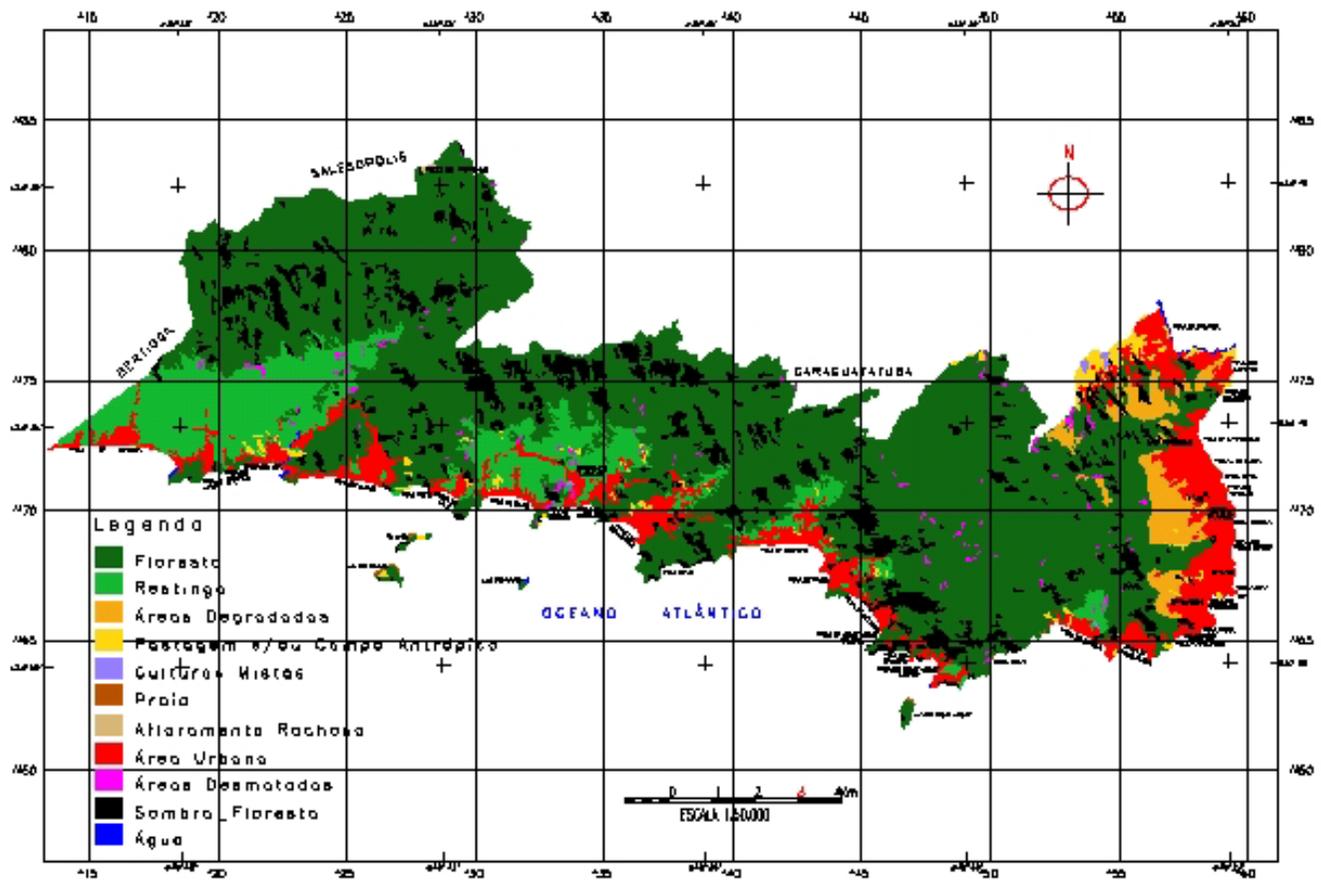
Este ponto tem as coordenadas geográficas correspondentes a S 23°43'24,8" e W 45°23'49,9". Localizado dentro de um condomínio residencial privado próximo ao Bairro do Barro (Praia do Barro) e indicou nas imagens a presença de afloramento rochoso. Porém, se tratava de área urbana localizada em uma área muito acidentada.

APÊNDICE B
MAPAS DE USO E COBERTURA DO SOLO (1988, 1997 E 1999) GERADOS
A PARTIR DAS IMAGENS DE SATÉLITE

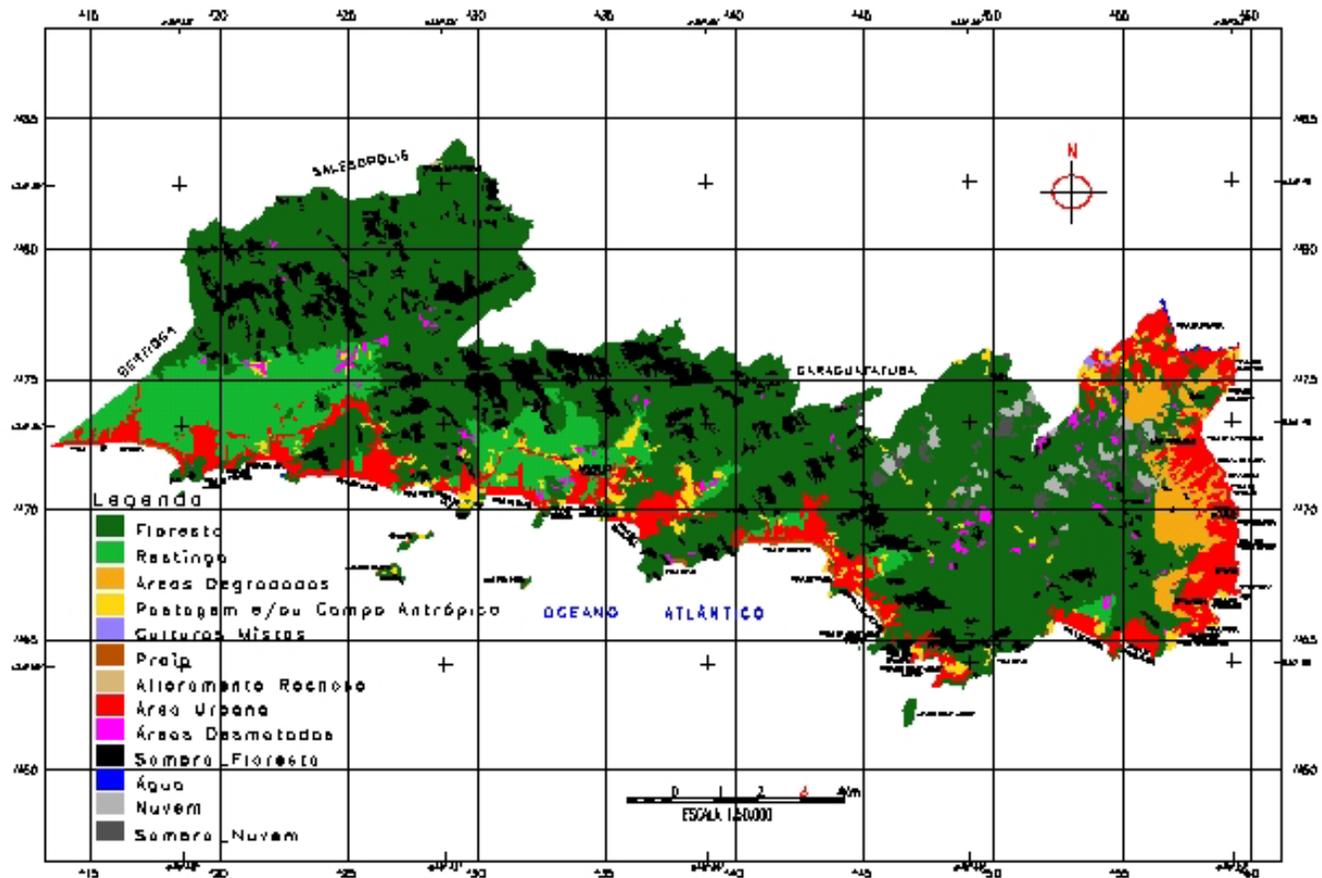
MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO DE 1988
MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO – SP



MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO DE 1997
MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO – SP



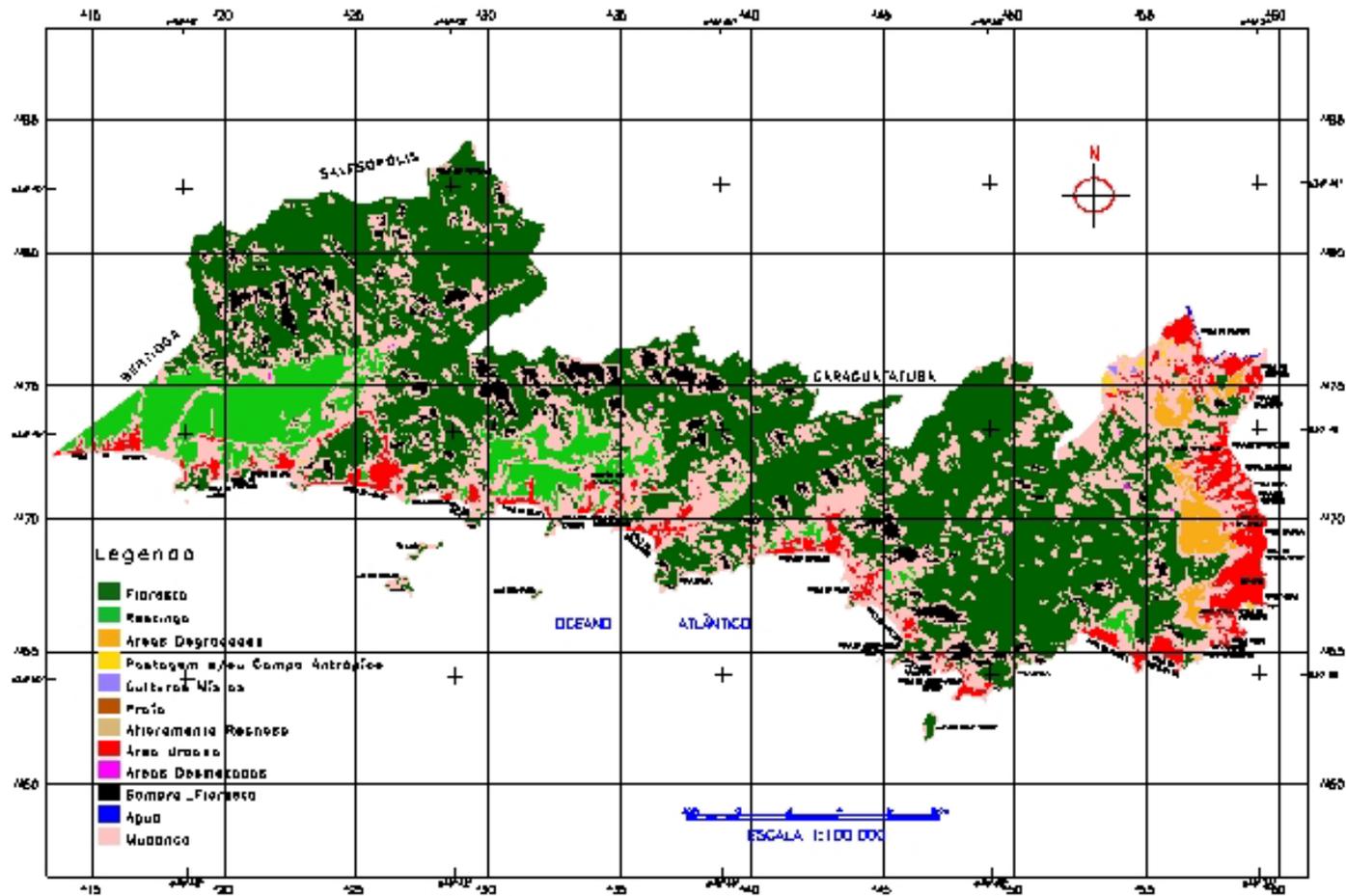
MAPA DE USO E COBERTURA DO SOLO DE 1999
MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO - SP



APÊNDICE C

**MAPA DA DINÂMICA DE USO E COBERTURA DO SOLO DO
MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO GERADO A PARTIR DO
CRUZAMENTO DE PI'S TEMÁTICOS DOS ANOS 1988, 1997 E 1999.**

MAPA DA DINÂMICA DE USO E COBERTURA DO SOLO MUNICÍPIO DE SÃO SEBASTIÃO – SP



APÊNDICE D - PROGRAMAS COMPUTACIONAIS

```

{
    Imagem p1, p2 ("Landsat");
    Tematico p3 ("Limite");

    p1 = Recuperar (Nome = "TM3-03/07/88");
    p2 = Novo (Nome = "TM3-03/07/88_rec", ResX=30, ResY=30);
    p3 = Recuperar (Nome = "Limite_municipal");
    p2 = p3.Clasificar == "São Sebastião" ? p1 :255 ;
}

{
    Imagem p1, p2 ("Landsat");
    Tematico p3 ("Limite");

    p1 = Recuperar (Nome = "TM4-03/07/88");
    p2 = Novo (Nome = "TM4-03/07/88_rec", ResX=30, ResY=30);
    p3 = Recuperar (Nome = "Limite_municipal");
    p2 = p3.Clasificar == "São Sebastião" ? p1 :255 ;
}

{
    Imagem p1, p2 ("Landsat");
    Tematico p3 ("Limite");

    p1 = Recuperar (Nome = "TM5-03/07/88");
    p2 = Novo (Nome = "TM5-03/07/88_rec", ResX=30, ResY=30);
    p3 = Recuperar (Nome = "Limite_municipal");
    p2 = p3.Clasificar == "São Sebastião" ? p1 :255 ;
}

{
    Imagem p1, p2 ("Landsat");
    Tematico p3 ("Limite");

    p1 = Recuperar (Nome = "TM3-26/06/97");
    p2 = Novo (Nome = "TM3-26/06/97_rec", ResX=30, ResY=30);
    p3 = Recuperar (Nome = "Limite_municipal");
    p2 = p3.Clasificar == "São Sebastião" ? p1 :255 ;
}

{
    Imagem p1, p2 ("Landsat");
    Tematico p3 ("Limite");

    p1 = Recuperar (Nome = "TM4-26/06/97");
    p2 = Novo (Nome = "TM4-26/06/97_rec", ResX=30, ResY=30);
    p3 = Recuperar (Nome = "Limite_municipal");
    p2 = p3.Clasificar == "São Sebastião" ? p1 :255 ;
}

{
    Imagem p1, p2 ("Landsat");
    Tematico p3 ("Limite");

    p1 = Recuperar (Nome = "TM5-26/06/97");
    p2 = Novo (Nome = "TM5-26/06/97_rec", ResX=30, ResY=30);
    p3 = Recuperar (Nome = "Limite_municipal");
    p2 = p3.Clasificar == "São Sebastião" ? p1 :255 ;
}

```

```

}
{
    Imagem p1, p2 ("Spot");
    Tematico p3 ("Limite");

    p1 = Recupere (Nome = "Spot30-16/05/99");
    p2 = Novo (Nome = "spot30-16/05/99_rec", ResX=30, ResY=30);
    p3 = Recupere (Nome = "Limite_municipal");
    p2 = p3.Classe == "São Sebastião" ? p1 :255 ;
}

//
// Programa para determinar cruzamento de PI's,
// utilizando método booleano
// Dados os mapas de Uso e Cobertura de Solo 88, 97 e 99
//

{
// Declaração das variáveis temáticas
//Tematico Uso_Cobertura_Solo ("Class_88-R") , Uso_Cobertura_Solo
("Class_97-R") , Uso_Cobertura_Solo ("Class_99-R") ,
//Cruzamento ("Class_88-97-99") ;

Tematico Class88R , Class97R , Class99R ("Uso_Cobertura_Solo"),
Cruzamento ("Cruzamento") ;

// Instanciações das variáveis temáticas
Class88R = Recupere (Nome="Class_88-R");
Class97R = Recupere (Nome="Class_97-R");
Class99R = Recupere (Nome="Class_99-R");

Cruzamento = Novo (Nome="Mapa_Class_88-97-99", ResX=30, ResY=30,
Escala=60000);

Cruzamento = Atribua (CategoriaFim="Cruzamento")
{
"Floresta 1" : Class88R=="Floresta I"  && Class97R=="Floresta I" &&
Class99R == "Floresta I" ,

"Restinga 1" : Class88R == "Floresta II (Restinga)" && Class97R ==
"Floresta II (Restinga)" && Class99R == "Floresta II (Restinga)",

"Áreas Degradadas 1" : Class88R == "Áreas Degradadas" && Class97R ==
"Áreas Degradadas" && Class99R == "Áreas Degradadas",

"Pastagem e/ou Campo Antrópico 1" : Class88R == "Pastagem e/ou Campo
Antrópico" && Class97R == "Pastagem e/ou Campo Antrópico" && Class99R ==
"Pastagem e/ou Campo Antrópico",

"Culturas (Banana, Milho, Beringe" : Class88R == "Cultura I (Anuais)" &&
Class97R == "Cultura I (Anuais)" && Class99R == "Cultura I (Anuais)" ,

"Culturas (Banana, Milho, Beringe" :Class88R == "Culturas Mistas (Banana,
Milho," && Class97R == "Culturas Mistas (Banana, Milho," && Class99R ==
"Culturas Mistas (Banana, Milho," ,

```

```

"Culturas (Banana, Milho, Beringe" : Class88R == "Cultura III
(Fruticultura)" && Class97R == "Cultura III (Fruticultura)" && Class99R
== "Cultura III (Fruticultura)" ,

"Praia 1" : Class88R == "Praia" && Class97R == "Praia" && Class99R ==
"Praia",

"Afloramento Rochoso 1" : Class88R == "Afloramento Rochoso" && Class97R
== "Afloramento Rochoso" && Class99R == "Afloramento Rochoso" ,

"Área Urbana 1" : Class88R == "Área Urbana" && Class97R == "Área Urbana"
&& Class99R == "Área Urbana" ,

"Área Desmatada 1" : Class88R == "Áreas desmatadas" && Class97R == "Áreas
desmatadas" && Class99R == "Áreas desmatadas" ,

"Água 1" : Class88R == "Água" && Class97R == "Água" && Class99R ==
"Água",

"Nuvem 1" : Class88R == "Nuvem" && Class97R == "Nuvem" && Class99R ==
"Nuvem",

"Sombra_Floresta 1" : Class88R == "Sombra_Floresta" && Class97R ==
"Sombra_Floresta" && Class99R == "Sombra_Floresta",

"Sombra_Nuvem 1" : Class88R == "Sombra_Nuvem" && Class97R ==
"Sombra_Nuvem" && Class99R == "Sombra_Nuvem",

"Mudança": Class88R != Class97R,

"Mudança": Class88R != Class99R

};
}

```