UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO COMO
FERRAMENTAS NA GESTÃO AMBIENTAL DE UNIDADES DE
CONSERVAÇÃO : O CASO DA ÁREA DE PROTEÇÃO
AMBIENTAL (APA) DO CAPIVARI-MONOS, SÃO PAULO-SP**

Luiz Roberto de Campos Jacintho

Orientador : Prof. Dr. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

SÃO PAULO
2003

"...pois a virtude dos mapas é essa,
exibem a redutível disponibilidade do espaço,
previnem que tudo pode acontecer nele
e acontece."

José Saramago em Jangada de Pedra.

Sumário

Dedicatória	i
Agradecimentos	ii
Lista de figuras	iii
Lista de tabelas	v
Resumo	vi
Abstract	vii
1. Introdução	1
2. Objetivos	4
2.1. Gerais	4
2.2. Específicos	4
3. Caracterização da área de estudo	5
3.1. O Município de São Paulo	5
3.2. Área de Proteção Ambiental Municipal Capivari-Monos	7
3.2.1 Localização	7
3.2.2 Sócio-economia	9
3.2.3 Clima	10
3.2.4 Geologia	10
3.2.5 Relevo e Hidrografia	12
3.2.6 Vegetação	15
3.2.7 Unidades de Conservação e outras Áreas protegidas	16
3.2.8 Gestão Ambiental na APA	19
4. Conceituação Teórica e Trabalhos Anteriores	20
4.1 Geoprocessamento	20
4.1.1 Conceituação	20
4.1.2 Análise de Dados Espaciais	23
4.2 Sensoriamento Remoto	25
4.2.1 Conceituação	25
4.2.2 A Radiação Eletromagnética e o comportamento espectral dos alvos	27
4.2.3 Processamento Digital de Imagens	33
4.2.3.1 Correção Geométrica	33
4.2.3.2 Fusão	35
4.2.3.3 Operações Aritméticas	36
4.2.3.4 Classificação	38

4.2.3.5	Detecção de Mudanças	41
4.3	A Gestão Ambiental	42
4.3.1	Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável	42
4.3.2	Zoneamento ambiental	44
4.4	Áreas Protegidas	48
4.4.1	Unidades de Conservação	48
4.4.2	Áreas de Proteção Ambiental	50
4.5	O Papel do Geoprocessamento na Gestão Ambiental	53
5.	Material e Métodos	57
5.1	Abordagem Proposta	57
5.2	Equipamentos e programas utilizados	60
5.3	Entrada de dados	63
5.3.1	Criação de banco de Dados e Modelagem	63
5.4	Processamento Digital de Imagens	65
5.4.1	Correção Geométrica e Registro das Imagens	65
5.4.2	Fusão entre Bandas	65
5.4.3	Operações Aritméticas	66
5.4.4	Segmentação e Classificação	68
5.4.5	Detecção de mudanças	69
5.5	Modelo Numérico de Terreno	71
5.6	Mapas Temáticos	72
5.6.1	Uso e Cobertura do solo	72
5.6.2	Geomorfologia	73
5.6.3	Geotecnia	73
5.7	Análise Espacial	73
5.7.1	Fragilidade do Meio Físico	74
5.7.2	Tabulação cruzada	75
6.	Resultados e discussão	76
6.1	Fragilidade do Meio Físico	78
6.1.1	Fator geomorfologia	79
6.1.2	Fator Geotecnia	84
6.1.3	Análise do Mapa Síntese	86
6.2	Desmatamento	89
6.3	Uso do Solo e Cobertura Vegetal	89
6.4	Quadro Diagnóstico	98
7.	Conclusões	101
8.	Referências Bibliográficas	103

Para minha mãe, Lair, pelo colo, pela dedicação
e pelo amor, que nunca me faltaram.

Ao meu velho Caetano, simplesmente pai e exemplo.

Às minhas princesas Isadora e Anahy,
por existirem e brincarem comigo.

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização desse trabalho, e de forma especial :

Ao Prof. Dr. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida, pela orientação e amizade, que tornaram o caminho mais alegre.

Ao instituto de geociências da Universidade de São Paulo, em especial ao Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, pela infra-estrutura colocada à disposição.

À Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente (SVMA) da Prefeitura do Município de São Paulo, pelo apoio sem o qual este trabalho não seria possível.

Aos membros do conselho gestor da APA do Capivari-Monos, cuja tarefa, que compartilho, motivou a produção dessa dissertação.

Aos colegas da Prefeitura : Anita, Lúcia, Letícia, Oswaldo, Agni, Rodrigo, Leda, Ricardo, Domingos e Flávio, pelos debates e críticas, que muito auxiliaram na condução do trabalho.

Aos funcionários do IGc, especialmente da Biblioteca, da Secretaria de Pós-Graduação e do Laboratório de Informática Geológica, pela cortesia e competência no atendimento.

Lista de Figuras

Figura 3.1- Carta Imagem da APA do Capivari-Monos.	8
Figura 3.2- Geologia da região Sul do Município de São Paulo. Modificado de Rodriguez, 1988.	13
Figura 3.3- Mapa esquemático de relevo e hidrografia.	14
Figura 3.4- Mapa das Unidades de Conservação.	18
Figura 4.1- Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. Fonte: Câmara, 1995.	21
Figura 4.2- Imagem MSS/Landsat da região Metropolitana de São Paulo, no ano da promulgação da Lei de Proteção aos Mananciais (1976). Fonte INPE.	27
Figura 4.3- Representação esquemática da REM: Campos elétrico e magnético e comprimento de onda em função da direção de propagação.	28
Figura 4.4- O espectro eletromagnético.	29
Figura 4.5- Comportamento espectral de diferentes superfícies.	30
Figura 4.6- Curva de reflectância típica de uma folha verde. Fonte: Novo, 1989.	31
Figura 4.7- Bandas do sensor TM, em relação à curva de assinatura espectral de alguns materiais (Drury, 1993).	32
Figura 4.8- Procedimentos técnico-operacionais para o ZEE do Brasil (MMA, 2001).	47
Figura 5.1- Composições coloridas RGB 4, 5, 3. A esquerda imagens originais com 30 metros de resolução espacial e a esquerda com 15 metros, resultado da fusão com a banda pan-cromática.	67
Figura 5.2- Imagem rotulada sobreposta a uma composição colorida R4, G5 e B3.	69
Figura 5.3- Curvas de reflectância de alguns materiais que compõem as áreas urbanas e da vegetação. (modificado de Zheng et al.).	70
Figura 5.4- Composição colorida R-ETM3 (2000), G- TM3 (1991) e B- TM3 (1991), mostrando em vermelho as áreas onde a urbanização avançou sobre a vegetação.	71
Figura 6.1- Bacias e sub-bacias hidrográficas.	77
Figura 6.2- Mapa Hipsométrico.	80

Figura 6.3- Mapa de Declividade.	81
Figura 6.4- Imagem sombreada de relevo.	82
Figura 6.5- Mapa Geomorfológico.	83
Figura 6.6- Mapa Geotécnico.	85
Figura 6.7- Solo muito arenoso e suscetível à erosão, na região de Campos naturais.	87
Figura 6.8- Mapa de Fragilidade do Meio Físico.	88
Figura 6.9- Desmatamento no Período 1991-2000.	92
Figura 6.10- Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal.	93
Figura 6.11- Floresta ombrófila densa montana, na sub-bacia Evangelista de Souza. Foto: Maria Lúcia Bellenzani.	94
Figura 6.12- Floresta ombrófila densa alto-montana (Mata Nebular), na sub-bacia Getúlio.	94
Figura 6.13- Campo de várzea associado a planície aluvial do rio Embu Guaçu. Foto: Maria Lúcia Bellenzani.	95
Figura 6.14- Campo de várzea na região da Cratera do Colônia. Foto: Teodoro I.R. de Almeida.	95
Figura 6.15- Ocupação urbana (Loteamento Vargem-Grande) na região da Cratera do Colônia.	96
Figura 6.16- Ocupação rural na sub-bacia do Gramado. Foto: Maria Lúcia Bellenzani.	96
6.17- Campos naturais associados à mata nebular, na sub-bacia Cabeceira do Capivari.	97
6.18- Detalhe dos campos naturais e da mata nebular. Foto: Teodoro I.R. de Almeida.	97

Lista de Quadros

Quadro 3.1- Evolução da população residente na região Metropolitana e no Município de São Paulo, nas últimas quatro décadas.	5
Quadro 3.2- Distribuição da população nas bacias Hidrográficas da APA do Capivari-Monos.	9
Quadro 3.3- Aspectos sócio-econômicos dos distritos de Marsilac e Parelheiros.	10
Quadro 3.4- Unidades de Conservação na APA municipal do Capivari-Monos.	16
Quadro 4.1- Vantagens e desvantagens dos diferentes formatos de representação.	22
Quadro 4.2- Unidades de Conservação (UC) Federais no Brasil, Classificadas por categoria de uso. Situação em 03/01/2003.	49
Quadro 4.3- Relação das APAs federais sob administração do IBAMA.	52
Quadro 5.1- Bases cartográficas e produtos de sensoriamento utilizados.	62
Quadro 5.2- Categorias e modelos de dados no SPRING.	64
Quadro 5.3- Estrutura inicial do Bancos de Dados Geográficos criado.	65
Quadro 6.1- Relação das bacias e sub-bacias hidrográficas da APA do Capivari-Monos.	76
Quadro 6.2- Características das classes do mapa geomorfológico (Figura 6.5).	79
Quadro 6.3- Características dos compartimentos do Mapa Geotécnico (IPT, 1990 e PMSP, 1992).	84
Quadro 6.4- Área desmatada no período 1991-2000, por bacia hidrográfica.	89
Quadro 6.5- Classes de uso do solo e cobertura vegetal, do mapa produzido através do processamento digital das imagens Landsat 7 (2000).	91
Quadro 6.6- Síntese dos resultados obtidos.	100

Resumo

Um quadro diagnóstico da Área de proteção Ambiental (APA) do Capivari Monos foi elaborado com informações produzidas através da aplicação de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Essa Unidade de Conservação se localiza no extremo sul do município de São Paulo, onde ainda existem importantes fragmentos de Mata Atlântica e mananciais hídricos estratégicos para a Região Metropolitana de São Paulo. Um Mapa Geomorfológico foi produzido com o apoio de um Modelo Numérico de Terreno. Com a aplicação de Álgebra de Mapas, foram integrados os dados sobre Geotecnia e Geomorfologia e um mapa de Fragilidade do Meio Físico foi elaborado. As condições de hidrografia e relevo apontaram indícios de movimentação tectônica recente na região. Imagens dos Satélites Landsat-5 e Landsat-7 foram comparadas, com o emprego de técnicas de detecção de mudanças, para a quantificação do desmatamento no período entre 1991 e 2000. As imagens do satélite Landsat-7 foram classificadas, através do método supervisionado por regiões, para produção de um mapa temático de Uso do Solo e Cobertura Vegetal. Os resultados foram quantificados por sub-bacias hidrográficas, compondo um quadro comparativo que se destina a subsidiar a gestão ambiental da APA. Esses resultados mostram que o crescimento da ocupação urbana se concentra na bacia da Billings, principalmente na sub-bacia da Cratera de Colônia, onde a fragilidade do meio físico foi considerada muito alta.

ABSTRACT

Through the application of Geographical Information System and Remote Sensing it was elaborated a chart diagnosis for Capivari-Monos Environmental Protection Area. This Conservation Unit is located in the south end of São Paulo city where important Atlantic Forest fragments and strategic water spring still exist. With the support of a Digital Terrain Model it was produced a Geomorphologic map. Applying Map Algebra the data on Geotechnics and Geomorphology had been integrated for mapping the fragility of physical environment. Relief and hidrography conditions pointed indications of neotectonic movements in this region. Employing change detection techniques in Landsat-7 images the deforestation between 1991 and 2000 was evaluated. A land use and land cover map was produced trough Landsat-7 image classification (supervised per region method). The results show that the urban growth concentrates on the basin of Billings, mainly at the Cratera de Colônia sub-basin where the fragility regarding to phisical environment was considered very high.

1. Introdução

O Homem tem percebido, muitas vezes a duras penas, a necessidade de se identificar e obedecer aos limites impostos pela natureza.

O sucesso na mediação dos conflitos entre as demandas sócio-econômicas e a conservação ambiental, ou seja, da gestão ambiental, depende essencialmente do conhecimento da realidade e da participação dos atores envolvidos. Isso só é possível com a implementação de sistemas bem estruturados, onde a divisão das responsabilidades seja bem esclarecida.

A solução desses conflitos se encontra entre os principais desafios da humanidade atualmente e nesse aspecto ganha importância o ordenamento territorial, que tem como instrumento fundamental o zoneamento ecológico-econômico ou zoneamento ambiental.

A despeito dos avanços tecnológicos alcançados e da aparente disseminação da consciência ambiental, entendida como uma preocupação com a qualidade de vida do homem, intimamente relacionada com a qualidade do meio em que ele vive, ainda persistem e até crescem os problemas de poluição do ar, da água e do solo, assim como de desmatamento e perda de biodiversidade.

O desenvolvimento e aplicação de ferramentas adequadas à gestão ambiental têm, por isso, sido alvo de inúmeros estudos e pesquisas, com destaque para a aplicação das geotecnologias, que incluem os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) e o Sensoriamento Remoto e se encontram num estágio avançado de desenvolvimento, permitindo grande acessibilidade de recursos, a custos relativamente baixos.

Os SIG's têm papel relevante na gestão ambiental por facilitarem o gerenciamento de informações espaciais e permitirem a elaboração de diagnósticos e prognósticos, subsidiando a tomada de decisões.

Já o Sensoriamento Remoto, devido à rapidez e periodicidade na obtenção de dados primários sobre a superfície terrestre, constitui-se numa das formas mais eficazes de monitoramento ambiental em escalas locais e globais.

O papel das geotecnologias na construção do desenvolvimento sustentável é enfatizado inclusive na Agenda 21 (UNEP, 1992), documento elaborado durante a conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente, realizada no Rio de Janeiro em 1992.

Na prática, muito tem sido feito para incorporação dessas tecnologias no processo de gestão territorial. No Brasil, por exemplo, as diretrizes metodológicas para elaboração do zoneamento ecológico-econômico dos Estados, bem como o roteiro para gestão ambiental de Áreas de Proteção Ambiental, indicam a necessidade da sua utilização, que vem de fato acontecendo.

Diante da necessidade de proteção de áreas consideradas especiais, por seus atributos naturais, o poder público pode implantar as unidades de conservação (Parques, Reservas e Áreas de Proteção Ambiental-APA's etc.). O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), estabelece os critérios para a implantação e gestão dessas unidades.

Dentre as diversas categorias de unidades de conservação (UC's), merece destaque o caso das APA's, por tratarem-se de áreas onde a proteção não se pauta exclusivamente pela imposição de restrições, mas pelo estabelecimento de uma gestão participativa e pelo uso sustentável dos recursos naturais, orientado pelo zoneamento ambiental.

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é palco de muitos dos conflitos anteriormente citados. Contudo, no extremo sul do município de São Paulo ainda ocorre significativa extensão territorial, onde predominam áreas naturais de grande importância para a manutenção da qualidade de vida na metrópole, entre outros motivos por influenciar no clima local e regional, além de proteger mananciais de água, essenciais para sustentação da população paulistana.

Considerando a necessidade de preservação desta região ainda pouco comprometida em termos de degradação, a Prefeitura do Município de São Paulo (PMSP) criou em 2002 a Área de Proteção Ambiental (APA) Municipal do Capivari-Monos, como estratégia para a implementação de um sistema participativo de gestão ambiental local.

Visando implementar a gestão foi criado um Conselho Gestor paritário, com participação de membros do setor público e da sociedade civil, que vem trabalhando na elaboração do zoneamento ecológico-econômico do território, com intuito de compatibilizar o desenvolvimento econômico local e a proteção ao rico patrimônio natural ali existente.

A aplicação de geotecnologias na integração de dados e produção de informações espaciais permite a elaboração de um diagnóstico atualizável da situação

da APA, fundamental como subsídio para a elaboração do seu zoneamento e para a implementação do sistema de gestão.

Ainda nesse sentido, a construção de um banco de dados geográficos vem ao encontro do anseio de montagem de um sistema de informações da APA do Capivari-Monos, que permita o intercâmbio entre os diversos órgãos e instituições representados no conselho, visando a otimização dos recursos empregados no monitoramento, fiscalização e educação ambiental.

Dentro desse cenário se insere a presente dissertação, na qual são discutidas e aplicadas técnicas de geoprocessamento e processamento digital de imagens de sensoriamento remoto óptico, integrando dados e produzindo informações sobre a fragilidade do meio físico e a dinâmica do uso do solo na região.

Esclarecemos ainda que a PMSP, através da Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente, enquanto interessada direta pelos resultados obtidos nessa dissertação, prestou seu apoio principalmente com a aquisição das imagens de satélite, disponibilização de equipamento de informática e infra-estrutura para levantamentos de campo (veículos), assim como auxílio técnico de profissionais de outras áreas.

2. Objetivos

2.1 Objetivos Gerais

Esta dissertação tem como objetivo geral contribuir para a gestão ambiental da Área de Proteção Ambiental do Capivari-Monos, através da aplicação de técnicas de geoprocessamento e processamento digital de imagens de sensoriamento remoto óptico para montagem de um Sistema de Informações Geográficas.

2.2 Objetivos Específicos

- Organizar e compilar as informações espaciais disponíveis, construindo um banco de dados georeferenciados, com a utilização de produtos de livre distribuição.
- Aplicar diferentes técnicas de processamento digital de imagens em dados do satélite Landsat, para obtenção de informações sobre uso do solo e cobertura vegetal.
- Produzir uma carta atualizada de uso do solo para a região da APA do Capivari-Monos.
- Proceder uma análise multitemporal, comparando imagens Landsat de diferentes datas e avaliando as mudanças ocorridas no uso do solo no período estudado.
- Elaborar um diagnóstico atualizado e atualizável da APA do Capivari-Monos, através da integração de dados espaciais, com a aplicação de métodos disponíveis.

3. Caracterização da área de estudo

3.1. O Município de São Paulo

A população de São Paulo estava, segundo o censo do IBGE, em 10.434.000 no ano 2000, o equivalente a pouco mais de 6% da população brasileira (quadro 3.1) (IBGE, 2003). Apesar da redução nas taxas de crescimento que vem ocorrendo nos últimos anos, a cidade se ressentia dessa enorme concentração humana, apresentando problemas típicos das grandes cidades do terceiro mundo: altos índices de poluição, desemprego, criminalidade etc.

Quadro 3.1- Evolução da População Residente na Região Metropolitana e no Município de São Paulo, nas últimas quatro décadas.

	População Residente (x 1.000)				
	1960	1970	1980	1991	2000
Brasil	70.191	93.139	119.003	146.825	169.799
Estado de São Paulo	12.824	17.772	25.041	31.589	37.032
Região Metropolitana de São Paulo	4.791	8.140	12.589	15.445	17.879
Município de São Paulo	3.783	5.825	8.493	9.646	10.434

Fonte: IBGE, 2003

O crescimento acelerado da população paulistana, principalmente nas décadas de 60 e 70, se deu sob uma lógica perversa, na qual os grandes contingentes migratórios que chegavam eram obrigados a ocupar as periferias, na maioria das vezes situadas em locais de alta fragilidade ambiental.

Nas palavras de Santos (1990): *“O crescimento metropolitano resulta de um conjunto de processos sistematicamente interligados, entre os quais a integração do território, a desarticulação das economias tradicionais e dos cimentos regionais, os novos papéis da circulação no processo produtivo, o desencadeamento de grandes correntes migratórias, paralelamente ao processo de concentração de rendas. Esse conjunto de processos traz às grandes cidades numerosas leva de habitantes do campo e das cidades menores, que se instalam como podem e, via de regra, terminam por se aglomerar nas enormes periferias desprovidas de serviços e onde o custo de vida, exceto o da habitação assim conquistada, é mais caro que nas áreas mais centrais”*.

A taxa de crescimento populacional, para o município como um todo, vem caindo nas décadas de 80 (1,35%) e 90 (0,81%). Porém, quando se analisa a taxa de crescimento por distrito o que se verifica é uma forte migração interna: enquanto alguns distritos centrais, como o Pari, apresentam crescimento negativo de 30,4%, outros como Parelheiros tiveram crescimento positivo de 84,9%, na década de 90, segundo dados dos censos do IBGE de 1991 e 2000.

A exclusão social, é uma característica sócio-econômica marcante da cidade de São Paulo, sendo que boa parte da população paulistana não tem acesso às condições básicas de saúde, educação, lazer, saneamento etc. Spozatti (2002) mostram, através de indicadores sócio-econômicos, que a exclusão é maior nos distritos periféricos.

Os problemas ambientais da cidade estão associados à alta concentração populacional e ganharam dimensões extravagantes, adquirindo mesmo um aspecto de aparente insolubilidade, face à complexidade do seu equacionamento o que exige uma ação articulada entre os três níveis de governo (Federal, Estadual e Municipal), além de um amplo envolvimento da sociedade

A cidade produz 16 mil toneladas de lixo diariamente e a capacidade dos aterros sanitários em operação está por se esgotar, havendo pouca disponibilidade de terrenos adequados para a instalação de novos. Mais de 5 milhões de veículos compõem a frota motorizada de São Paulo, e a sua circulação é considerada a principal fonte de poluição atmosférica e sonora. Outro número impressionante: mais de um milhão de pessoas residem em área de proteção de mananciais, comprometendo a qualidade dos recursos hídricos, já escassos para a região metropolitana de São Paulo.

São Paulo não conseguiu praticar a gestão do espaço de forma eficiente, o que seria essencial para a amenização dos impactos oriundos do adensamento populacional. O Ato nº 663, de 10 de Agosto de 1934, que consolidava a legislação de zoneamento urbano, permaneceu, com muitas regulamentações, por quase 40 anos. Só no início da década de 70 surge o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado (PDDI), acompanhado pela Lei de Zoneamento, que data de 1972. Com inúmeras alterações, essa é ainda a lei que ordena o parcelamento, uso e ocupação do solo no município. Em 1988, na gestão de Jânio Quadros, foi instituído outro plano diretor, que teve vigência até 2002, quando foi aprovada a lei nº 13.430, que institui o Plano Diretor Estratégico e o Sistema de Planejamento e Gestão do Desenvolvimento Urbano. A implementação do novo plano diretor, que tem um importante viés ambiental, é crucial para reversão do atual quadro de degradação.

3.2. Área de Proteção Ambiental Municipal do Capivari - Monos

A criação dessa unidade de conservação se deu através da Lei nº 13.136, de 22 de Maio de 2001, e sua concretização decorreu de um processo técnico e político que merece destaque, pois mesmo antes da promulgação da lei, a importância ambiental da região já era reconhecida por muitos dos moradores locais.

A ocorrência de significativas extensões de Mata Atlântica, de mananciais de importância metropolitana, de áreas com potencial interesse arqueológico, bem como um importante patrimônio cultural, representado pelas comunidades indígenas, motivaram a iniciativa do poder público municipal.

De acordo com o artigo 3º da lei 13.136, a criação da APA se destina a:

- Promover o uso sustentado dos recursos naturais,
- Proteger a biodiversidade,
- Proteger os recursos hídricos e os remanescentes de Mata Atlântica,
- Proteger o patrimônio arqueológico e cultural,
- Promover a melhoria da qualidade de vida das populações,
- Manter o caráter rural da região e
- Evitar o avanço da ocupação urbana.

3.2.1 Localização

A APA do Capivari-Monos, se situa na zona sul do município de São Paulo, no território da sub-prefeitura de Parelheiros, abrangendo todo o distrito de Marsilac e a porção Sul do distrito de Parelheiros. Seus limites, a Leste, Oeste e Sul, coincidem com os do município. Já ao norte sua delimitação foi definida pelo divisor de águas do Ribeirão Vermelho e pela presença da Cratera de Colônia (figura 3.1).

A área protegida envolve parte das bacias hidrográficas dos reservatórios Guarapiranga (Oeste) e Billings (Nordeste), além de toda a bacia dos rios Capivari e Monos. O acesso principal se dá pela Estrada de Parelheiros e Estrada da Colônia.

APA DO CAPIVARI–MONOS
CARTA IMAGEM

LOCALIZAÇÃO DA APA

LOCALIDADES

- 1– Vargem Grande
- 2– Jd. Nova América
- 3– Barragem
- 4– Eng. Marsilac
- 5– Evangelista de Souza
- 6– Gramado

IMAGEM LANDSAT 7 (30/04/2000)

REGIÃO DA APA:
COMPOSIÇÃO COLORIDA
ETM5 (VERMELHO)
ETM4 (VERDE)
ETM3 (AZUL)
FUNDO:
ETM8 (PANCROMÁTICA)

USP Universidade de São Paulo
BRASIL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM RECURSOS MINERAIS E HIDROGEOLOGIA

ALUNO: LUIZ ROBERTO DE CAMPOS JACINTHO

ORIENTADOR: PROF. DR. TEODORO I. R. DE ALMEIDA

3.2.2 Sócio-economia

A população da APA, calculada com base nos dados do censo de 2000 (IBGE), é de 31.068 habitantes, concentrados na porção norte do território, em especial na bacia da Billings (quadro 3.2).

Quadro 3.2- Distribuição da população nas bacias hidrográficas da APA do Capivari-Monos.

Bacia	População	%
Billings	21.834	79,94
Guarapiranga	2.144	13,16
Capivari-Monos	4.090	6,90
Total	31.068	100,00

Fonte: IBGE, 2000

O núcleo urbano mais significativo é o loteamento Vargem Grande, localizado no interior da Cratera de Colônia, na bacia da Billings, onde vive cerca de 50% da população da APA (15.540 habitantes), segundo cálculos realizados com base nos setores censitários do IBGE. Na mesma bacia estão os bairros Pq. Nova América e Barragem, onde se observa o processo de adensamento.

O bairro de Engenheiro Marsilac, outro núcleo urbano importante na APA, é uma ocupação que se desenvolveu na época da construção da estrada de ferro Santos-Jundiaí, e hoje se configura num pequeno centro regional, com características de cidade de interior.

Spozatti (2002) verificaram que os índices de exclusão social dos distritos de Marsilac e Parelheiros estão entre os mais elevados do município de São Paulo. No quadro 3.3 estão lançados alguns indicadores que confirmam o baixo padrão sócio-econômico da região.

Quadro 3.3- Aspectos sócio-econômicos dos distritos de Marsilac e Parelheiros.

Indicadores Sócio-econômicos	DISTRITO	
	MARSILAC	PARELHEIROS
% chefes de família s/ renda	27,29	22,37
% chefes com até 2 salários mínimos	38,93	25,53
% domicílios com coleta lixo precária	29,52	4,26
% domicílios com coleta de esgoto precária	99,67	81,37
% domicílios com acesso à água precária	99,05	40,72
% chefes não alfabetizados	16,56	12,10
n° UBS e CS*	0,00	2,00
demanda (1 equipamento de saúde / 20 000 hab.)*	0,42	5,12
déficit de equipamentos de saúde	-0,42	-3,12
% déficit em creches	-100,00	-90,85
% déficit educação infantil	-100,00	-86,63
%déficit / superávit ensino fundamental	-52,71	22,40

Modificado de Spozatti, 2002.

* Fonte: DEINFO - Secretaria Municipal de Planejamento do PMSP, 2000

UBS- Unidade Básica de Saúde, CS- Centro de Saúde

3.2.3 Clima

Tarifa e Armani (2001), no mapeamento das unidades climáticas naturais do município de São Paulo, distinguem duas classes de clima local para a região da APA:

- Tropical sub-oceânico super-úmido do reverso do Planalto Atlântico, correspondente às bacias da Billings e Guarapiranga, onde se observa grande influência oceânica, elevada instabilidade, temperatura média entre 19,3 e 19,6°C, pluviosidade total anual média entre 1400-1800 mm e máximas diárias entre 200 e 400 mm, com nevoeiros e baixos estratos freqüentes,
- Tropical oceânico super-úmido da fachada oriental do Planalto Atlântico, correspondente à bacia do Capivari- Monos, onde a influência oceânica é máxima, também com elevada instabilidade, mas com índices pluviométricos maiores (média total anual atingindo os 2200 mm) e maior freqüência de nevoeiros e baixos estratos.

3.2.4 Geologia

Predominam na área da APA rochas do Proterozóico Superior, inicialmente identificadas como da “Série Assunguy” por Derby (1878 apud IPT, 1981), posteriormente Gr. Açungui, Complexo Embu, bem como sedimentos do Terciário e

Quaternário. Não é improvável a existência de núcleos mais antigos, encaixados no Complexo Embu, descrito em Hasui e Sadowsky (1976) como núcleos Capivari e Evangelista de Souza. As direções estruturais mais importantes apresentam componente transcorrente e são paralelas à falha de Cubatão, com direção ENE, em geral concordantes com a foliação metamórfica. Ocorrem ainda estruturas menores, também com componente transcorrente, de direção NNE.

Estão descritas, abaixo, as distribuições e características litológicas das três unidades geológicas que ocorrem na APA, segundo Rodriguez (1998)(figura 3.2):

- Sedimentos Cenozóicos: esta unidade agrupa os depósitos sedimentares de idade terciária (Formação Rezende) constituídos de lamitos, arenitos e conglomerados, que ocorrem ao norte da bacia do Guarapiranga, na borda sul da Cratera de Colônia e nas margens do reservatório Billings; bem como os depósitos aluviais de idade quaternária, que ocupam a planície do Rio Embu Guaçu e o centro da Cratera de Colônia;
- Suítes graníticas Indiferenciadas: composto por granitos e granodioritos, ocorre isoladamente na região do Médio Embu Guaçu;
- Complexo Embu: esta unidade predomina territorialmente na APA, e agrupa os gnaisses graníticos e biotita-gnaisses migmatizados, localizados no extremo sul da APA, na borda do planalto; bem como os xistos e mica-xistos, parcialmente migmatizados que predominam na bacia do Capivari-Monos.

Nesta região merece destaque a Cratera de Colônia, que apresenta formato circular com diâmetro de 3.640 metros e é circundada por um anel externo de relevo colinoso que se eleva até 125 m acima da planície central, onde ocorrem depósitos aluviais com altos teores de matéria orgânica. Tal estrutura vem sendo considerada como o testemunho do impacto de um corpo celeste (meteorito ou cometa), o que a caracterizaria como um astroblema (Riccomini et al., 1992).

Apesar de não terem sido encontradas evidências diretas, como feições de metamorfismo de impacto, a hipótese de que a estrutura seja realmente um astroblema se sobressai entre outras alternativas (Riccomini et al., 1992). Os mesmos autores calcularam que a profundidade original da cratera seria de 900 m, que foram preenchidos por até 436 m de sedimentos e que a idade máxima para o impacto estaria entre 36,4 Ma e 5,2 Ma.

Observa-se notável ausência de correlação entre a geologia na porção sul da APA, (tanto os contatos litológicos entre subunidades do Complexo Embu como as

estruturas rúpteis) com os compartimentos do relevo (figura 3.2). Este fato, associado à mudança de curso do rio Capivari, sugere uma atuante – e pouco estudada – neotectônica na área.

3.2.5 Relevo e Hidrografia

Um fato marcante, associado ao relevo e à hidrografia da APA é a mudança de curso do rio Capivari, que nasce numa região colinosa e flui inicialmente na direção do rio Tietê, quase que em paralelo com o rio Embu Guaçu, convergindo mais de 130° na altura da estação elevatória da SABESP, onde ele passa a correr por um relevo de morros, recebendo inúmeros afluentes de pequeno porte e com a formação de rápidos e corredeiras. Nesse trecho o rio apresenta traçado sinuoso, correndo no sentido WE, até se juntar com o rio dos Monos, quando converge para o sul e verte pela escarpa da Serra do Mar, para desaguar no rio Branco, já no município de Itanhaém (figura 3.3).

A SABESP capta 1m³/s de água no rio Capivari, através de um sistema de adução que aproveita o fraco desnível que existe no divisor das águas entre as bacias do Capivari e da Guarapiranga, na região do ribeirão Vermelho

O rio dos Monos nasce bem próximo da Billings, onde existe uma barragem e o sangradouro Preto-Monos, utilizado pela Empresa Metropolitana de Águas e Energia (EMAE), para controlar o nível da represa. Ele corre no sentido NS, desaguando no Capivari na região de Evangelista de Souza.

Ao longo do rio Embu Guaçu, principal afluente da represa do Guarapiranga, formam-se amplas planícies aluviais, de vital importância para a manutenção da qualidade desse manancial.

Na região da APA os tributários da Billings são o ribeirão Vermelho da Cratera, o rio Taquacetuba e o rio Kurukutu, na divisa de São Paulo com São Bernardo. O monitoramento realizado pela SABESP aponta que os dois primeiros são os que apresentam maiores índices de coliformes fecais.

Figura 3.2- Geologia da Região Sul do Município de São Paulo.

Fonte: Extraído de Rodriguez, 1998 (1:250.000 no original)

	Qa	Depósitos Aluviais
	TRp	Formação Rezende. Sistema de leques proximais. Predominância de lamitos seixosos.
	PCegm	Gnaisses graníticos e biotita-gnaisses migmatizados. Subordinadamente miloníticos
	PCex	Xistos, Biotita-quartzo-muscovita-xistos, grandada-biotita-xistos, mica-xistos diversos, parcialmente migmatizados. Podem ocorrer corpos lenticulares de anfibolitos, quartzitos e rochas cálcio silicatadas.
	PCsg	Granitos, granodioritos, monzogranitos, granitóides indiferenciados, equigranulares ou porfíroides, em parte gnaissicos. Sintectônicos e Pós-tectônicos.
		Contato litológico
		Lineamentos morfoestruturais (prováveis falhas).
		Estruturas planares, com indicação do mergulho ou sub-horizontais.

Figura 3.3- Mapa esquemático de relevo e hidrografia principal da APA do Capivari Monos

3.2.6 Vegetação

A vegetação nativa ainda recobre boa parte do território da APA, onde aparecem várias formações de Mata Atlântica, nos seus diferentes estágios sucessionais, com predominância de matas secundárias em estágio médio e avançado.

A Floresta Ombrófila Densa Montana é uma formação florestal alta, densa e estratificada, que ocorre em manchas significativas nas escarpas da Serra do Mar e numa área de propriedade da SABESP, ao sul da estação elevatória Capivari. Manchas menores desta formação ocorrem às margens do ribeirão dos Monos e do reservatório Billings, assim como nos limites da Cratera de Colônia;

A Mata Nebular e ou Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana é uma formação florestal baixa, menos densa mas bastante rica em biodiversidade. Ela se encontra normalmente associada aos campos das cristas da Serra do Mar, região de solos pobres e rasos, sujeita a longos períodos de neblina;

A resolução CONAMA 10 (1994), define as características das matas secundárias nos diferentes estágios do processo de sucessão: O estágio pioneiro apresenta fisionomia geralmente campestre e predomínio de estratos herbáceos, podendo haver estratos arbustivos; o inicial, fisionomia que varia de savânica a florestal baixa, baixas densidade e estratificação e árvores com alturas entre 1,5 m e 8,0 m; o médio tem fisionomia florestal, razoavelmente estratificada e densa, com árvores de 4,0 m a 12,0 m de altura enquanto o estágio avançado apresenta fisionomia florestal fechada, altas densidade e estratificação, tendendo a ocorrer distribuição contígua das copas e árvores de grande porte (acima de 10,0 m). Os estágios sucessionais mais avançados predominam ao Sul da área, nas bacias hidrográficas dos rios Capivari e Monos, já nas bacias da Billings e Guarapiranga (ao Norte), mais antropizadas, predominam os estágios inicial e médio.

Nos campos naturais predominam as espécies gramíneas. Eles ocupam as cristas mais altas da Serra do Mar, associados à mata Nebular, sujeitos a vários fatores adversos como ventos constantes, solos rasos e pobres e grandes amplitudes térmicas. Já nos campos de várzea, que aparecem associados às planícies aluviais, predominam espécies herbáceas resistentes a inundações periódicas.

3.2.7 Unidades de Conservação e Outras Áreas Protegidas

Parte do Parque Estadual da Serra do Mar, representado pelo núcleo Curucutu, se sobrepõe à APA (figura 3.4). Antiga Reserva Florestal do Estado, criada no início dos anos 60, nesta área foram feitos plantios experimentais de *Pinus elliotis*, com o intuito de verificar a adaptabilidade deste tipo de reflorestamento na região. Dentro dos limites do parque se encontram a Mata Nebular e os Campos Naturais, sendo que a administração do núcleo tem buscado parcerias para a realização de pesquisas nos campos de botânica e geociências.

A Área Natural Tombada da Cratera de Colônia, cujo tombamento pelo CONDEPHAAT se deu em 1995, é outra categoria de área protegida sobreposta à APA. O que se verifica, todavia, é que esse instrumento legal não tem se revelado eficaz para a contenção da degradação dessa área.

Existem ainda três Reservas Indígenas Guarani : Barragem, criada pelo Decreto Federal 94223/87; Krucutu, criada pelo Decreto Federal 94222/87 e Rio Branco, criada pelo Decreto Federal 94224/87. A Fundação Nacional do Índio (FUNAI) iniciou recentemente o processo para a ampliação do território das reservas do Krucutu e da Barragem e, segundo técnicos representantes dessa fundação, a ampliação será bastante significativa

Uma nova unidade de conservação deve ser criada, segundo proposta da prefeitura de São Paulo. Trata-se de um parque natural municipal, na região da Cratera de Colônia, que visa proteger os campos de várzea e a mata existente no local, bem como conter a expansão do loteamento ali existente.

Quadro 3.4- Unidades de Conservação na APA Municipal do Capivari-Monos.

Unidade	Área (km2)	%
P.E. da Serra do Mar	43,98	17,70
Reservas indígenas	8,32	3,35
Área Tombada Cratera de Colônia	18,32	7,37
Área total de unidades de conservação *	62,84	25,00
Área total	251,35	100,00

* A Reserva Guarani Rio Branco superpõe-se ao Parque Estadual da Serra do Mar

Vale ressaltar que a APA está inserida na região declarada pela UNESCO como Reserva da Biosfera do Cinturão Verde do Município de São Paulo. A Reserva da Biosfera do Cinturão Verde de São Paulo, que abrange 73 municípios, é uma das quatro áreas da América do Sul escolhidas para a fase inicial da Avaliação Ecológica do Milênio, inventário dos bens e serviços fornecidos ao homem pelos ecossistemas da Terra, que está sendo realizado através do esforço conjunto de diversas agências da ONU, da Fundação das Nações Unidas e de ONG's¹.

A sobreposição de áreas protegidas, segundo diferentes legislações, pode gerar conflitos e confusões. Uma ação integrada dos órgãos gestores é a saída para que os esforços sejam somados no sentido da real preservação do patrimônio natural existente, bem como da inclusão social dos moradores da região.

¹ Folha de São Paulo, 29/1/2003, Ciência, p.A14.

LOCALIZAÇÃO DA APA

- CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS
- Área Tombada
 - Reservas Indígenas
 - UC Proposta
 - Pq. estadual da Serra do Mar
 - Lamina d'água
 - Hidrografia Principal

3.2.8. Gestão Ambiental na APA

A lei de criação da APA prevê que a gestão deve ser feita de forma participativa e democrática, através de um Conselho Gestor composto por representantes do poder público e da sociedade civil, atendendo ao princípio da participação paritária, ou seja, para cada representante do poder público deve haver um representante da sociedade civil.

Este conselho, ainda segundo a lei, tem caráter deliberativo e, dentre as suas atribuições mais importantes, estão a elaboração do plano de gestão da área, a aprovação do zoneamento ecológico-econômico, bem como a articulação entre órgãos governamentais e sociedade civil.

A instituição do conselho se deu em agosto de 2002 e ele conta com 20 membros, sendo 10 do setor público (divididos entre órgãos estaduais e municipais) e 10 da sociedade civil organizada (divididos entre entidades de bairro, ONG's ambientalistas e sindicatos).

O zoneamento ecológico-econômico (ZEE) é tratado em capítulo específico na lei de criação da APA. Nela, ficou estabelecido que o zoneamento será instituído por lei municipal específica, que deverá delimitar as zonas e fixar as normas que garantam a conservação e o uso sustentável dos recursos naturais.

Unidades territoriais com características físicas, biológicas e sócio-econômicas próprias deverão constituir as zonas, que serão alvo de normas relativas às suas aptidões e fragilidades, havendo a preocupação de que o zoneamento da APA seja compatível com a legislação estadual de proteção aos mananciais.

O conselho gestor da APA encontra-se atualmente envolvido com a elaboração do ZEE e, para isso, foi constituído um grupo de trabalho. Nesse contexto, busca-se contribuir, com a presente pesquisa, para a produção de informação espacial que facilite a compreensão da realidade e subsidie o debate político que certamente será necessário para a aprovação do ZEE.

4. CONCEITUAÇÃO TEÓRICA E TRABALHOS ANTERIORES

4.1 Geoprocessamento

4.1.1 Conceituação

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG), pode ser definido como um sistema computacional, dotado de ferramentas para manipulação, transformação, armazenamento, visualização, análise e modelagem de dados georeferenciados, voltado para produção de informação, constituindo-se numa importante ferramenta de suporte à decisão (Star & Estes, 1990; Câmara, 1995; Bonham-Carter; 1996).

Há uma ampla gama de aplicações para os SIG's, incluindo agricultura, meio ambiente e urbanismo, havendo, pelo menos três maneiras, não excludentes, deles serem utilizados (Câmara, 1995):

- Como ferramenta para produção de mapas,
- Como suporte para análise espacial de fenômenos e
- Como banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação da informação espacial.

Para Star & Estes (1990), os SIG's funcionam como meio para a integração de dados espaciais adquiridos em tempos diferentes, e em diferentes escalas e formatos. Esses autores expõem ainda que os usuários de SIG normalmente desenvolvem quatro atividades principais: Medição, Mapeamento, Monitoramento e Modelagem.

O desenvolvimento dos SIG's conta com a contribuição de várias disciplinas, dentre as quais se destacam a cartografia, o sensoriamento remoto, a informática e a estatística.

Câmara (1995) lembra que a estrutura geral de um SIG é composta de interface com o usuário, entrada e integração de dados, funções de processamento gráfico e de imagens, visualização e plotagem, e armazenamento e recuperação de dados (Figura 4.1).

Os dados geográficos possuem localização espacial (definida pelas coordenadas geográficas) e atributos descritivos (que podem ser representados num banco de dados convencional), sendo que os SIG's servem para localizar esses dados no espaço, e para representar a relação espacial entre eles (Câmara, 1995).

Figura 4.1- Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. Fonte: Câmara, 1995.

Os bancos de dados geográficos são organizados, na maioria das vezes, segundo o modelo geo-relacional (ou arquitetura dual), que se baseia na utilização de um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD), como Dbase e Access, para o armazenamento, em tabelas, dos atributos dos objetos geográficos, e arquivos gráficos separados para armazenar as representações geométricas desses objetos.

Em SIG, os dados espaciais são representados por pontos, linhas e polígonos, associados a atributos que os caracterizam. Os poços artesianos de uma região, por exemplo, podem ser representados por pontos, cujos atributos seriam vazão média, profundidade etc.

Esses dados podem ser representados ainda, em formato matricial (ou raster), no qual o espaço é dividido em células de tamanho fixo (pixels), configurando uma matriz; ou no formato vetorial, onde o espaço geográfico é considerado de forma contínua.

A área do terreno representada por um “pixel”, numa representação matricial, determina sua resolução. Cada “pixel” é referenciado por coordenadas relativas à linha e à coluna da matriz (a partir da origem), e contam com um valor numérico referente ao

atributo mapeado. As imagens digitais são exemplos de dados espaciais representados no formato “raster”.

No formato vetorial, busca-se a representação mais exata possível das entidades geográficas, consistindo normalmente de listas de coordenadas geográficas que delimitam regiões ou descrevem redes. As bases plani-altimétricas digitais, são exemplos de dados nesse formato.

Câmara (1995), apresenta uma comparação entre os diferentes formatos, enumerando suas vantagens e desvantagens (Quadro 4.1).

Quadro 4.1- Vantagens e desvantagens dos diferentes formatos de representação.

Representação vetorial	Representação matricial
<p>Vantagens</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mapa representado na resolução original • Associar atributos a elementos gráficos • Relacionamentos topológicos • Adequado para grandes escalas (1:25.000 e maiores) <p>Problemas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Não representa fenômenos com variação contínua no espaço • Simulação e modelagem é mais difícil 	<p>Vantagens</p> <ul style="list-style-type: none"> • Representa fenômenos variantes no espaço • Simulação e modelagem mais fáceis • Análise geográfica rápida • Adequado para pequenas escalas (1:50.000 e menores) <p>Problemas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Espaço de armazenamento utilizado • Possível perda de resolução e • Difícil associação de atributos

Segundo a abordagem proposta por Câmara (1995), os dados espaciais podem ser enquadrados numa das categorias abaixo:

- **Dados Temáticos:** descrevem a distribuição espacial de uma feição geográfica, de forma qualitativa (Ex.: Carta de Declividade, Uso do Solo etc.).
- **Dados Cadastrais:** distingue-se dos mapas temáticos pois seus elementos possuem atributos, e sua representação gráfica pode variar conforme a escala (Ex.: Mapa de Municípios).
- **Redes:** cada objeto possui localização geográfica exata e está associado a atributos descritivos, com informações sobre recursos que fluem espacialmente (Ex.: Rede de drenagem).

- **Modelos Numéricos de Terreno:** denotam a representação quantitativa de uma grandeza com variação contínua no espaço (Ex.: Cartas Altimétricas).
- **Imagens:** Obtidas por Sensoriamento Remoto e armazenadas no formato “raster”. Podem ser consideradas como dados primários, de onde se pode derivar mapas temáticos (Ex.: Imagens de Satélite).

Uma vez que a maioria dos dados disponíveis para a montagem de um SIG se encontra em diferentes formatos e escalas, são necessários procedimentos de compatibilização, ou seja, adaptação dos dados às características do sistema em uso.

Os procedimentos principais nessa etapa, segundo Star & Estes (1990), incluem:

- **Conversão de formato:** alteração da estrutura dos dados, de “raster” para vetorial (e vice-versa), intercâmbio de dados entre os diferentes “softwares”, bem como a digitalização de dados disponíveis em meio analógico;
- **Redução e Generalização:** transformações de escala e suavização de dados vetoriais, agregação de classes em mapas temáticos e reamostragens em imagens digitais ;
- **Detecção e edição de erros:** correção de erros comuns no processo de digitalização, tais como polígonos abertos, sobreposição de áreas etc.;
- **Georeferenciamento:** conversão entre sistemas de projeção cartográfica e referenciamento de dados brutos; e
- **Interpolação:** utilização de métodos estatísticos para modelagem numérica do terreno, com base em amostras.

4.1.2 Análise de Dados Espaciais

A combinação de dados espaciais, para extração da informação de interesse é, certamente, uma das principais funções dos SIG's. Para isso, são necessários procedimentos de manipulação e análise.

Para Lyon & Mcarthy (1995), as técnicas de análise em SIG incluem análises por sobreposição (“overlay”), modelagem, “buffer” e redes.

O termo álgebra de mapas se refere ao conjunto de procedimentos de análise espacial, voltado à produção de informação, através da aplicação de funções de manipulação sobre um ou mais mapas. Nessa concepção, a análise espacial é tratada

como um conjunto de operações matemáticas sobre mapas, que são tratados como variáveis individuais, e as funções definidas sobre elas são aplicadas de forma homogênea a todos os pontos do mapa (Barbosa et al., 1998).

As operações, em álgebra de mapas, tem tanto um sentido matemático como espacial, podendo ser agrupadas em três classes (Câmara et al., 2001):

- Pontuais: o resultado é um mapa com valores derivados exclusivamente dos valores pontuais dos mapas de entrada. Um único mapa pode ser usado como dado de entrada, como por exemplo na definição de classes temáticas a partir de um modelo numérico de terreno; ou um conjunto deles, como no caso de operações booleanas² entre mapas temáticos.
- Vizinhança: o resultado é produzido com base nos valores da vizinhança do ponto considerado. Como exemplos têm-se a filtragem espacial em imagens digitais e o cálculo de declividade em modelos numéricos de terreno.
- Zonais: são definidas sobre regiões específicas de um mapa, com restrições fornecidas por outro mapa, como por exemplo na definição da declividade média por tipo de solo, onde o cálculo é feito com base nos dados de um modelo numérico de declividade, restritos para cada classe de um mapa pedológico.

Câmara et al. (2001) argumentam que as operações zonais são importantes para as aplicações de SIG em atividades de ordenamento territorial, pois permitem a ligação entre dados do meio físico-biótico, com dados sócio-econômicos.

Ele explica que, nos operadores zonais, uma classe temática é definida como região de interesse, onde são computadas funções estatísticas sobre dados de outros mapas. Tais operadores incluem:

- Média, máximo, mínimo e desvio padrão dos valores sobre uma região especificada;
- Índice de variedade, onde os valores do mapa de saída são computados a partir do número de valores diferentes no mapa de entrada.

Crepani et al. (1998) aplicaram esses operadores para elaboração de um mapa temático de vulnerabilidade natural à erosão, numa proposta metodológica de zoneamento ecológico-econômico.

² Operações Booleanas utilizam operadores lógicos (AND, OR, XOR, NOT), na manipulação de dados espaciais, para a verificação se uma condição pré-estabelecida é verdadeira ou falsa (Lyon & McCarthy, 1995).

Nesse caso, através da interpretação de imagens de satélite, foram delimitadas unidades territoriais básicas, que funcionaram como área de restrição para aplicação dos operadores de média zonal. Os dados de entrada foram mapas geológico, geomorfológico, pedológico e de uso do solo. A metodologia proposta, nesse caso, será mais discutida ao longo do texto

4.2 Sensoriamento Remoto

4.2.1 Conceituação

As definições de sensoriamento remoto encontradas na literatura variam pouco. Assim, se para Lillesand e Kiefer (1994) é "a ciência e a arte de obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno através da análise de dados obtidos por um aparelho que não esteja em contato com o objeto, área ou fenômeno sob investigação", para Barret e Curtis (1992), é "a ciência da observação a distância" e para Novo (1992), é "a utilização de sensores para aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles".

Não há questões sobre o fato da ferramenta se utilizar da radiação eletromagnética (REM). Assim, pode-se afirmar ainda que esta ciência trata essencialmente da interação (ou geração) da radiação eletromagnética com os diversos materiais ou fenômenos (Ribeiro de Almeida, 1999). Da tradução do termo "Remote Sensing" surgiu o termo Sensoriamento Remoto (SR), referente à ciência que, num sentido amplo, resume os anseios do Homem pela expansão dos seus limites, especialmente no que diz respeito à observação e análise dos fenômenos que o cercam.

O termo técnico em inglês "Remote Sensing" apareceu na comunidade científica internacional apenas em 1960, segundo Barret & Curtis (1992). A rigor, entretanto, o homem se utiliza do sensoriamento remoto desde os primórdios da espécie, pois os olhos podem ser considerados, dentro das definições acima, como sensores remotos atuando na faixa de comprimentos de onda do visível. As técnicas de representar o observado evoluíram desde toscos desenhos rupestres a detalhados e fiéis desenhos a bico de pena. Mas com o desenvolvimento da teoria da luz por Issac Newton e com a invenção da fotografia, em 1839, pelos franceses N. Niepce, W. Talbot e L. Daguerre, o sensoriamento remoto vai perdendo, por um lado, o subjetivismo inerente aos desenhos e, por outro, o desconhecimento dos processos básicos de que se utiliza.

A primeira fotografia aérea de que se tem notícia foi feita em 1858, também na França, por Gaspard Félix Tournachon, conhecido como "Nadar", que sobrevoava Paris a bordo de um balão, à altura de 365 m. (Novo, 1992; Lillesand and Kiefer, 1994)

O desenvolvimento da aerofotogrametria deveu-se em grande parte às atividades militares, durante a primeira e segunda guerras mundiais e durante a guerra fria entre os EUA e a antiga URSS. Estes países desenvolveram os satélites espiões e com isso teve origem o SR orbital, com a incorporação de sofisticados sensores de imageamento em plataformas orbitais e aéreas.

Em 1972, com o lançamento pelos EUA do ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite, posteriormente rebatizado com o nome LANDSAT 1) tiveram início as aplicações não militares do SR, em princípio voltadas para pesquisas agrícolas mas que rapidamente se estenderam à geologia e ao uso e ocupação do solo. A figura 4.2 é um exemplo datado de 1976, que mostra a Região Metropolitana de São Paulo. Esta imagem é de grande interesse para os estudos ambientais e urbanísticos da região, como fonte de dados para análise, entre outras coisas, da evolução da mancha urbana, pois o ano da sua aquisição é o da promulgação da Lei de Proteção de Mananciais, que ainda vigora.

Também na década de 70 acontecia no Brasil o projeto RADAM (Radar na Amazônia), numa iniciativa do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Nele, radares de visada lateral (SLAR- Side Looking Airborne Radar) foram utilizados para o imageamento do território, propiciando o conhecimento da geologia, fitogeografia e pedologia, em especial da região amazônica, até então praticamente desconhecida em termos de recursos naturais (DNPM, 2003).

De fato, as tecnologias avançaram com muita velocidade no final do século 20, contando-se hoje com sensores de altas resoluções espacial e espectral. Como exemplo de tais avanços podemos citar o satélite Ikonos, lançado em 1999 e que produz imagens com resolução espacial de até 1m e o Hyperion (experimental, mas em atividade) com 224 bandas entre 350 e 2500nm.

Finalizando este breve histórico, citamos um trecho da apostila do Prof. Teodoro I. R. de Almeida, do Instituto de Geociências da USP: "...Pois bem, a humanidade começou a se preocupar extensivamente com a preservação do meio ambiente em algum momento do fim da década de 1960, talvez como reflexo do curioso cruzamento do simpático movimento "hippie" com o avanço tecnológico. Esse tema compõe uma

excelente razão para se investir pesadamente no sensoriamento remoto, aplicando-o não mais à morte, mas à vida".

Figura 4.2- Imagem MSS/Landsat da região Metropolitana de São Paulo, no ano da promulgação da Lei de Proteção aos Mananciais (1976). Fonte INPE.

4.2.2 A radiação eletromagnética (REM) e o comportamento espectral de alvos

A REM pode ser considerada como energia pura, na forma de um campo magnético perpendicular a um campo elétrico, que oscilam perpendicularmente à direção de propagação da onda, de modo que o campo magnético gera um campo elétrico e vice-versa (Figura 4.3).

Figura 4.3- Representação esquemática da REM: Campos elétrico e magnético e comprimento de onda em função da direção de propagação.

O parâmetro mais importante da REM para o sensoriamento remoto óptico é o seu comprimento de onda (λ). Entre as várias propriedades da REM, a teoria de Maxwell mostra a relação inversa entre a energia contida em um fóton, e o comprimento de onda da radiação, segundo a fórmula:

$$Q = h \cdot c / \lambda$$

Onde: Q= energia

$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ (Constante de Planck)

$C = 3 \cdot 10^8$ (Velocidade da luz)

λ = comprimento de onda.

Isto implica em haver menos energia na radiação no infra-vermelho termal que no visível, por exemplo, o que explica as menores resoluções espaciais em imagens obtidas na banda termal, em relação às obtidas na faixa do visível.

O espectro eletromagnético é subdividido em faixas, representando regiões que possuem características peculiares em termos dos processos físicos, geradores de energia em cada faixa, ou dos mecanismos físicos de detecção desta energia. O SR se utiliza de pequenos intervalos de comprimento de onda, correspondentes a janelas atmosféricas, ou seja, intervalos de comprimento de onda em que a atmosfera apresenta elevada transparência. Assim o SR obtém imagens entre o ultra-violeta (não

usuais pois nessa faixa a atmosfera é muito opaca) e o infravermelho ondas curtas (entre 350 e 2500 nm), nas regiões do infravermelho termal (ou médio e distante) e das microondas. As principais faixas do espectro eletromagnético estão representadas na figura 4.4.

Figura 4.4- O espectro eletromagnético

A REM, ao incidir em uma superfície, interage com ela de diferentes formas, podendo ser refletida, absorvida ou transmitida. Assim, pode-se definir pelo princípio da conservação de energia, três conceitos fundamentais em SR:

- Absortância ($\alpha\lambda$): percentagem da energia radiante (num comprimento de onda λ) que incide sobre uma dada superfície e é absorvida por ela. A REM na faixa do vermelho e do azul, por exemplo, é absorvida pela clorofila dos vegetais, no processo de fotossíntese.
- Reflectância ($\rho\lambda$): percentagem da energia incidente que é refletida. Grandeza normalmente detectada pelos sensores e que compõem as imagens em SR.

- Transmitância ($\tau\lambda$): porcentagem da energia incidente que penetra através da superfície estudada.

As características físicas e químicas dos materiais que compõem a superfície analisada, determinarão o seu comportamento espectral, ou seja, como ele se comporta ao longo do espectro eletromagnético, absorvendo, transmitindo ou refletindo a energia incidente, nos diferentes comprimentos de onda (Figura 4.5).

Figura 4.5- Comportamento espectral de diferentes superfícies.

Ribeiro de Almeida (1999), salienta que o SR tem enorme vocação para a aplicação em estudos de vegetação, principalmente porque as folhas têm um comportamento espectral muito definido nas faixas do visível (VIS) do infravermelho próximo (NIR) e ondas curtas (SWIR), com numerosos estudos presentes na literatura sobre o tema, tanto em espectrometria de reflexão como em aplicações de sensoriamento remoto.

Guyot (1988), examina detalhadamente tal comportamento, diferenciando-o nas três regiões citadas: VIS, onde se destaca a influência dos pigmentos foliares utilizados para fotossíntese (especialmente clorofila a e b, assim como os carotenóides), com baixos índices de reflectância, em torno de 10% para uma folha sadia de trigo, devido aos picos de absorção de REM nesta faixa ; NIR, com maior participação da morfologia foliar, com reflectância perto de 45% para a mesma folha e finalmente SWIR, onde o

teor de água influencia notadamente a reflectância, habitualmente entre 20 e 35% (Figura 4.6).

Figura 4.6- Curva de reflectância típica de uma folha verde. FONTE: Novo(1992)

Para a obtenção dos dados relativos à interação da REM com os materiais e/ou fenômenos de interesse são necessários sensores, que podem ser classificados em função da sua fonte de energia ou do produto que resulta da sua utilização

Os sensores passivos não possuem uma fonte própria de radiação e medem a radiação solar refletida ou a radiação emitida pelos alvos. Já os sensores ativos possuem fonte própria de radiação eletromagnética, trabalhando em faixas restritas do espectro das microondas (RADAR). Radiômetros e espectrorradiômetros são sensores que produzem informação na forma de gráficos e assinaturas espectrais não sendo imageadores. Eles são aplicados no estudo do comportamento espectral de alvos, enquanto os Imageadores fornecem informações sobre a variação espacial da resposta espectral da superfície observada.

Nesta pesquisa foram utilizadas imagens dos sensores passivos TM e ETM+, respectivamente dos satélites LANDSAT 5 e 7, que atuam no VIS, NIR, SWIR e infravermelho termal (TIR). Estes sensores aliam tanto uma grande disponibilidade de imagens sobre todo o planeta como um conjunto equilibrado de bandas no espectro refletido (figura 4.7) que cobre as principais feições espectrais características da vegetação, permitindo diferenciar entre variedades de coberturas vegetais, tornando-os importantes ferramentas em estudos ambientais.

Da mesma forma, as respostas de solo exposto e demais feições antrópicas são diferenciadas das coberturas vegetais, o que, aliado à repetitividade das imagens, permite visualizar evolutivamente o uso e a ocupação do solo.

Figura 4.7- Bandas do sensor TM, em relação à curva de assinatura espectral de alguns materiais (Drury, 1993).

4.2.3 Processamento Digital de Imagens

O Processamento Digital de Imagens (PDI) se caracteriza por grande diversidade de técnicas destinadas a facilitar a extração de informações contidas em uma imagem. Dentre as numerosas técnicas, aborda-se aqui apenas as que serão tratadas nos capítulos subseqüentes. Acrescente-se que a quantidade de informações em uma imagem é muito maior do que a que o olho humano pode perceber, implicando na necessidade de processá-las, traduzindo as informações para o intérprete ou extraíndo das imagens apenas a parte essencial para os fins determinados (Crosta, 1992).

Pode-se dividir as técnicas de PDI em atividades de pré-processamento e de processamento. Enquanto o pré-processamento prepara a imagem, adequando-a do ponto de vista geométrico, radiométrico e minorando os efeitos atmosféricos, os métodos de processamento realçarão o comportamento espectral ou textural de um objeto ou fenômeno. As classificações enquadram-se num grupo diferenciado dentre as técnicas de PDI, permitindo classificar uma imagem em temas, gerando mapas temáticos. A fusão de bandas espectrais com uma banda pancromática de melhor resolução espacial, como vem sendo feito com as imagens ETM+, também pode ser considerado um pré-processamento.

4.2.3.1 Correção geométrica

A correção geométrica ou georeferenciamento, é realizada com o objetivo de eliminar distorções e conferir maior precisão cartográfica às imagens, tratando-se de uma operação necessária para se fazer a integração de uma imagem à base de dados existente num SIG.

As distorções decorrem de fatores como: rotação e curvatura da terra, taxa de varredura e campo de visada do sensor, variações de altitude e velocidade da plataforma (Lillesand e Kiefer, 1994).

O processo de correção geométrica envolve, segundo Crosta (1992), as seguintes etapas:

- A. Determinação da relação entre o sistema de coordenadas do mapa e da imagem;

B. Estabelecimento de um conjunto de pontos definindo os centros dos pixels na imagem corrigida, conjunto esse que define um grid com as propriedades cartográficas do mapa de referência;

C. Cálculo dos números digitais (DN's) dos pixels na imagem corrigida, por interpolação dos DN's dos pixels da imagem original.

A forma mais usual para o cálculo da relação entre os sistemas de coordenadas da imagem e do mapa é a transformação baseada em pontos de controle no terreno.

Os pontos de controle são feições bem definidas, como interseção de estradas ou drenagens, pistas de aeroportos etc. que possam ser localizadas precisamente tanto na imagem quanto no mapa disponível.

A determinação dos parâmetros da transformação polinomial selecionada é feita através da resolução de um sistema de equações. Para que esse sistema de equações possa ser montado as coordenadas dos pontos de controle devem ser conhecidas tanto no referencial da imagem como no sistema de referência. As coordenadas de imagem (linha, coluna) são obtidas quando o usuário clica sobre a feição na imagem.

As coordenadas de referência são usualmente obtidas através de mapas confiáveis que contenham as feições usadas como pontos de controle, via mesa digitalizadora ou bases cartográficas digitais, bem como via GPS.

Os métodos mais comuns para a interpolação dos DN's e reamostragem das imagens são:

- **vizinho mais próximo:** transfere o DN do pixel da imagem original que tem maior proximidade com o pixel da imagem corrigida. É o método mais simples e rápido, mas forma uma imagem visualmente ruim, embora seja a que menos altera a informação radiométrica e por isso deve ser utilizada quando a imagem for ser processada para realce de respostas espectrais.
- **bilinear :** o DN do pixel da imagem corrigida é calculado pela média ponderada dos quatro pixels de maior proximidade. Forma imagem com melhor qualidade visual, apresentando a desvantagem de alterar o DN original;
- **convolução cúbica:** o DN é calculado com base numa média dos dezesseis pixels mais próximos. É o método que apresenta melhor resultado visual, porém demanda mais tempo de processamento, dada a sua complexidade (Crosta, 1992).

4.2.3.2 Fusão

Segundo Liu (2000), a resolução espacial e a resolução espectral são fatores inversamente proporcionais para sensores óticos. Para uma dada taxa sinal/ruído, uma resolução espectral maior (bandas mais estreitas) só pode ser obtida à custa de uma resolução espacial menor.

Várias técnicas de fusão de imagens são utilizadas para a integração das qualidades espectrais e espaciais dos dados gerados por sensores diferentes, visando a produção de imagens que combinem tais qualidades (Crosta, 1992; Chavez *et al.*, 1991; Liu, 2000).

São exemplos desse tipo de aplicação a fusão entre imagens pancromáticas como a do “Satellite Pour l’Observation de la Terre” (SPOT), que tem 10 metros de resolução espacial, e as imagens multiespectrais do mesmo satélite (20 metros de resolução espacial), ou ainda com as imagens multiespectrais do Landsat-5 (30 metros de resolução). Como o sensor ETM+, do Landsat-7, também possui uma banda pancromática, com 15 metros de resolução, a técnica também se aplica à fusão dessas imagens com as multiespectrais, que apresentam 30 metros de resolução no visível e no infra-vermelho refletido e 60 metros no infra-vermelho termal.

Idealmente o método escolhido deve preservar as qualidades radiométricas das imagens multiespectrais. A distinção espectral das feições nas imagens originais deve permanecer inalterada, com o aprimoramento da definição dos seus contornos (Garguet-Duport, 1997).

Grosso modo, as técnicas para fusão de imagens podem ser classificadas em duas categorias:

- A primeira corresponde às técnicas baseadas na transformação HSI (Hue, Saturation, Intensity ou Matiz, Saturação e Intensidade) de Haidn *et al.*, (1982), que consistem de três etapas: transformação de uma composição colorida RGB, com bandas multiespectrais, para os componentes HSI; substituição do componente intensidade por uma imagem pancromática de maior resolução; reversão dos componentes HSI para RGB.

Os resultados alcançados com estes procedimentos apresentam boa qualidade geométrica, mas a informação radiométrica é fortemente distorcida.

- A segunda reúne as técnicas que se baseiam no isolamento das informações espectral e espacial e no seu tratamento em separado durante o processo de fusão. Os métodos pertencentes a esta categoria permitem a extração de certas estruturas geométricas da imagem de maior resolução, e sua inserção nas imagens de menor resolução, de tal forma que as imagens multiespectrais têm sua resolução aumentada, exclusivamente devido a informação espacial contida na imagem de alta resolução, sem influência da informação espectral (Garguet-Duport, 1997).

São exemplos de métodos pertencentes a esta categoria o desenvolvido por Chavez et al. (1991), denominado "High Pass Filter Method", bem como o desenvolvido por Liu (2000), denominado "Smoothing Filter-Based Intensity Modulation".

A grande vantagem desses métodos está no aumento da resolução espacial das imagens multiespectrais, com a preservação de grande parte de suas propriedades radiométricas.

4.2.3.3 Operações aritméticas

Operações aritméticas entre duas ou mais bandas multiespectrais de uma mesma área geográfica, previamente georeferenciadas, são amplamente utilizadas em processamento digital de imagens, com o objetivo de realçar determinadas feições e combinar a informação contida em diferentes bandas, reduzindo a dimensionalidade dos dados originais (Crosta, 1992).

Realiza-se a operação pixel a pixel, através de uma regra matemática definida, tendo como resultado uma imagem representando a combinação das bandas originais.

De longe, a razão de bandas é a operação mais comum, tratando-se de uma operação não-linear, que necessita de re-escalamento dos resultados para o intervalo entre 0 e 255, e que se presta ao realce das diferenças espectrais entre um par de bandas (Crosta, 1992).

Essa operação é limitada em imagens que apresentam ruído eletrônico, pois ele tende a ser exagerado quando da sua aplicação. A presença do espalhamento atmosférico, que varia de acordo com o comprimento de onda, também interfere na sua aplicação, resultando em valores de nível de cinza que não representam a diferença de reflectância entre os alvos. Outra limitação corresponde à presença de feições que

apresentam características espectrais semelhantes, porém com diferentes intensidades. Nesse caso, na imagem resultante estas feições não são distintas, embora o fossem nas imagens originais (Crosta, 1992; Novo, 1992).

Uma característica positiva das imagens resultantes da razão de bandas é a ausência de sombreamento topográfico, pois tais operações minimizam as diferenças nas condições de iluminação de uma cena.

O motivo que justifica a ampla aplicação dessa operação aritmética, todavia, é a sua capacidade de realçar imensamente determinadas feições da curva de assinatura espectral de alguns alvos (Crosta, 1992).

Para isso, as bandas devem ser selecionadas com base na assinatura espectral dos alvos que se pretende realçar, cobrindo os picos de absorção/reflexão e as mudanças de inclinação da curva.

No caso da vegetação, a mais notável feição espectral é o "red edge", caracterizado pela inflexão no espectro de folhas verdes, na transição entre o visível e o infravermelho próximo, como descrito por Horler (1983). Esta feição é ocasionada por um pico de absorção na região de 690nm, devido à clorofila e um pico de reflexão na região do infra-vermelho próximo (a partir de 740nm, aproximadamente), devido à estrutura foliar e à transparência dos pigmentos foliares (Curran, 1989). Na figura 4.6 nota-se a aptidão das bandas TM3 e TM4 para realce desta feição espectral.

Com base nessa feição foram desenvolvidos os diversos índices de vegetação, como o "Vegetation Index" (VI), de Tucker (1977), que utiliza uma razão simples entre bandas referentes ao infra-vermelho próximo e o vermelho. O índice de vegetação ainda mais utilizado é o "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI), que minora a influência da variação na iluminação. Posteriormente diversos índices foram desenvolvidos mantendo entretanto a base de informação espectral, segundo o conceito de Pearson e Miller (1972). O NDVI é calculado através da seguinte fórmula:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}}$$

Onde: NDVI= "Normalized Difference Vegetation Index",

NIR = Banda referente ao Infra-vermelho próximo,

R = Banda referente ao Vermelho.

Vários autores têm constatado uma forte correlação entre esses índices e alguns parâmetros relativos à vegetação como biomassa, atividade fotossintética, produtividade e índice de área foliar (Colwell, 1974; Hatfield et al., 1984; Asrar et al., 1984; Sellers, 1985) (apud Huete, 1988). Teillet et al. (1997), argumentam ainda que tais índices se tornaram uma das fontes primárias de informação para o monitoramento das condições da vegetação e das mudanças na cobertura vegetal.

Diversos outros pesquisadores, todavia, vêm apresentando restrições a seu uso como índice de área foliar ou biomassa (Sellers, 1985; Sader et al., 1989) ou de teor de clorofilas (Datt, 1998; Gitelson & Merzlyak, 1997) ou na correta discriminação das espécies e de modificações devidas às condições do meio ou do estado de saúde dos vegetais (Chamard et al., 1993; Ribeiro de Almeida, 2000).

Outras feições da curva espectral da vegetação, bastante exploradas na escolha de bandas para divisão, são os picos de absorção da água intra-foliar, na região do infra-vermelho médio (bandas TM5 e TM7 do Landsat). Assim, a razão entre as bandas TM4 e TM5 informa do conteúdo em água foliar, segundo o conceito apresentado em Thomas et al. (1971). Esta razão tem grande eficiência como indicador de stress hídrico em culturas, bem como na distinção de determinadas coberturas, como na discriminação de áreas reflorestadas com *Pinus sp.* Ribeiro de Almeida e Fromard (2000) denominaram esta razão de Índice de Umidade, pelo fato da água foliar estar intrinsecamente ligada à disponibilidade hídrica.

Diversas razões de bandas estão citadas na literatura, como em Ribeiro de Almeida e Souza Filho (2000), destacando diferentes compostos foliares. Em imagens TM e ETM+ Landsat, a banda 1 abrange uma ampla feição da absorção de clorofila b, enquanto a banda 3 abrange feições das clorofilas a e b. Uma razão TM3/TM1, assim, diferenciará coberturas em que a proporção daquelas clorofilas for diferente, como parece ocorrer em coberturas florestais, mais estabilizadas, e vegetação de várzea.

4.2.3.4 Classificação

A classificação digital é o processo voltado à extração de informação das imagens de sensoriamento remoto, para o reconhecimento de padrões e produção de mapas temáticos. Segundo Crosta (1992), ela diz respeito à associação de cada pixel da imagem a um "rótulo", descrevendo um objeto real. Dessa forma, os DN's de cada

pixel, são associados a um tipo de cobertura do terreno (água, tipo de vegetação, tipo de solo ou de rocha etc.).

A classificação se baseia em métodos estatísticos de reconhecimento de padrões. Seguindo regras da teoria da probabilidade e através de parâmetros de agrupamento previamente definidos, os atributos espectrais de um dado pixel são identificados e classificados (Walsh et al., 1998).

As técnicas de classificação de imagens podem ser divididas em dois grupos principais:

- Classificação supervisionada: os atributos espectrais de um dado pixel são comparados com aqueles relativos a uma área de treinamento, definida pelo usuário, com base no conhecimento da realidade terrestre.
- Classificação Não-Supervisionada: o reconhecimento de padrões é realizado automaticamente, através da análise de todos os pixels que compõem a imagem e da identificação de agrupamentos ("clusters"), que são utilizados como área de treinamento (Crosta, 1992).

Técnicas híbridas são também empregadas com frequência. Nelas utiliza-se uma classificação não-supervisionada como passo inicial e os agrupamentos separados automaticamente podem ser utilizados, no passo subsequente, como áreas de treinamento numa classificação supervisionada.

A classificação por regiões é um procedimento alternativo à classificação pixel a pixel, onde além da média e da variância dos DN's, outros parâmetros como forma, tamanho e contexto podem ser utilizados (Belaid et al., apud Pereira 1996).

A seleção das bandas a serem empregadas na classificação é um passo importante do processo, pois a utilização de bandas muito correlacionadas pode comprometer a eficiência do classificador. Essa eficiência pode ser aprimorada com a inclusão de imagens geradas da razão entre bandas originais na composição do conjunto de bandas a serem classificadas (Miguel-Ayaz & Biging, 1997; Watson & Wilcock, 2001).

Brondizio et al. (1996), utilizaram a classificação de imagens TM para o mapeamento do uso do solo e da cobertura vegetal na região da Ilha de Marajó, em combinação com levantamentos florísticos, para o aprimoramento da precisão dos resultados.

Foody & Hill (1996), utilizaram o mesmo procedimento para a identificação de diferentes tipos de floresta tropical, na Amazônia Peruana, concluindo que informações contextuais, bem como dados auxiliares podem contribuir para a solução dos erros de classificação.

Mausel et al. (1993) estudaram as características espectrais da vegetação em sucessão, na região de Altamira, no Estado do Pará, analisando extensivas informações de campo e comparando-as com dados do Landsat-5 (excluindo a banda 1).

Neste caso, eles observaram que:

- A vegetação em estágio inicial de sucessão apresenta maior reflectância nas bandas 5 e 7 e menor na banda 4, quando comparada com vegetação em estágios médio e avançado;
- A resposta espectral da vegetação em estágio intermediário é similar à da vegetação em estágio inicial para a região do visível (TM2 e 3), porém com maiores valores quando se aplica a razão verde/vermelho (TM2/TM3);
- Já a vegetação em estágio avançado de regeneração apresenta os valores mais baixos de reflectância para as bandas 2, 3, 5 e 7. Para a banda 4, sua resposta espectral é um pouco mais baixa que a da vegetação em estágio intermediário.

Pereira (1996), empregou SR e SIG, numa área próxima a Marabá, PA, para o mapeamento de florestas em diferentes estágios de regeneração, empregando a classificação supervisionada por regiões. Como resultado, ele constatou que 57% das áreas desflorestadas na região, estavam ocupadas por pasto limpo e 22% por capoeiras. Ele conclui ainda, que é necessária a análise de uma sequência temporal de imagens, para o aprofundamento no estudo da sucessão secundária.

De fato, um grande número de estudos vem sendo realizado, com aplicação de classificação de imagens, para avaliação da dinâmica do uso do solo em regiões de floresta tropical (Foody et al., 1996; Sader et. al., 1989; Moraes et al., 1998; Garcia & Alvarez, 1994; Sohn et al., 1999). Em geral as recomendações indicam a necessidade de um rigoroso controle de campo e a utilização de dados auxiliares, tais como fotografias aéreas e modelos digitais de terreno (Hutchinson, 1982; Ma et al., 2001).

A classificação configura-se pois, numa importante ferramenta para a integração dos dados de sensoriamento remoto em sistemas de informação geográfica. Contudo,

sua aplicação demanda cautela: por representar uma simplificação da realidade, é essencial a confrontação dos resultados obtidos com fotos aéreas, mapas temáticos existentes e checagem aérea e terrestre, bem como sua edição, para apresentação do produto final.

4.2.3.5 Detecção de Mudanças

Dada a repetitividade com que as imagens de satélite são adquiridas, é possível a análise da extensão e do tipo de mudanças no uso do solo através do sensoriamento remoto. Uma série de processamentos pode ser implementada no sentido de reconhecer alterações ocorridas na paisagem de uma região, num dado período de tempo. Dentre tais alterações, podem ser citados o desmatamento, a expansão urbana e as variações sazonais da vegetação (Ridd & Liu, 1998).

Inicialmente as imagens devem ser co-registradas, ou georeferenciadas numa mesma projeção cartográfica e, dependendo do processo utilizado, elas devem passar por uma correção atmosférica (Song et al., 2001).

A subtração entre bandas de diferentes datas é a técnica mais simples. A análise do histograma da imagem resultante dessa operação permite a verificação das mudanças ocorridas, pois o mesmo apresenta distribuição normal, e os pixels que se agrupam em torno do seu pico representam as regiões onde não ocorreram mudanças, ao passo que os demais representam regiões onde tais mudanças ocorreram (Crosta, 1992; Hayes & Sader, 2001).

A subtração pode ser feita entre bandas originais, ou mesmo entre aquelas geradas da aplicação dos índices de vegetação. Contudo, essa operação demanda uma equalização dos histogramas das imagens, antes da sua aplicação (Crosta, 1992; Song et al. 2001; Collins & Woodcock, 1996).

A composição colorida com bandas espectrais de diferentes datas, é um método qualitativo, onde a fotointerpretação da imagem resultante é facilitada, em decorrência do realce das diferenças espectrais entre os pixels que representam alterações no uso do solo (Walsh et al., 1998).

Imagens de datas distintas também podem compor o conjunto de bandas usado como dados de entrada num processo de classificação. Nesse caso, ocorre a identificação e mapeamento dos grupos de pixels relacionados com as mudanças eventualmente ocorridas. Song et al. (2001) afirmam que essa técnica dispensa

correções atmosféricas, pois os padrões de comparação (áreas de treinamento), são escolhidos sobre os mesmos dados.

Outra técnica bastante aplicada trata da análise por componentes principais, na qual as mudanças são identificadas por representarem informação não correlacionada, entre as bandas utilizadas. Assim, a informação relativa às mudanças devem se concentrar nas componentes maiores (Collins & Woodcock, 1996).

4.3 A GESTÃO AMBIENTAL

4.3.1 Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável

O avanço tecnológico alcançado pelo Homem durante o século XX, tem sido acompanhado de mudanças significativas na paisagem natural, gerando preocupações relativas à qualidade do ambiente. A perda de biodiversidade, com a extinção de inúmeras espécies; as mudanças climáticas e o esgotamento dos recursos hídricos são alguns exemplos dos efeitos provocados pela ação antrópica.

A preocupação com a qualidade ambiental, por este motivo, tornou-se objeto de inúmeras reuniões internacionais, como as conferências das Nações Unidas para o Meio Ambiente de Estocolmo em 1972 e do Rio de Janeiro em 1992 e a Rio+10, de Johannesburg em 2002.

Neste contexto, surgiram conceitos como o do Desenvolvimento Sustentável: "aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras satisfazerem as suas" (CNUMAD, 1988); e da Gestão Ambiental: "ação centrada na tomada de decisão, mediando conflitos inerentes ao uso dos recursos naturais para atender às demandas sócio-econômicas e à conservação ambiental" (Bezerra, 1996).

O documento Agenda 21 (UNEP, 1992), aprovado durante a reunião do Rio de Janeiro, reflete esta preocupação. O capítulo 10 (Abordagem integrada para o planejamento e gestão de recursos terrestres) salienta que "a expansão das demandas para sustentação da população humana e das atividades econômicas determina um aumento da pressão sobre os recursos terrestres, criando conflitos e resultando na exploração predatória destes recursos. Com o objetivo de atender às demandas das futuras gerações, é essencial que tais conflitos sejam resolvidos agora, o que somente será possível com a gestão integrada do uso da terra".

Na Declaração de Johannesburg para o Desenvolvimento Sustentável (UN, 2002), está reconhecido que a degradação ambiental continua e que mais do que nunca o mundo apresenta disparidades sócio-econômicas extremas. Todavia, são mantidos os compromissos com o desenvolvimento sustentável, que deve ser concebido, segundo o mesmo documento, sobre três pilares: desenvolvimento econômico, desenvolvimento social e proteção ambiental.

Bellenzani (2000) sugere que, em síntese, a gestão patrimonial do meio ambiente consiste em:

1. Uma posição ética, referenciada pela preocupação com o longo prazo e com a vontade de preservar a liberdade de escolha das gerações futuras;
2. Um conjunto de instrumentos de análise científica, tomados de empréstimo à economia, à ecologia, à sociologia e às outras ciências, aplicados a uma determinada realidade;
3. Concretização de novos procedimentos de gestão dos recursos e dos meios naturais, por meio de negociação entre os diferentes atores sociais envolvidos.

O desafio imposto exige a formulação de políticas públicas que possibilitem a exploração das potencialidades oferecidas pelo vertiginoso avanço tecnológico alcançado pela humanidade e a integração efetiva dos atores que intervêm no processo de gestão dos recursos (Montgolfier & Natali, apud Bellenzani, 2000).

Ribeiro de Almeida et al. (1999), lembram que apesar dos esforços institucionais para a implantação de uma política ambiental no Brasil, o que se verifica é que muitas vezes ela não sai do papel, pois os governos agem de forma conservadora e compartimentada, desvinculando o meio ambiente das questões sócio-econômicas.

Alguns exemplos podem ser citados, como a Lei de Proteção de Mananciais da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), promulgada em 1976 e a própria Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), promulgada em 1981.

A primeira, que estabelecia parâmetros rígidos de uso e ocupação do solo para as bacias hidrográficas dos reservatórios de abastecimento da RMSP, não conseguiu deter a ocupação predatória dessas áreas, principalmente por estar desvinculada das políticas sociais e econômicas (Sócrates et al., 1985).

Visando reverter o quadro de degradação dos mananciais, incorporando o conceito de desenvolvimento sustentável e de gestão ambiental participativa, foram promulgadas as Leis Estaduais N° 7.663/1991, que estabelece a Política Estadual de

Recursos Hídricos e N° 9.866/1997, que estabelece uma nova Política de Proteção aos Mananciais do Estado de São Paulo.

Com relação à PNMA, o que chama a atenção é o fato de alguns de seus instrumentos, de relevante importância ainda não terem sido implementados por completo, como é o caso do Zoneamento Ambiental. Também nesse caso, mesmo com grande atraso, surgem medidas institucionais voltadas para a implementação do instrumento citado.

De fato, as novas políticas ambientais brasileiras têm incorporado o conceito de desenvolvimento sustentável, procurando a harmonização dos fatores econômicos, ecológicos e sociais. Do discurso à prática, entretanto, deve-se admitir que há ainda um mundo por ser construído, embora existam exemplos, que podem e devem ser seguidos, de ações efetivas nesse sentido.

4.3.2 Zoneamento Ambiental

O ordenamento territorial é um importante instrumento de gestão ambiental, que deve ser aplicado dentro dos princípios do desenvolvimento sustentável e o seu sucesso depende de uma ação política, centrada na participação social.

Tal ordenamento exige, como tópico indispensável, segundo Ribeiro de Almeida et al. (1999), o conhecimento do espaço geográfico e das alternativas de sustentabilidade social, econômica e ecológica; num processo de zoneamento ecológico-econômico.

Ross (1994), argumenta que o zoneamento ambiental deve se basear na compreensão das características do meio ambiente, nele incluído o meio natural e o sócio-econômico, bem como da sua dinâmica, buscando a integração de diferentes disciplinas.

Nos dizeres do mesmo autor: *"As proposições de zoneamento ambiental devem refletir a integração das diversas disciplinas técnico-científicas na medida em que se deve considerar as potencialidades do meio natural, adequando os programas de desenvolvimento e os meios institucionais a uma relação harmônica entre sociedade e natureza, onde o princípio básico é o ordenamento territorial calcado nos pressupostos do desenvolvimento com conservação da natureza."*

A definição adotada no documento "Diretrizes Metodológicas para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil" (MMA, 2001) é sintética e o caracteriza como

“instrumento político e técnico do planejamento, cuja finalidade última é otimizar o uso do espaço e as políticas públicas.”

O artigo 2º do Decreto Federal Nº 4.297, de 10 de Julho de 2002, que estabelece critérios para o Zoneamento Ecológico -Econômico (ZEE) do Brasil, o define como *“Instrumento de organização do território a ser obrigatoriamente seguido na implantação de planos, obras e atividades públicas e privadas, estabelece medidas e padrões de proteção ambiental destinados a assegurar a qualidade ambiental dos recursos hídricos e do solo e a conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população.”*

Para Medeiros (1999), o conceito de zona ecológico-econômica integra as dimensões ecológica, que reflete os limites impostos pela natureza e as potencialidades do seu uso sustentado; e econômica, relativa às demandas das comunidades que habitam e exploram o território.

O Governo Federal, através do Consórcio ZEE-Brasil, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente, vem desenvolvendo metodologias específicas para a elaboração do ZEE nos diversos Estados brasileiros.

A figura 4.8 apresenta uma proposta do Consórcio, como diretriz metodológica para a implementação do processo de ZEE. A proposta se baseia em diversas experiências realizadas no Brasil, voltadas para a definição de metodologia para o ZEE (MMA/SDS, 2001):

- estudos realizados pelo IBGE para diversas áreas do Brasil, incluindo os diagnósticos integrados do meio físico;
- Adaptações da metodologia SAE/MMA, para elaboração do Termo de Referência do ZEE do Sudeste do Estado do Amazonas – Vale do Rio Madeira, 1997, e do Termo de Referência da BR 174, nos estados do Amazonas e Roraima, 1997.
- Adaptações da metodologia SAE/MMA executadas pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil para as Áreas Fronteiriças, no Projeto Conjunto Brasil-Venezuela para o Zoneamento Ecológico-Econômico e o Ordenamento Territorial da Região Fronteiriça entre Pacaraima e Santa Elena do Uairém, 1997.

- Adaptações das experiências do INPE na difusão, acompanhamento técnico, treinamento e capacitação de profissionais para elaboração de ZEE na Amazônia Legal.

De fato, vários estados brasileiros estão caminhando com o processo de zoneamento ecológico-econômico, sendo que muitos já possuem regulamentação e tentam implementá-lo efetivamente. Alguns exemplos são os Estados de Tocantins, Mato Grosso do Sul, Santa Catarina, Maranhão e Tocantins.

A EMBRAPA, através da unidade de monitoramento por satélite, tem participado da elaboração do ZEE de vários desses Estados, disponibilizando grande volume de material via internet³.

No caso das Áreas de Proteção Ambiental (APA), onde o zoneamento ambiental se configura num instrumento fundamental para gestão, o processo também caminha, contudo de forma lenta. Para o Estado de São Paulo, por exemplo, somente as APA's de Ilha Comprida, da Várzea do Tietê, do Carmo, de Jundiaí e Cabreúva possuem zoneamento regulamentado (SMA, 2001).

Muitas pesquisas têm sido realizadas, com objetivo de desenvolver metodologia, especialmente com aplicação das tecnologias de sensoriamento e sistemas de informação geográfica, para aprimoramento do processo de implementação do ZEE. Todavia, é importante enfatizar que, tratando-se de um processo político, sua efetivação torna-se lenta e custosa, merecendo especial atenção a fase de educação ambiental, para a real difusão da grande quantidade de informação produzida.

³ www.cnpm.embrapa.br

Figura 4.8- Procedimentos técnico-operacionais para o ZEE do Brasil (MMA/SDS, 2001).

4.4 Áreas Protegidas

4.4.1 Unidades de Conservação

A lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) dá a seguinte definição para unidade de conservação: *"espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção."*

Nessa mesma lei estão estabelecidos critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação no Brasil, sendo que o sistema passa a ser constituído pelo conjunto das unidades de conservação federais, estaduais e municipais.

O SNUC, classifica ainda as unidades de conservação em dois grupos:

- **Unidades de Proteção Integral**, cujo objetivo básico é a preservação da natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais. (Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre).
- **Unidades de Uso Sustentado**, que tem por objetivo, compatibilizar a conservação da natureza, com o uso sustentado dos recursos naturais. (Áreas de Proteção Ambiental, Áreas de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural).

Segundo dados do IBAMA (2003), 6,23 % do território Nacional está protegido por algum tipo de unidade de conservação federal, num total de 53.217.332,87 ha. O quadro 4.2 apresenta uma quantificação dessas unidades de conservação por categoria.

Quadro 4.2- Unidades de Conservação (UC) Federais no Brasil, classificadas por categoria de uso. Situação em 3/01/2003.

Categoria (SNUC)	Classificação (SNUC)	Área (ha)	% do Território Nacional
Estação Ecológica	proteção integral	3.717.660,93	0,44
Parque Nacional	proteção integral	16.496.965,20	1,93
Ref. De Vida Silvestre	proteção Integral	128.521,23	0,02
Reserva Biológica	proteção integral	3.346.124,47	0,39
Área de Proteção Ambiental	uso sustentável	6.593.096,79	0,77
Área de Relev. Inte. Ecológico	uso sustentável	32.371,24	0,00
Floresta Nacional	uso sustentável	17.915.893,76	2,10
Reserva Extrativista	uso sustentável	4.986.699,26	0,58

Fonte: IBAMA, 2003

Em São Paulo, as unidades de conservação estaduais cobrem cerca de 3% do território, num total de 844.000 ha. Desse total, o Parque Estadual da Serra do Mar (PESM) representa quase a metade, com cerca de 315.000 ha de área. Contudo, segundo a Secretaria Estadual de Meio Ambiente (2003), somente 30% da área do parque está sob domínio público, o restante se encontra sob ação discriminatória, ou sub júdice, como consequência de ações de desapropriação indireta, muitas delas com valores altíssimos, inclusive com avaliações fraudulentas.

As Reservas da Biosfera constituem-se noutra importante categoria, internacional, de áreas protegidas. Criadas no âmbito do programa “O Homem e a Biosfera (MAB)”, da UNESCO, tais reservas se configuram num *“modelo de gestão integrada, participativa e sustentável dos recursos naturais, com os objetivos básicos de preservação da diversidade biológica, o desenvolvimento de atividades de pesquisa, o monitoramento ambiental, educação ambiental, o desenvolvimento sustentável e a melhoria da qualidade de vida das populações”*, segundo definição encontrada na lei Lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000 (SNUC).

4.4.2 Áreas de Proteção Ambiental (APA)

Essa categoria de unidade de conservação foi instituída pela lei federal N° 6.902, de 27 de Abril de 1981, com o objetivo de *"assegurar o bem-estar das populações humanas e conservar ou melhorar as condições ecológicas locais."*

Já a resolução N° 10/1988, do Conselho Nacional do Meio Ambiente, detalhou seus objetivos, além de estabelecer a necessidade do zoneamento ecológico-econômico (ZEE) e também normas para implementação de empreendimentos.

Com relação ao ZEE, essa resolução define que ele estabelecerá normas de uso, de acordo com as condições bióticas, geológicas, urbanísticas, agro-pastoris, extrativistas e culturais da região. Estabelece ainda, que toda APA deve ter pelo menos as zonas de Preservação da Vida Silvestre, mais restritiva e onde não são permitidas atividades antrópicas que importem na alteração da biota; e de Conservação da Vida Silvestre, onde pode ser admitido o uso moderado e auto-sustentado da biota.

A resolução CONAMA 10/88, estabelece ainda que a implantação das APA's não pressupõe alteração dominial das terras, ou seja, sua criação não depende de desapropriações.

A definição de APA, encontrada no SNUC, versa que *"A Área de Proteção Ambiental é uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais"*.

O SNUC estabelece ainda que as APA's são constituídas por terras públicas e privadas, que normas e restrições podem ser impostas à utilização da propriedade privada localizada numa APA (respeitados os limites constitucionais) e que toda APA deverá ser dotada de um conselho constituído por representantes dos órgãos públicos, de organizações da sociedade civil e da população residente.

Em síntese, as APA's têm como características principais (IBAMA, 2001):

- O objetivo da conservação da biodiversidade e da qualidade ambiental,
- O uso sustentável dos recursos naturais é permitido,
- São constituídas inclusive por terras privadas,
- Têm o zoneamento como instrumento de gestão,

- Têm como princípio de gestão, a participação social.

As APA's são, portanto, espaços de planejamento e gestão de áreas extensas, que possuem atributos ecológicos relevantes, cuja proteção deve ser alcançada através da integração entre órgãos públicos e sociedade civil. Além disso, sua proteção não deve ser pautada exclusivamente pela proibição, mas principalmente pela busca do desenvolvimento econômico e social, com respeito aos limites impostos pela natureza.

Ao todo, o IBAMA administra 29 APA's, ao redor do Brasil, todavia ainda são poucas as que contam com zoneamento ambiental desenvolvido e implementado (Bellenzani, 2000). O quadro 4.3, mostra a relação das 29 APA's federais existentes.

Para o Estado de São Paulo a situação se repete: das 22 APA's criadas, somente 5 estão regulamentadas, ou seja, contam com zoneamento ambiental e instrução normativa.

SMA (2001) sugere que a metodologia para a regulamentação das APA's deve se pautar em quatro etapas:

- Elaboração de diagnóstico sócio-ambiental, como subsídio ao zoneamento;
- Elaboração do zoneamento ambiental;
- Estabelecimento das diretrizes e normas para o uso e ocupação do solo, em consonância com a legislação municipal e com os direitos de propriedade;
- Instituição de uma estrutura de gestão, articulando os agentes envolvidos.

Quadro 4.3- Relação das APA's federais sob administração do IBAMA.

Nome	UF	Ano de criação	Área em HA
Anhatomirim	SC	1992	3.000,00
Bacia do Rio Descoberto*	DF e GO	1983	35.588,00
Bacia do Rio São João/Mico-Leão-Dourado	RJ	2002	150.700,00
Bacia do São Bartolomeu*	DF	1983	82.967,00
Baleia Franca	SC	2000	156.100,00
Barra do Mamanguape	PB	1998	14.640,00
Cairuçu	RJ	1983	32.688,00
Cananéia-Iguape-Peruíbe*	SP	1984	234.000,00
Carste de Lagoa Santa*	MG	1990	35.600,00
Cavernas do Peruaçu	MG	1989	143.866,00
Chapada do Araripe	CE, PI, e PE	1997	1.063.000,00
Costa dos Corais	AL/PE	1997	413.563,00
Delta do Parnaíba	PI, CE e MA	1996	313.800,00
Fernando de Noronha	PE	1986	93.000,00
Guapimirim	RJ	1984	13.961,00
Guaraqueçaba*	PR e SP	1985	283.014,00
Ibirapuitã	RS	1992	318.000,00
Igarapé Gelado	PA	1989	21.600,00
Ilhas e Várzeas do Rio Paraná	PR, SP e MS	1997	1.003.059,00
Jericoacoara*	CE	1984	207,00
Meandros do Rio Araguaia	GO, TO e MT	1998	357.126,00
Morro da Pedreira	MG	1990	66.200,00
Nascentes do Rio Vermelho	GO	2001	176.159,00
Petrópolis*	RJ	1992	59.049,00
Piacabuçu*	AL	1983	9.143,00
Planalto Central	GO e DF	2002	504.608,00
Serra da Ibiapaba	CE e PI	1996	1.592.550,00
Serra da Mantiqueira	MG, RJ e SP	1985	422.873,00
Serra de Tabatinga	MA, TO e BA	1990	35.000,00

Fonte: IBAMA (2003).

* APA's que contavam com ZEE e Instrução Normativa (Bellenzani, 2001)

4.5 O Papel do Geoprocessamento na Gestão Ambiental

No capítulo 35 (Ciência para o Desenvolvimento Sustentável) da Agenda 21 (UNEP, 1992), é destacado o importante papel do Sensoriamento Remoto (SR) e dos Sistemas Informação Geográfica (SIG), como ferramentas para incrementar a eficiência na utilização de recursos e apontar para os caminhos viáveis para o desenvolvimento sustentável.

O comitê para o uso pacífico do espaço exterior, da ONU, enfatizou ainda a importância do SR para o desenvolvimento sustentável, assim como a necessidade da disponibilização de dados atualizados a custos acessíveis, para que os países em desenvolvimento possam utilizar adequadamente esta ferramenta (UN, 2000).

Butler & Walsh (1998) salientam que o sensoriamento remoto e os SIG's são potentes ferramentas para gestão territorial, especialmente no que diz respeito à caracterização das paisagens e na análise de escalas, padrões e processos relacionados com os fenômenos ambientais.

De fato, o mesmo progresso tecnológico que tem sido fator de degradação ambiental pode, e vem sendo amplamente aplicado nos programas de planejamento, proteção, recuperação e monitoramento ambiental.

Além disso, os recursos para processamento da informação têm se desenvolvido rapidamente, tornando-se cada vez mais acessíveis e baratos, havendo mesmo um grande número de "softwares", imagens de satélite e bases cartográficas digitais, que são distribuídos livremente.

Levinsonh & Brown (1991, apud Bellenzani, 2000), argumentam que os SIG's contribuem para a construção do desenvolvimento sustentável, pois:

- Facilitam e agilizam o gerenciamento preciso das informações, subsidiando a tomada de decisões;
- Permitem a elaboração de prognósticos eficientes, facilitando a análise de impactos ambientais;
- Favorecem a gestão territorial democrática e participativa, através da disponibilização de informações à sociedade (especialmente se associados à internet), e
- Se ajustam ao planejamento interdisciplinar, à medida em que profissionais de diversas áreas podem trabalhar ao mesmo tempo sobre

uma mesma base de dados, trocando as informações conforme elas vão sendo geradas.

O programa de monitoramento da cobertura da terra, da comunidade européia, se baseia na utilização de sensoriamento remoto e SIG, com a justificativa de que a utilização dessas ferramentas aumenta a sua eficiência e permite a redução de custos. (EEA, 2000)

No Brasil, alguns projetos importantes de monitoramento da cobertura vegetal também vêm sendo desenvolvidos com aplicação de SR e SIG:

- O PRODES (Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia), realizado pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) desde 1974 (INPE, 1999).
- O “Atlas da Evolução dos Remanescentes Florestais e Ecossistemas Associados no Domínio da Mata Atlântica”, elaborado pela Fundação SOS Mata Atlântica, em convênio com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e o Instituto Socioambiental – ISA.
- O “Inventário Florestal de Áreas Reflorestadas no Estado de São Paulo” MMA, (2002) e o levantamento das “Áreas de Domínio de Cerrado no Estado de São Paulo” (Kronka, 1998)
- O “Diagnóstico Socioambiental participativo da Bacia Hidrográfica da Billings no Período 1989-1999.” (Capobianco, 2002)
- O “Atlas Ambiental do Município de São Paulo”, realizado pela Prefeitura do Município de São Paulo, com financiamento da FAPESP (PMSP, 2002).

A análise da aplicação das técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto no planejamento territorial tem sido alvo de inúmeros estudos acadêmicos.

Niero et al. (1982) e Foresti (1986) utilizaram o sensoriamento remoto para monitoramento da expansão urbana na Região Metropolitana de São Paulo, através do processamento digital de imagens do satélite Landsat.

Imagens de satélite também foram utilizadas para o reconhecimento de mudanças na paisagem e no uso do solo do município de João Pessoa (PB), como subsídio ao planejamento urbano (Ulbricht & Heckendorff, 1998).

Da Costa & Cintra (1999) aplicaram SR e GIS, no estudo de áreas de risco na Região Metropolitana de Belo Horizonte (MG), elaborando um banco de dados geográficos, destinado ao planejamento territorial.

Chao (1998), utilizou tais técnicas para o estudo da dinâmica urbana da província “Ciudad de la Habana”, analisando ainda a questão de riscos geológicos, no município de Habana del Leste, Cuba.

Da mesma forma, foram desenvolvidos os estudos de Liotte (2000) e Nunes da Silva (2002), que trabalharam com municípios do Vale do Ribeira, produzindo rico material de subsídio para o planejamento territorial no nível local.

Bocco et al. (2001), descrevem metodologia para o mapeamento geomorfológico regional, baseada em SIG, sugerindo sua aplicação como ferramenta de planejamento territorial para países em desenvolvimento.

Vários trabalhos vêm sendo realizados também, com aplicação de SIG para o gerenciamento de bacias hidrográficas (Isa, 2002; CBH-AT, 2002).

No que diz respeito ao zoneamento, as diretrizes do programa ZEE-Brasil, indicam que a utilização de SIG para a elaboração de um banco de dados geográficos é fundamental, para a integração temática, consultas espaciais e modelagem dos dados (MMA, 2001).

Medeiros (1999), adotou esse roteiro metodológico para a elaboração de um banco de dados geográficos composto de uma base de dados georeferenciadas, um sistema de informação geográfica, um sistema de gerenciamento de banco de dados e um simulador de redes neurais artificiais.

O IBAMA (2001), através do “Roteiro Metodológico para Gestão de Área de Proteção Ambiental” sugere que a implementação do sistema de informações de uma APA deve contar fundamentalmente com o auxílio de um SIG, uma vez que a maior parte dos dados são espaciais.

Mattos (1996), utilizou SIG na integração de dados de geomorfologia, geologia, pedologia e altimetria, para a elaboração de uma carta de capacidade de uso das terras, como apoio à gestão de uma APA municipal em Campinas-SP.

Bellenzani (2000), analisou por meio de geoprocessamento, a evolução e dinâmica do uso e ocupação do solo, no período 1980-1994, na área da APA Municipal do Capivari-Monos.

O Sistema de Informações de Unidades de Conservação (SIUC), do IBAMA, contém dados gerenciais, administrativos e cartográficos, processados através de ferramentas computacionais específicas, porém integradas, destinado a facilitar o gerenciamento das Unidades e disponibilizar informações sobre elas ao público.

Em relação aos dados cartográficos/digitais, o SIUC utiliza um Sistema de Informações Geográficas (SIG), cuja base de dados se encontra dividida da seguinte forma:

- Cartografia básica: contém os elementos principais de terrenos, como estradas, rios, altimetria e limites políticos;
- Cartografia temática: dados oriundos de análises do espaço geográfico, como vegetação, uso da terra, zoneamento etc.;
- Cadastro: limites das áreas especiais, como terras indígenas, unidades de conservação, reservas extrativistas etc.;
- Infra-estrutura: localização da infra-estrutura das unidades de conservação, como trilhas, residências, mirantes etc.

Se por um lado deve-se louvar os avanços alcançados no Brasil, com relação ao desenvolvimento de tecnologias da informação espacial (bons exemplos são o Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres - CBERS e o Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas - SPRING), por outro deve-se admitir que muito ainda há por ser conquistado, no que tange à difusão da informação.

Essa difusão deve ser buscada pois as informações produzidas, hoje de forma rápida e com custos muito mais baixos que no passado recente, têm que atender ao objetivo de concientizar os atores envolvidos, para que a participação popular se torne realidade no processo de gestão territorial.

5. Material e Métodos

Para a construção de um quadro diagnóstico da APA do Capivari-Monos, como subsídio para a elaboração do zoneamento ambiental dessa unidade de conservação, fez-se a adaptação dos métodos sugeridos por Ross (1994) e por Crepani *et al.* (1996).

Tais métodos sugerem a integração de dados sobre Pedologia, Geologia, Geomorfologia e Uso/Cobertura do solo para a análise das fragilidades e aptidões do meio ambiente.

Preliminarmente, procedeu-se uma pesquisa para identificação dos dados disponíveis. Constatada a indisponibilidade de cartas geológicas e pedológicas em escala adequada, procedeu-se a digitalização da carta geotécnica do município de São Paulo, que agrega informações sobre estes dois temas, em especial no que tange à suscetibilidade à erosão.

O processamento de imagens de sensoriamento remoto foi empregado na produção de um mapa de uso e cobertura do solo, bem como na análise da dinâmica da expansão urbana na região.

Com o auxílio de um modelo numérico do terreno, produziu-se um mapa de geomorfologia, através da interpretação de produtos intermediários como a carta de declividade, carta hipsométrica e imagem sombreada.

Finalmente, procedeu-se a integração dos dados através da análise espacial. A interpretação do quadro resultante foi feita visando a proposição de diretrizes para o Plano de Gestão Ambiental.

5.1 Abordagem Proposta

Vedovello e Mattos (apud Silva, 2002), definem zoneamento geotécnico como o processo de identificação e delimitação de compartimentos com comportamento geotécnico homogêneo, decorrente das características do meio físico.

Pode-se mesmo afirmar que a cartografia geotécnica consiste na integração de dados sobre o meio físico, para avaliação de suas limitações e potencialidades, frente a diferentes usos. Tais instrumentos têm sido freqüentemente aplicados na gestão urbana (IPT, 1990; PMSP, 1992).

O conceito de Unidades Ecodinâmicas, desenvolvido por Tricart (1977), sugere a análise ambiental sob a ótica da teoria de sistemas, ou seja, considerando que as

trocas de energia e matéria se processam, na natureza, por meio de relações em equilíbrio dinâmico, e que a ação antrópica é responsável pela quebra desse equilíbrio (Ross, 1994).

Com base nesse conceito, Ross (1990), propôs uma metodologia para a integração de informações sobre o meio físico e biótico, visando subsidiar o processo de gestão territorial. Nessa metodologia, o autor propõe critérios para a definição de unidades ecodinâmicas, variando de estáveis a instáveis, conforme o grau de intervenção humana. Ele sugere ainda a avaliação da instabilidade potencial do ambiente, qualificada a partir das suas características naturais, como relevo e solo.

Também com base no conceito concebido por Tricart (1977), Crepani et al. (1996), desenvolveram um método para elaboração de cartas de vulnerabilidade natural à erosão, com integração dos dados de geologia, geomorfologia, pedologia e uso do solo, através da aplicação de técnicas de análise espacial em SIG.

Nele, os autores propõem a definição de unidades territoriais básicas (UTB's), através da interpretação de imagens de satélite, categorizando-as em unidades da paisagem natural e polígonos de ação antrópica.

A vulnerabilidade à erosão das unidades da paisagem natural é então analisada, estabelecendo-se uma gradação entre morfogênese, onde prevalecem processos erosivos modificadores do relevo, e pedogênese, onde prevalecem os processos de formação de solos.

A gradação é aplicada sobre cada tema considerado como dado de entrada, atribuindo-se pesos variáveis de 1,0 (prevalece a pedogênese) a 3,0 (prevalece a morfogênese). Assim, no caso da geomorfologia por exemplo, para cada classe de relevo são atribuídos os pesos, com base nos índices morfométricos de amplitude de relevo, declividade e grau de dissecação.

Cada mapa temático de entrada, é transformado num modelo numérico de terreno, através da ferramenta ponderação. Dessa forma, cada classe temática de cada mapa, fica representada por um valor numérico correspondente ao peso a ela atribuído.

Com a aplicação de operadores zonais (utilizando as unidades da paisagem natural como restrição) e operações aritméticas entre os modelos numéricos intermediários, é obtido um modelo numérico final, que integra as informações. Nesse caso, cada unidade da paisagem natural estará associada a um valor, correspondente

a sua vulnerabilidade natural à erosão. A etapa final, consiste do fatiamento desse modelo numérico, para a produção de um mapa temático.

Vale ressaltar que, tanto a abordagem sugerida por Ross, como aquela desenvolvida por Crepani, enfocam estritamente a erosão como fator de degradação ambiental. Nelas ainda se pode distinguir que as características de solo, relevo e rocha determinam o grau de fragilidade do meio e a vegetação/cobertura, o grau de proteção existente.

No tocante aos recursos hídricos, a importância das bacias hidrográficas como unidade básica para o gerenciamento tem sido largamente defendida, sendo mesmo considerada nas políticas Estaduais e Nacional de gerenciamento desses recursos.

Com o objetivo de analisar de que forma a bacia hidrográfica da Billings está absorvendo os impactos ambientais decorrentes da intervenção humana, o ISA (2002) propõe a formulação de um “índice de comprometimento da produção hídrica”.

Tal índice foi desenvolvido para a comparação entre micro-bacias, e compõe-se de três fatores:

- Índice de escoamento fluvial: que leva em conta a variação altimétrica e a quantidade de nascentes de uma dada microbacia,
- Coeficiente de vegetação: considerando a densidade de mata nos diferentes estágios de regeneração (inicial, médio e avançado)
- Coeficiente de Urbanização: relativo à densidade de urbanização da micro bacia.

As microbacias foram definidas como unidade territorial básica nesse trabalho, especialmente porque um dos objetivos maiores da criação da APA do Capivari-Monos é a proteção dos recursos hídricos (o próprio nome da APA se refere aos rios), ainda abundantes e de boa qualidade na região, caso atípico em se tratando do município de São Paulo.

Trata-se aqui, da construção de um quadro comparativo entre as microbacias, contando com informações sobre:

- a fragilidade do meio físico (numa concepção geotécnica),
- sobre o grau de proteção, que tem como indicador a proporção de cobertura natural,
- sobre o grau de antropização, diferenciado em uso rural/agrícola e urbano,

- sobre o risco de degradação, representado pela variação temporal da expansão urbana.

Pretende-se com isso, que os atores envolvidos possam equacionar conjuntamente a questão do balanceamento entre preservação e desenvolvimento econômico, servindo de apoio às ações de prevenção contra a degradação, de remediação, nos casos em que a degradação está consumada, e de fomento de atividades econômicas compatíveis com a proteção ambiental.

5.2 Equipamentos e Programas Utilizados

A escolha dos equipamentos e programas para o desenvolvimento de um Banco de Dados Geográficos, adequado à utilização na gestão ambiental, deve essencialmente considerar os custos envolvidos, a disponibilidade de treinamento e assessoria técnica e a facilidade de divulgação da informação via rede internacional de computadores.

Assim, optou-se neste trabalho, na medida do possível, por programas de livre distribuição e por microcomputadores pessoais.

No desenvolvimento das atividades, foi utilizada infra-estrutura do Laboratório de Informática Geológica (LIG), do Instituto de Geociências da USP, e da Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente, da Prefeitura do Município de São Paulo (SVMA -PMSP).

A configuração básica dos microcomputadores pessoais utilizados foi a seguinte: processador com 1,2 Ghz, disco rígido de 20 Gb, memória RAM de 128 Mb, unidade de leitura e gravação de CD, placa de vídeo com 8 Mb, placa de rede, teclado e mouse. Periféricos como impressora jato de tinta colorida, impressora laser, "plotter" A0, "scanner" A4 e A0 foram também empregados na elaboração da dissertação.

A integração e o processamento das informações foram realizados com o SPRING (Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas), um banco de dados geográfico de 2ª geração, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) para ambientes UNIX e Windows.

O SPRING suporta grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso); administra tanto dados vetoriais como dados matriciais ("raster"), realizando a integração de dados de Sensoriamento Remoto; é dotado de uma linguagem espacial facilmente programável (LEGAL - Linguagem Espacial-Geográfica baseada em

Álgebra); além de possibilitar sua operação, com toda sua funcionalidade, tanto em microcomputadores como em estações de trabalho RISC de alto desempenho.

Eventualmente, outros "softwares" (AUTOCAD e MapScan for Windows) foram utilizados, especialmente na conversão de formato dos dados digitais e para digitalização de bases cartográficas analógicas.

No quadro 5.1 estão listadas as bases cartográficas e produtos de sensoriamento remoto usados neste trabalho, bem como suas características.

Quadro 5.1 - Bases cartográficas e produtos de sensoriamento remoto utilizados.

Bases Cartográficas						
Produto/Fonte		Escala	Folhas		Projeção	Formato
Cartas do Sistema Cartográfico Metropolitano - SCM (EMPLASA-1981). Temas: Hidrografia, Altimetria, Vias Pavimentadas e não pavimentadas		1:10.000	2212, 2246, 2244, 2242, 2246, 2226, 3215, 3231, 3233, 3235, 3216, 3232, 3234, 3236, 3225, 3241, 3243 e 3245		UTM	Vetorial-Digital ¹
Carta de Aptidão Física ao Assentamento Urbano (EMPLASA/IPT, 1980)		1:50.000	Embu Guaçu e Riacho Grande		UTM	Analógico
Carta Geotécnica do Município de São Paulo. (SEMPLA-PMSP-1992) Tema: Maciços de Solo e Rocha		1:10.000	2212, 2246, 2244, 2242, 2246, 2226, 3215, 3231, 3233, 3235, 3216, 3232, 3234, 3236, 3225, 3241, 3243 e 3245		UTM	Analógico
Fotos Aéreas						
Produto/Fonte		Ano	Escala		Formato	
Levantamento Base Aerofoto/SEHAB		2000	1:6.000		Analógico Colorido	
Imagens de Satélite						
Órbita/Ponto	Satélite	Sensor	Data	Bandas	Formato	
219-76+	Landsat-5	TM	23/10/1991	3,4,5	Matricial ("raster")-Digital	
219-77	Landsat-7	ETM+	30/04/2000	1,2,3,4,5,7 e 8	Matricial ("raster")-Digital	

¹ Digitalizado pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente-SMMA

5.3 Entrada de dados

Os dados disponíveis em formato vetorial-digital, que se encontravam com extensão DWG, formato padrão do AUTOCAD, foram convertidos para DXF, formato intercambiável, aceito pelo SPRING.

As folhas listadas no quadro 5.1, da Carta Geotécnica do Município de São Paulo, foram digitalizadas. Para tanto, os polígonos correspondentes ao tema maciços de solo e rocha foram copiados manualmente para uma película ultrafan e posteriormente rasterizados, com "scanner" A0, gerando arquivos com extensão TIFF.

Em seguida procedeu-se o georeferenciamento e vetorização automática desses arquivos, com auxílio do "software" MapScan for Windows. Os arquivos DXF criados nesta etapa, foram editados com o AUTOCAD.

Com o módulo IMPIMA do SPRING, foi feita a leitura de arquivos matriciais referentes às imagens Landsat TM e ETM+, o recorte das cenas, para seleção da área de estudo e sua conversão para o formato GRIB, adequado para integração no sistema.

5.3.1 Criação do Banco de Dados e Modelagem

No SPRING, os passos iniciais consistem na criação e modelagem do banco de dados. Tal modelagem configura-se na definição das categorias, que podem ser do modelo Imagem, Numérico, Temático, Cadastral, Rede ou Não-Espacial. Tais categorias determinam o tipo de dado que será manipulado, bem como as operações possíveis para seu tratamento (Quadro 5.2).

Definido o modelo de dados e criadas as categorias, procedeu-se a criação de um projeto. Nesta etapa, foram definidos os limites geográficos da área de estudo (Retângulo Envolvente), a projeção cartográfica e demais parâmetros cartográficos. A criação de um projeto, no SPRING, implica na criação de um sub-diretório do banco de dados criado anteriormente, que armazena os dados manipulados.

Quadro 5.2- Categorias e modelos de dados no SPRING.

Modelo da Categoria	Qualificação do dado	Dados utilizados
Imagem	Provenientes de sensoriamento remoto em formato matricial.	Imagens de satélites (Landsat 5 e 7).
Numérico	Possuem uma variação contínua de seus valores numéricos em função de sua posição na superfície.	Tema Altimetria das cartas do Sistema Cartográfico Metropolitano.
Temático ¹	Classificam uma posição geográfica quanto a um determinado tema.	Carta Geotécnica, Uso e Cobertura do solo e Geomorfologia.
Cadastral ²	Contêm a representação de determinado tipo de objeto, associado a uma tabela de atributos.	Bacias e sub-bacias hidrográficas, Unidades de Conservação.
Rede	Dados geográficos que possuem relações de fluxo e conexão entre os inúmeros elementos que deseja-se representar e monitorar.	Tema Drenagem das cartas do SCM.
Não-Espaciais	Não possuem representação espacial.	Não foi utilizado.

¹ Associados a classes temáticas

² Associado a objetos

O projeto é composto de um conjunto de Planos de Informação (PIs) que são o suporte para os diferentes tipos de dados existentes, onde estes podem ser importados, digitalizados e editados. Cada PI está associado a uma única categoria e modelo de dados previamente criados e nele ocorre a representação gráfica da informação, assim como seu processamento.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi criado o banco de dados São Paulo e o projeto APA, com Projeção UTM/Córrego Alegre, delimitado pelas coordenadas geográficas 313.507m, 7.342.583m (canto inferior esquerdo) e 340.300m, 7.362.583m (canto superior direito).

As categorias e Pls criados para importação dos dados estão listados no quadro 5.3. Outras categorias e Pls foram criados, conforme a necessidade, durante o desenvolvimento do trabalho.

Quadro 5.3- Estrutura inicial do Banco de Dados Geográficos criado.

Categoria	Modelo	Plano de Informação
Altimetria	Numérico	Altimetria_APA
Clima	Cadastral	Un_Clima_Nat
Geologia	Temático	Geotecnia
Geomorfologia	Temático	Grupos Morfológicos
Hidrografia	Rede	Drenagem
Imagens L5_23_10_1991	Imagem	TM1, TM2, TM3 etc.
ImagensL7_30_04_2000	Imagem	TM1,TM2,TM3 etc.
Limites	Cadastral	Limite da APA, Bacias e sub-bacias
Rede Viária	Rede	Vias

5.4 Processamento Digital de Imagens

5.4.1 Correção Geométrica e Registro das Imagens

As imagens Landsat 7 foram corrigidas com referência nos dados cartográficos disponíveis (Rede Viária e Hidrografia). Foi utilizada a transformação baseada em pontos de controle no terreno ("Ground Control Points").

No SPRING, este procedimento é realizado interativamente, associando-se pontos de fácil reconhecimento na imagem e na base cartográfica. Dezesete pontos de controle foram associados, com erro médio inferior a um pixel. Em seguida as imagens foram re-amostradas por interpolação, pelo método do vizinho mais próximo.

As imagens assim corrigidas foram utilizadas como referência para o registro das imagens Landsat 5, através do mesmo método acima descrito.

5.4.2 Fusão entre Bandas

Para o aprimoramento da qualidade das imagens multiespectrais do Landsat 7, bandas do Vermelho (ETM-3), do infra-vermelho próximo (ETM-4) e do infra-vermelho

ondas curtas (ETM-5), que têm 30 metros de resolução espacial, procedeu-se à sua fusão com a banda pan-cromática (ETM-8), com resolução espacial de 15 metros.

A técnica denominada "Smoothing Filter-based Intensity Modulation", proposta por Liu (2000), foi empregada:

- As imagens multiespectrais foram reamostradas para ficarem com o mesmo número de linhas e colunas que a imagem pancromática;
- sobre a imagem de maior resolução espacial (ETM-8 pancromática), foi aplicado um filtro de suavização, com máscara quadrada de 3X3 pixels;
- realizou-se uma razão entre a imagem ETM-8 original e a imagem resultante da filtragem e
- finalmente a multiplicação da imagem resultante do passo anterior, pelas imagens multiespectrais referentes às bandas ETM 3, 4 e 5.

A vantagem desta técnica sobre outras mais usuais, é a manutenção da qualidade espectral das imagens, gerando produtos de grande riqueza textural, facilitando a interpretação (Figura 5.1).

5.4.3 Operações Aritméticas

Com base no comportamento espectral da vegetação, foram selecionadas razões entre pares de bandas no intento de realçar e diferenciar feições de interesse, como florestas homogêneas e heterogêneas, campos de várzea e fragmentos florestais em diferentes estágios sucessionais.

O Índice Normalizado de Diferença de Vegetação (NDVI) foi aplicado para realçar as regiões com diferentes densidades de cobertura vegetal. O Índice de Umidade (ETM5/ETM4), para diferenciação entre florestas homogêneas e heterogêneas, com bom resultado para o realce de áreas cobertas por reflorestamento de *Pinus sp.*. Para o realce de áreas cobertas por campos de várzea foi utilizada a razão entre bandas do visível (ETM3/ETM1).

As imagens produzidas nesta etapa do trabalho foram utilizadas posteriormente no processo de classificação.

Figura 5.1- Composições coloridas RGB 4,5,3. A esquerda imagens originais com 30 metros de resolução espacial e a esquerda com 15 metros, resultado da fusão com a banda pan-cromática.

5.4.4 Segmentação e Classificação

Para a produção do mapa temático de Uso e Cobertura do Solo, as imagens ETM 3, 4, 5 além das imagens resultantes das razões citadas na seção anterior (NDVI, Índice de Umidade e razão $ETM3/ETM1$), foram classificadas pelo método supervisionado por regiões.

Tal método pressupõe a segmentação, ou seja, a divisão da imagem em regiões, ou conjuntos de pixels contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidade espectral.

Através do algoritmo baseado no crescimento de regiões, implementado no SPRING, foi produzida uma imagem rotulada, com regiões delimitadas segundo limiares de similaridade e de área (em pixels). Após vários testes, foram adotados os valores de 8 para similaridade e 20 para o tamanho mínimo de cada região. Como não existe uma padronização para esses valores, sua definição depende dessa experimentação.

Na imagem rotulada (figura 5.2), somente os contornos das regiões delimitadas são representados, possibilitando sua sobreposição a outras imagens e facilitando a identificação de áreas de treinamento, na seqüência do processo de classificação, bem como a edição final do mapa temático. Cada região tem ainda como rótulo o DN médio dos pixels que as compõem.

Foram definidas, inicialmente, seis classes de uso e cobertura do solo: Água, Mata, Urbano, Campo, Reflorestamento e Outros. O algoritmo de classificação supervisionada por regiões, do SPRING, que utiliza a distância de Bhattacharya como critério de decisão estatística, foi então aplicado.

Figura 5.2 - Imagem rotulada sobreposta a uma composição colorida R4,G5,B3.

Com base em vistorias terrestres e aéreas, e com referência na imagem rotulada sobreposta à composição colorida R4, G5, B3 (aprimorada pela fusão com a banda ETM 8) (figura 5.2), foram obtidas as áreas de treinamento para cada classe previamente definida.

5.4.5 Detecção de mudanças

No método aqui empregado, explorou-se o comportamento espectral diferenciado, entre áreas cobertas por vegetação e por edificações: a vegetação reflete pouca Radiação Eletro-Magnética (REM) na faixa do visível, ao contrário do que ocorre com as áreas urbanas (Figura 5.3).

Assim, dados referentes à banda 3 do satélite Landsat, que correspondem à faixa do vermelho (entre 630 e 690 nm), de diferentes datas, foram utilizados numa composição colorida RGB, na qual a banda ETM 3 de 2000 foi associada ao canal vermelho(R) e a banda TM 3 de 1991 associada aos canais verde e azul (G e B).

Figura 5.3 - Curvas de Reflectância de alguns materiais que compõem as áreas urbanas e da vegetação (Modificado de Zheng et al.).

Esta composição colorida resulta numa imagem que realça, em vermelho, as regiões onde a mancha urbana avançou sobre a vegetação, pois os pixels que representam áreas urbanas têm DN mais alto e a Banda 3 da imagem de 2000 foi associada ao canal vermelho (Figura 5.4).

Para uma análise quantitativa da perda de cobertura vegetal, porém, fez-se uma classificação supervisionada por região, método descrito no item 5.4.4.

Nesse caso, contudo, foram utilizados os dados referentes às bandas ETM3 de 2000 e TM3 de 1991, na etapa de segmentação e classificação. As áreas de treinamento foram definidas sobrepondo-se a imagem segmentada à composição colorida R3 (2000), G3 (1991) e B3 (1991).

O classificador Battacharya foi novamente utilizado para a classificação e um mapa temático, em formato "raster" foi criado, apresentando apenas duas classes temáticas: áreas desmatadas, (onde ocorreu mudança de cobertura do terreno na década de 90) e áreas inalteradas. Após a checagem dos dados, com o auxílio de aerofotos, e das correções necessárias, chegou-se ao produto final.

Figura 5.4 - Composição colorida R-ETM3 (2000), G-TM3 (1991) e B-TM3 (1991), mostrando em vermelho as áreas onde a urbanização avançou sobre a vegetação.

5.5 Modelo Numérico de Terreno

Com base nas curvas de nível com equidistância de 5 metros, foi produzido o modelo numérico de terreno, utilizando-se as ferramentas disponíveis no SPRING.

Uma grade regular de altimetria, com resolução de 10 m, foi gerada através do interpolador que utiliza a média ponderada por cota e quadrante. Este interpolador utiliza o valor das cotas das quatro isolinhas mais próximas para a obtenção do valor da célula.

A grade regular gerada na etapa anterior constituiu a base para a produção do mapa temático de hipsometria e de declividade, bem como da imagem sombreada do relevo.

As seis classes hipsométricas (0-600, 600-650, 650-700, 700-750, 750-800 e 800-900), foram definidas após a realização de alguns testes. Sobre a grade regular de altimetria foi aplicada a ferramenta fatiamento, do SPRING, quando foram definidos os intervalos, resultando no mapa temático de hipsometria.

A grade regular de altimetria foi utilizada para o cálculo da grade regular de declividade. Tal grade foi gerada com 10 m de resolução e com os valores de declividade em porcentagem.

As classes de declividade (0-5%, 5-12%, 12-30%, 30-47% e > 47%), foram definidas com base no que sugere De Biasi (1992). Sobre a grade regular de declividade, foi novamente aplicada a ferramenta fatiamento, resultando no mapa temático de declividade.

Para visualização das diferenças de relevo, foi produzida ainda uma imagem sombreada. Para isso, foi utilizada a ferramenta geração de imagens, do SPRING, que requisita a definição dos seguintes parâmetros de iluminação:

- azimute, medido no sentido horário a partir do Norte (eixo y): 45°,
- Ângulo de elevação, medido a partir do plano xy: 45°,
- Exagero de relevo de 3X, utilizado para aumentar a escala vertical em relação à escala horizontal da imagem sombreada, o que possibilita melhorar a visualização de formas e estruturas da superfície quando não realçadas na escala original.

5.6 Mapas Temáticos

5.6.1 Uso e Cobertura do Solo

O mapa resultante da etapa descrita no item 5.4.5 foi editado para correção dos erros, que são comuns em classificação digital de imagens. Para tanto foram utilizadas fotos aéreas e vistorias terrestres. Foram ainda acrescentadas classes temáticas, visando o aprimoramento da qualidade do mapa.

5.6.2 Geomorfologia

A proposta taxonômica formulada por Ross (1992), foi empregada na definição das unidades homogêneas de formas de relevo, aqui denominadas grupos morfológicos.

Para a definição e delimitação desses grupos, foi feita interpretação visual, em tela, das bases digitais de altimetria e hidrografia, e dos produtos gerados na etapa anterior: mapa temático de hipsometria, de declividade e imagem sombreada de relevo. Imagens Landsat (banda ETM8), processadas para realce da informação textural, com a aplicação de filtros passa-alta, também contribuíram para o mapeamento, que foi concluído com trabalho de campo.

A Carta de Aptidão Física ao Assentamento Urbano (IPT,1980), também foi utilizada como referência para definição e caracterização dos grupos.

Foram definidos sete grupos morfológicos: Planícies Aluviais, Colinas, Cratera de Colônia, Fenda do Capivari, Morrotes e Morros.

Com base em discussão realizada entre uma equipe multidisciplinar, composta por técnicos da Secretaria do Verde e do Meio Ambiente (SVMA-PMSP), foram atribuídos pesos, relativos à fragilidade, para cada grupo morfológico. Esses pesos são variáveis de 1 a 3, em ordem crescente de fragilidade.

5.6.3 Geotecnia

A elaboração do mapa temático de Geotecnia deu-se através da digitalização da Carta Geotécnica do Município de São Paulo, conforme descrito no item 5.3.

Os maciços descritos naquela carta, são o resultado da compartimentação do território em unidades com comportamento geotécnico homogêneo, com a denominação decorrente da litologia predominante na unidade.

De modo similar ao descrito para o tema geomorfologia, foram atribuídos pesos diferenciados para cada classe geotécnica.

5.7 Análise Espacial

A integração dos dados foi feita através de ferramentas disponíveis no SPRING, como a Linguagem Espacial-Geográfica baseada em Álgebra (LEGAL) e a tabulação cruzada.

A unidade territorial aqui adotada para a integração dos dados foi a sub-bacia hidrográfica. As sub-bacias foram delimitadas com base nos divisores de água, observados na base cartográfica digital de altimetria.

Um plano de informação do modelo cadastral foi criado para a elaboração do mapa de sub-bacias e sua associação a um banco de dados, permitindo a integração e armazenamento dos dados.

A densidade de drenagem para cada uma das sub-bacias foi calculada através da ferramenta operações métricas, aplicada sobre a base digital de hidrografia, com base no proposto por Strahler (1952). A densidade de drenagem corresponde a relação entre o comprimento total dos canais de drenagem (Km) e a área da sub-bacia (Km²).

As informações sobre Uso e Cobertura do Solo foram utilizadas para a avaliação, através da quantificação dos diferentes usos, do estado de conservação/degradação de cada sub-bacia. Os dados sobre desmatamento também foram quantificados por sub-bacia, para uma avaliação da expansão urbana na região.

Com a interpretação dos resultados, lançados no Quadro Diagnóstico, foram sugeridas diretrizes gerais para o Plano de Gestão da APA do Capivari-Monos.

5.7.1 Fragilidade do Meio Físico

A integração dos dados referentes à Geotecnia e Geomorfologia para produção de um mapa temático de fragilidade do meio físico por sub-bacias se deu com a adaptação do método proposto por Crepani et al. (1996), no qual é utilizada álgebra de mapas com operadores zonais.

Descreve-se, abaixo, as etapas seguidas na elaboração desse mapa.

1. Elaboração do mapa de unidades da paisagem, no caso foram adotadas as sub-bacias hidrográficas, conforme descrito no item anterior.
2. Atribuição de pesos variáveis entre 1 (menor fragilidade) e 3 (maior fragilidade), para cada classe dos mapas de Geomorfologia e Geotecnia, e geração de modelos numéricos com estes valores.
3. Produção de novos modelos numéricos, com a distribuição das contribuições de cada componente do meio físico homogeneizadas pela zonalidade das unidades territoriais, através do operador média zonal envolvendo o mapa de sub-bacias e os modelos numéricos resultantes da ponderação das classes temáticas, obtidos na etapa 2.

4. Integração da contribuição de cada componente do meio físico para as diferentes sub-bacias, a partir da operação pontual de média ponderada entre os modelos gerados na etapa 3. Como resultado, tem-se um único modelo numérico, com valores entre 1 e 3.
5. Geração de um mapa temático de fragilidade do meio físico, através do fatiamento do modelo resultante da etapa 4. Esse fatiamento consiste da associação dos intervalos de valores desse modelo, a uma das cinco classes de fragilidade pré-estabelecidas, quais sejam: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

5.7.2 Tabulação cruzada

A ferramenta tabulação cruzada permitiu a quantificação dos diferentes usos e coberturas do solo por sub-bacia, bem como do desmatamento.

Esta operação possibilita o cálculo da área das interseções entre as classes de dois PI's temáticos. Para tanto, os PI's devem estar no formato "raster" e apresentar a mesma resolução horizontal e vertical, o mesmo número de linhas e colunas ("pixels") e compreender as mesmas coordenadas no terreno.

A tabulação cruzada compara as classes de dois planos de informações, determinando a distribuição de suas interseções. Os resultados são apresentados em tabelas que foram manipuladas no "software" Excel, para o cálculo das percentagens de uso/cobertura do solo e desmatamento por sub-bacia. Estes valores foram, por fim, incorporados ao banco de dados e compõem o quadro diagnóstico.

6. Resultados e Discussão

O Banco de Dados Geográficos implementado é o principal resultado desse trabalho, não só pelas informações já produzidas, mas pela possibilidade de atualização contínua, com a realização de novas análises, conforme o objetivo pretendido.

Com a aplicação da metodologia descrita no capítulo 5, foram obtidos os resultados que serão apresentados na seqüência desse capítulo, constituídos basicamente de cartas temáticas, em escala 1:100.000.

Através do cruzamento das informações, foi produzido um quadro diagnóstico da APA do Capivari-Monos, sobre o qual se procede a análise dos principais problemas relacionados à gestão territorial. O território da APA foi dividido em três bacias hidrográficas e 22 sub-bacias, listadas no quadro 6.1 e representadas na figura 6.1.

Quadro 6.1- Relação das bacias e sub-bacias hidrográficas da APA do Capivari-Monos.

BACIA DO CAPIVARI-MONOS	
CÓDIGO	SUB-BACIA
M1	Alto Monos
M2	Baixo Monos
C1	Cabeceira do Capivari
C2	Represa do Capivari
C3	Embura
C4	Pombos
C5	Médio Capivari
C6	Dúvida
C7	Getúlio
C8	Evangelista de Souza
C9	Campos
C10	Cachoeira do Capivari
BACIA DA BILLINGS	
B1	Guarani
B2	Taquacetuba
B3	Cratera
B4	Krucutu
BACIA DO GUARAPIRANGA	
G1	Alto Embu Guaçu
G2	Baixo Embu Guaçu
G3	Médio Embu Guaçu
G4	Gramado
G5	Vermelho
G6	Cipó

APA DO CAPIVARI-MONOS
BACIAS E SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS

LOCALIZAÇÃO DA APA

B.H. DO CAPIVARI-MONOS	B.H. DO GUARAPIRANGA
M1 Alto Monos	G1 Alto Embu-Guaçu
M2 Baixo Monos	G2 Médio Embu-Guaçu
C1 Cabeceira do Capivari	G3 Baixo Embu-Guaçu
C2 Represa do Capivari	G4 Gramado
C3 Embura	G6 Cipó
C4 Pombos	G5 Vermelho
C5 Médio Capivari	
C6 Dúvida	B.H. DA BILLINGS
C7 Getúlio	B1 Guarani
C8 Evangelista de Souza	B2 Taquacetuba
C9 Campos	B3 Cratera
C10 Cachoeira do Capivari	B4 Krucutu

Cabe enfatizar ainda que, à medida que as informações foram sendo produzidas, foram sendo disponibilizadas aos atores do processo de gestão da APA do Capivari-Monos, ou seja, aos membros do seu Conselho Gestor, representados pelo Grupo de Trabalho responsável pela elaboração do Zoneamento Ambiental dessa unidade de conservação.

6.1. Fragilidade do Meio Físico

6.1.1 Fator Geomorfologia

Os mapas temáticos de hipsometria (figura 6.2) e declividade (figura 6.3) e a imagem sombreada de relevo (figura 6.4), são produtos intermediários, que foram utilizados na elaboração do mapa geomorfológico (figura 6.5).

Os grupos morfológicos mapeados estão descritos no quadro 6.2, onde está também apresentada a ponderação da sua fragilidade. Em geral, a região se apresenta bastante frágil com relação ao relevo. A ponderação se revelou bastante severa, ou seja, 3 dos 6 grupos morfológicos foram considerados como de fragilidade muito alta. Isso se explica, em parte, por se tratar de uma unidade de conservação. Mas vale ressaltar que, de fato, as condições de alta declividade, no caso da fenda do Capivari, bem como a baixa capacidade de suporte, no caso das planícies aluviais, justificam a ponderação adotada. No caso da Cratera há a combinação dessas condições, pois no centro da estrutura ocorre uma planície aluvial, circundada por um anel com relevo de altas declividades.

Comparativamente o relevo de morros, concentrado principalmente na bacia do Capivari-Monos, na região central da APA, foi considerado como de fragilidade alta em virtude do predomínio de altas declividades e à grande concentração de nascentes.

Os relevos de Morrotes e Colinas, foram classificados como de fragilidade baixa e muito baixa, respectivamente. Os Morrotes configuram os divisores de água das três bacias, sendo que as Colinas ocupam o entorno do reservatório Bilings, parte da bacia do Guarapiranga e as cabeceiras do Rio Capivari.

Quadro 6.2 - Características das classes do mapa geomorfológico (Figura 6.5).

Grupo Morfológico	Características	ESO
Planícies fluviais	Áreas de inundação dos corpos d'água, normalmente associadas aos campos de várzea, com grande importância para manutenção do regime hídrico e da qualidade das águas. Declividade inferior a 5%. Fragilidade Alta.	3,0
Colinas	Relevo suave, com topos aplainados. Declividade predominante entre 5 e 12%. Densidade de drenagem média (3,46 km/km ²). Fragilidade Baixa.	1.0
Cratera do Colônia	Estrutura de formato circular, composta por um anel externo colinoso e uma planície central pantanosa. Desnível de 125m entre o topo do anel externo e a parte mais baixa da planície. Considerada um provável astroblema. (Riccomini, 1992) Fragilidade alta.	3.0
Fenda do Capivari	Fenda por onde o Rio Capivari verte para a Baixada Santista. Declividade superior a 60%. Desnível acentuado, com formação de cachoeiras. Fragilidade alta.	3.0
Morrotes	Declividade predominante entre 12-30%. Densidade de drenagem média (4,83 km/km ²). Fragilidade média.	1.5
Morros	Declividade superior a 47%. Densidade de drenagem média (5,70 km/km ²) e grande concentração de nascentes. Fragilidade alta.	2.5

APA DO CAPIVARI–MONOS
MAPA HIPSOMÉTRICO

LOCALIZAÇÃO DA APA

CLASSES HIPSOMÉTRICAS

- 850–900
- 800–850
- 750–800
- 700–750
- 650–700
- 600–650
- 0–600

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Represas
- Hidrografia Principal

USP Universidade de São Paulo
BRASIL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM RECURSOS MINERAIS E HIDROGEOLOGIA

ALUNO: LUIZ ROBERTO DE CAMPOS JACINTHO

ORIENTADOR: PROF. DR. TEODORO I. R. DE ALMEIDA

2.0 0 2.0 4.0 6.0 8.0 km
Escala 1:100000
PROJEÇÃO UTM
DATUM HORIZ. CÓRREGO ALEGRE

APA DO CAPIVARI-MONOS
MAPA DE DECLIVIDADE

LOCALIZAÇÃO DA APA

CLASSES DE DECLIVIDADE

- >47%
- 30–47%
- 12–30%
- 5–12%
- 0–5%

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Represas
- Hidrografia Principal

USP Universidade de São Paulo
BRASIL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM RECURSOS MINERAIS E HIDROGEOLOGIA

ALUNO: LUIZ ROBERTO DE CAMPOS JACINTHO

ORIENTADOR: PROF. DR. TEODORO I. R. DE ALMEIDA

APA DO CAPIVARI-MONOS
IMAGEM SOMBREADA DO RELEVO

LOCALIZAÇÃO DA APA

PARÂMETROS UTILIZADOS

Exagero de relevo: 3X

Azimute: 45°

Ângulo de Elevação: 45°

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Represas
- Hidrografia Principal

APA DO CAPIVARI—MONOS
MAPA GEOMORFOLÓGICO

LOCALIZAÇÃO DA APA

UNIDADES MORFOLÓGICAS

- Colinas
- Planícies Aluviais
- Morrotes
- Morros
- Fenda do Capivari
- Cratera do Colônia

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Represas
- Hidrografia Principal

6.1.2 Fator Geotecnia

Conforme descrito anteriormente, os compartimentos geotécnicos foram digitalizados e importados para o SPRING, para produção do mapa geotécnico da APA (figura 6.6). Esses compartimentos representam áreas com comportamento geotécnico homogêneo, cuja denominação resulta da litologia predominante (PMSP, 1992).

No quadro 6.3 apresenta-se uma caracterização desses compartimentos, bem como a ponderação da sua fragilidade, avaliada com base no seu comportamento geotécnico.

Quadro 6.3- Características dos compartimentos do Mapa Geotécnico (figura 6.5) (IPT, 1990 e PMSP, 1992).

Compartimentos Geotécnicos	Características	Peso
Sedimentos Terciários	Referem-se aos sedimentos terciários da Bacia de São Paulo. São constituídos predominantemente por argilitos, siltitos, arenitos e conglomerados. Capeando estes sedimentos ocorre uma camada relativamente espessa de argila porosa. O solo superficial apresenta textura argilosa e é bem laterizado, já o horizonte mais profundo tem predomínio de textura argilosa, com intercalações arenosas, onde podem ocorrer lençóis d'água suspensos. Fragilidade baixa.	1,5
Maciços de Solo e Rocha Gnáissicos	Apresentam solo superficial com textura argilosa a argilo-arenosa com espessura variável entre 1 e 2m. O solo de alteração apresenta textura siltosa a silto-arenosa, com espessura de até dezenas de metros. A partir de 25% de declividade a erosão e a instabilidade podem ser facilitadas pela estrutura do solo de alteração. Fragilidade média.	2,0
Maciços Mistos	Apresentam solo superficial de textura argilosa a argilo-siltosa com espessura entre 1 e 1,5 m. O solo de alteração tem espessura de dezenas de metros e textura silto-arenosa a arenosa, sendo proveniente em sua grande maioria de rochas migmatíticas. Os problemas geotécnicos estão relacionados a suscetibilidade à erosão, que pode evoluir para ravinas profundas, em decorrência da xistosidade, nas declividades superiores a 25%. Fragilidade alta.	3,0
Depósitos Aluviais	Solos arenosos e argilosos, com baixa capacidade de suporte e lençol freático superficial. Fragilidade alta.	3,0

APA DO CAPIVARI–MONOS
MAPA GEOTÉCNICO

LOCALIZAÇÃO DA APA

CLASSES GEOTÉCNICAS

- Maciços Mistos
- Maciços Gnáissicos
- Sedimentos Terciários
- Depósitos Aluviais

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Represas
- Hidrografia Principal

Fonte: Modificado de IPT, 1990 e PMSP, 1992

USP Universidade de São Paulo
BRASIL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM RECURSOS MINERAIS E HIDROGEOLOGIA

ALUNO: LUIZ ROBERTO DE CAMPOS JACINTHO

ORIENTADOR: PROF. DR. TEODORO I. R. DE ALMEIDA

É notável a já citada ausência de correlação entre a geologia e os compartimentos do relevo. No sul da APA encontram-se colinas, de uma forma geral associadas aos campos naturais. Como constatado tanto em fotografias aéreas de baixa altitude como em campo, caminhando-se paralelamente à direção dos contatos passa-se com o fim dos campos a morrotes e a morros. Associando-se esta observação com a quase ausência de solo nas encostas das colinas daqueles campos e a extrema pobreza da cobertura vegetal (gramíneas ralas, deixando o solo muito exposto), considera-se que esta região mereça um estudo geotécnico de mais detalhe.

6.1.3 Análise do Mapa Síntese

O Mapa síntese resultante do cruzamento das informações sobre o meio físico (figura 6.8), representa uma comparação entre as sub-bacias, em termos da sua fragilidade potencial frente a eventuais intervenções humanas.

Os fatores relacionados ao relevo condicionaram a variação dos pesos finais, pois a geotecnia se apresenta bastante uniforme na região da APA.

As duas sub-bacias classificadas como de fragilidade muito alta são a da Cratera e a da Cachoeira do Capivari, que apresentam, portanto, severas restrições a quaisquer tipos de usos intensivos (rural ou urbano).

Situação interessante se revelou com relação à bacia do Rio Capivari. Nela, as sub-bacias localizadas a montante da estação elevatória, onde este rio muda radicalmente seu curso, foram classificadas como de fragilidade baixa. Já as sub-bacias localizadas a jusante desse ponto foram classificadas como de fragilidade alta.

Vale frisar que essa descontinuidade no padrão de relevo e a mudança brusca no curso do Rio Capivari podem estar associadas a movimentações tectônicas recentes, o que realça a importância da área, onde estudos voltados para a aplicação de análises morfométricas em neotectônica, como o realizado por Hiruma & Riccomini (1999), são indicados.

Para a bacia do Guarapiranga, as sub-bacias foram classificadas como de fragilidade média (Alto Embu Guaçu) ou baixa, (as demais), com exceção para a sub-bacia do Cipó, classificada como de fragilidade muito alta⁴. Com relação à área de drenagem do Rio Embu Guaçu, embora o relevo em geral seja bastante suave, ocorre

⁴ Trata-se na verdade de uma região de nascentes, incluída nos limites da APA por fazer parte da estrutura do Colônia.

uma ampla planície aluvial, de grande importância para a manutenção do regime hidrológico e da qualidade da água que aflui para o reservatório Guarapiranga.

As sub-bacias classificadas como de fragilidade muito baixa se encontram na região de drenagem do braço Taquacetuba, da Represa Billings, onde ocorre captação de água pela SABESP. Embora de fato apresentem condições de relevo e geotecnia mais favoráveis à ocupação, estas sub-bacias merecem atenção especial, dada a proximidade com o corpo d'água.

Os resultados aqui obtidos apresentam boa consistência, se comparados com a carta de aptidão física ao assentamento urbano (IPT, 1990).

Entretanto, um levantamento pedológico detalhado se mostra essencial para o aprofundamento da análise pois, como o mapeamento geotécnico aqui utilizado foi elaborado com vistas à classificação das terras em termos da sua aptidão física ao assentamento urbano, pode ter havido uma generalização e solos com comportamento diferenciado frente à erosão podem ter sido agrupados numa mesma classe geotécnica.

Evidências a esse respeito surgiram em trabalhos de campo realizados na região da sub-bacia da cabeceira do Capivari, onde o solo não apenas é, por vezes, muito arenoso e suscetível à erosão (figura 6.7), como extremamente raso, indicando a existência de um ativo processo erosivo, especialmente em situação de meia encosta onde, nos campos naturais, quase inexistente cobertura vegetal (Rodrigues, 2002).

Figura 6.7- Solo muito arenoso e suscetível à erosão, na região de campos naturais.

APA DO CAPIVARI-MONOS
MAPA DE FRAGILIDADE

LOCALIZAÇÃO DA APA

Fragilidade do Meio Físico

- Muito Alta
- Alta
- Média
- Baixa
- Muito Baixa

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

- Represas
- Hidrografia

obs.: B1, B2...=Código de Identificação da Sub-bacia

6.2 Desmatamento

Com a aplicação da técnica de detecção de mudanças, em imagens orbitais, foi avaliado o desmatamento na região da APA, para o período entre 1991 e 2002.

Constatou-se a perda de 388 Ha de cobertura vegetal, sendo que esse desmatamento ocorreu principalmente na borda norte da APA (figura 6.9), como decorrência da expansão urbana.

As perdas foram mais significativas na bacia hidrográfica da Billings (quadro 6.4), onde se concentra a maior parcela da ocupação urbana da APA. Nesse caso, o desmatamento está associado à expansão e adensamento dos bairros de Vargem Grande (na Cratera) e da Barragem (nas sub-bacias do Taquacetuba e Guarani).

Quadro 6.4- Área desmatada no período 1991-2000, por bacia hidrográfica.

Bacia Hidrográfica	Desmatamento (Ha) 1991-2000
Billings	163,00
Capivari-Monos	122,00
Guarapiranga	103,00

6.3 Uso do Solo e Cobertura Vegetal

O resultado da classificação digital das imagens Landsat 7, após as devidas correções e edições foi o mapa temático de uso do solo e cobertura vegetal (figura 6.10).

A descrição das classes definidas para a legenda desse mapa aparece no quadro 6.5, que apresenta também o resultado da quantificação da área total por tipo de uso/cobertura.

Da análise desses resultados pode-se constatar que:

- Mais de 50% da área de proteção ambiental se encontra ainda com cobertura natural, composta em sua maioria por extensos fragmentos florestais (Floresta Ombrófila Densa Montana- figura 6.11 e Alto-Montana- figura 6.12).
- Existem amplas extensões de campos de várzea, associados às planícies aluviais dos rios principais, com destaque para a Várzea do

Rio Embu Guaçu (figura 6.13) e do Ribeirão Vermelho da Cratera (figura 6.14), esta última sob grave ameaça, em virtude da pressão pela ocupação urbana.

- A ocupação urbana é também significativa e se concentra nas proximidades do Reservatório Billings (bairros Vargem Grande- figura 6.15 e Barragem).
- Parcela significativa do território encontra-se ocupada por campos antrópicos, em especial na bacia hidrográfica da Guarapiranga (figura 6.16).
- Os campos naturais (figuras 6.17 e 6.18) ocupam área significativa (mais de 1.000 ha), e se constituem em importante elemento da composição da paisagem da APA, ocorrendo em associação com a floresta ombrófila densa alto-montana (mata nebulosa), concentrando-se na sub-bacia Cabeceira do Capivari.

Quadro 6.5 - Classes de uso do solo e cobertura vegetal, do mapa produzido através do processamento digital das imagens Landsat 7 (2000).

Classe	Descrição	Área Total (Ha)
Água	Lagos e represas.	359,37
Campo Antrópico	Agricultura, pastagem e outras áreas cobertas por gramíneas.	1.106,82
Campo Natural	Campos de gramíneas, de origem possivelmente natural, existentes na área do Parque Estadual da Serra do Mar (PESM) - Núcleo Curucutu.	1.849,86
Campo de Várzea	Campos existentes nas planícies aluviais.	1.188,81
Chácara	Regiões com uso e cobertura diversificado: construções e pequenas áreas cultivadas e pequenos maciços florestais.	937,53
Mata	Floresta Ombrófila Densa Montana, nos diversos estágios sucessionais.	13.962,51
Mata Nebular	Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana, existente na área do PESM - Curucutu.	1.339,38
Mineração	Áreas de extração de areia e brita.	38,34
Reflorestamento	Regiões cobertas por floresta homogêneas, compostas especialmente por <i>Pinus spp.</i>	378,27
Urbano	Loteamentos densos, com construções de baixo padrão.	4.023,72

APA DO CAPIVARI-MONOS
DESMATAMENTO NO PERÍODO 1991-2000

LOCALIZAÇÃO DA APA

- Áreas Desmatadas
- CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS
- Represas
- Hidrografia Principal

APA DO CAPIVARI–MONOS
MAPA DE USO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL

LOCALIZAÇÃO DA APA

CLASSES DE USO/COBERTURA

- Mata Nebular
- Campo Natural
- Mineração
- Chácara
- Mata
- Reflorestamento
- Campo de Várzea
- Campo Antrópico
- Urbano
- Água

Figura 6.11- Floresta ombrófila densa montana, na sub-bacia Evangelista de Souza.
Foto: Maria Lúcia Bellenzani.

Figura 6.12- Floresta ombrófila densa alto-montana (Mata Nebular), na sub-bacia Getúlio.

Figura 6.13- Campo de várzea associado a planície aluvial do rio Embu Guaçu. Foto: Maria Lúcia Bellenzani.

Figura 6.14- Campo de várzea na região da Cratera do Colônia. Foto: Teodoro I.R. de Almeida

Figura 6.15- Ocupação urbana (Loteamento Vargem Grande), na região da Cratera do Colônia.

Figura 6.16- Ocupação rural na sub-bacia do Gramado. Foto: Maria Lúcia Bellenzani.

Figura 6.17- Campos naturais associados à mata nebular, na sub-bacia Cabeceira do Capivari.

Figura 6.18- Detalhe dos campos naturais e da mata nebular. Foto: Teodoro I.R. de Almeida.

6.4 Quadro Diagnóstico

Os resultados obtidos estão agrupados num quadro síntese (quadro 6.6), produzido para integrar as informações sobre o meio físico e sobre uso e ocupação do solo, como subsídio para elaboração de um diagnóstico da situação das sub-bacias que compõem a APA do Capivari-Monos.

No quadro estão lançados, para cada sub-bacia, os atributos de área, perímetro, densidade de drenagem, fragilidade do meio físico, grau de proteção (indicado pela proporção da área da sub-bacia com cobertura natural), grau de antropização, (indicado pela proporção de território com ocupação urbana e rural) e desmatamento (área total desmatada na sub-bacia).

A análise do quadro permite uma avaliação da situação das sub-bacias, através da comparação entre os atributos fragilidade, cobertura natural, ocupação rural e urbana, e desmatamento. Assim, pode-se identificar as regiões mais comprometidas, sujeitas aos impactos negativos da ocupação urbana; as que estão sob ocupação rural, onde a gestão deve orientar a atividade agro-silvo-pastoril para que ela seja minimamente impactante, bem como as que ainda possuem alto grau de preservação.

As sub-bacias que têm maior proporção do território com ocupação urbana são: Guarani, Taquacetuba e Cratera, na bacia da Billings e Alto Monos, na bacia do Capivari-Monos. A sub-bacia da Cratera classificada como de alta fragilidade com relação ao meio físico, é certamente a que suscita maior preocupação, pois mais de 22% do seu território está ocupado.

Essas mesmas sub-bacias estão entre as que apresentaram maiores índices de desmatamento para o período 1991-2000, o que revela que o processo de expansão urbana permanece em andamento. Também nesse caso destaca-se a sub-bacia da Cratera, onde ocorreu a maior perda de cobertura vegetal.

O comprometimento da qualidade das águas que drenam essas sub-bacias está confirmado pelo monitoramento realizado pela SABESP, que indica altos índices de coliformes fecais nos pontos de amostragem ali localizados. A reversão do quadro atual exige medidas emergenciais voltadas à recuperação ambiental, que contemplem pelo menos a fiscalização, a remoção das habitações localizadas em área de risco e a implantação de unidades de conservação de proteção integral, principalmente no caso da Cratera.

As sub-bacias do Médio e Baixo Embu Guaçu, do Gramado, e do Ribeirão Vermelho, todas na bacia do Guarapiranga e classificadas como de baixa fragilidade do meio físico, se caracterizam pelo alto índice de ocupação rural. Nelas se concentra boa parte da atividade agrícola existente na APA, e os esforços para sua manutenção devem ser apoiados.

Um plano de manejo de solos por sub-bacias, pautado na difusão e implementação de práticas conservacionistas, bem como na recuperação de matas ciliares é a iniciativa adequada para o caso dessas sub-bacias.

Para as sub-bacias onde a cobertura natural ainda predomina, em especial as localizadas na bacia do Capivari-Monos: Pombos, Médio Capivari, Getúlio, Evangelista de Souza e Campos; classificadas como de fragilidade alta, sugere-se que a proteção seja orientada pelo uso sustentado dos recursos florestais, pela atividade de ecoturismo e pesquisas sobre biodiversidade.

Um caso muito peculiar é o dos campos naturais, situados em região de topografia suave (colinas). Embora não existam evidências de ação antrópica recente, estas áreas estão sofrendo intenso processo erosivo, com provável evolução do relevo de colinas para morrotes. A causa, ainda não esclarecida, possivelmente deva-se a movimentos tectônicos recentes.

Quadro 6.6- Síntese dos resultados obtidos.

	CÓDIGO	SUB-BACIA	AREA (Ha)	PERÍMETRO (M)	DENSIDADE DE DRENAGEM (Km/Km ²)	FRAGILIDADE DO MEIO FÍSICO	COBERTURA NATURAL(%)	OCUPAÇÃO URBANA (%)	OCUPAÇÃO RURAL (%)	DESMATAMENTO 1991-2000 (Ha)
CAPIVARI-MONOS	M1	Alto Monos	1087,82	16115,42	5,01	BAIXA	75,89	11,58	11,58	38,52
	M2	Baixo Monos	1242,27	26548,20	5,70	MÉDIA	88,14	0,01	11,81	5,31
	C1	Cabeceira do Capivari	1280,63	19613,49	5,79	BAIXA	96,26	0,27	3,39	5,31
	C2	Represa do Capivari	674,43	13901,10	4,44	BAIXA	68,69	1,97	27,98	33,21
	C3	Embura	1170,31	19029,05	4,20	BAIXA	53,60	6,07	40,26	10,17
	C4	Pombos	2622,81	26083,70	4,99	ALTA	78,60	2,17	19,23	23,22
	C5	Médio Capivari	1164,48	26795,62	5,64	ALTA	96,84	0,00	3,08	0
	C6	Dúvida	651,97	26305,28	5,26	MÉDIA	90,81	1,02	8,17	6,48
	C7	Getúlio	1246,70	19457,28	6,60	ALTA	99,47	0,00	0,49	0
	C8	Evangelista de Souza	1195,15	20426,91	5,54	ALTA	89,22	1,33	9,45	0
BILLINGS	C9	Campos	1043,69	19118,79	7,22	ALTA	96,11	0,00	3,85	0
	C10	Cachoeira do Capivari	1926,23	29850,31	4,68	MUITO ALTA	98,35	0,00	1,44	0
	B1	Guarani	986,24	15369,84	2,18	MUITO BAIXA	42,73	11,89	25,77	15,03
	B2	Taquacetuba	1281,23	18664,69	2,84	MUITO BAIXA	56,83	15,84	17,38	32,58
GUARAPIRANGA	B3	Cratera	1767,46	19588,09	2,74	MUITO ALTA	70,23	22,29	5,94	115,38
	B4	Krucutu	439,87	12097,83	3,69	BAIXA	77,82	3,19	18,77	0
	G1	Alto Embu-Guaçu	1252,16	24340,59	5,49	MÉDIA	85,26	0,03	14,39	10,26
	G2	Médio Embu-Guaçu	1688,01	26263,27	3,67	BAIXA	62,22	1,90	34,19	24,21
	G3	Baixo Embu-Guaçu	631,73	14452,38	2,95	BAIXA	62,77	4,22	32,74	12,42
	G4	Gramado	680,48	11773,94	2,50	BAIXA	62,23	1,23	34,82	36,45
	G5	Vermelho	958,00	17375,68	5,00	BAIXA	50,23	0,98	47,88	19,17
	G6	Cipó	144,03	19329,49	4,03	MUITO ALTA	74,73	4,83	20,44	0,99

7. Conclusões

O atual estágio de desenvolvimento tecnológico, que torna as ferramentas de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica mais baratas e acessíveis, se constitui num fato relevante que deve ser considerado em quaisquer programas de gestão ambiental.

No caso da APA do Capivari-Monos, a aplicação dessas ferramentas permitiu a produção de um importante banco de dados geográficos, passível de contínua atualização e que já vem sendo utilizado no cotidiano da gestão da área, tanto como subsídio para o debate técnico, como para difusão da informação e conscientização dos atores envolvidos com o processo.

A utilização dos produtos da modelagem numérica de terreno para a produção do mapa geomorfológico se mostrou bastante eficiente, facilitando a interpretação dos mapas e a identificação das unidades morfológicas. A análise desses produtos possibilitou também a observação de que a mudança do curso do rio Capivari está associada a uma descontinuidade no padrão de relevo, o que aponta para a necessidade de estudos em neotectônica.

Algumas considerações devem ser colocadas com relação à metodologia empregada na integração dos dados do meio físico:

- A utilização de operadores zonais em álgebra de mapas facilitou a integração dos dados e a análise por sub-bacias hidrográficas.
- O fator geomorfologia preponderou sobre o fator geotecnia, na definição da fragilidade das sub-bacias, pois as classes geotécnicas mapeadas são bastante uniformes para a APA do Capivari-Monos.
- Um levantamento pedológico faz-se necessário para o aprofundamento da análise da fragilidade do meio físico.

O método de detecção de mudanças utilizado se mostrou bastante simples e eficiente na quantificação do desmatamento, entretanto, vale ressaltar que se trata de uma primeira aproximação que demanda uma averiguação mais detalhada através de fotos aéreas e vistorias de campo.

A elaboração do mapa temático de uso do solo, através da classificação digital de imagens de satélite demandou uma série de edições e averiguações de campo, mas com consistente resultado final.

A sub-bacia da Cratera é a que se destaca negativamente na análise dos resultados pois, apresenta fragilidade muito alta e nela estão as maiores extensões de ocupação urbana, bem com os maiores índices de desmatamento para o período estudado.

Os dados mostram ainda que a ocupação urbana se concentra nas proximidades da represa Billings, chamando a atenção para a questão do comprometimento da qualidade desse manancial.

A ocupação rural, por sua vez, é mais significativa nas sub-bacias do ribeirão Vermelho, Gramado e nos trechos médio e baixo do Embu Guaçu, com destaque para o ribeirão Vermelho, que apresenta 47 % de seu território sob este tipo de ocupação.

No geral, a APA do Capivari-Monos representa o pouco que resta de paisagem natural na capital paulista, que sempre aparece cinzenta nas fotografias e reportagens. A preservação do patrimônio natural ali existente demanda a implementação de políticas que revertam o quadro de expulsão da população para as periferias, o que não pode ser resolvido exclusivamente no âmbito do conselho gestor.

Porém o espaço democrático, conquistado com a criação do conselho, é um grande passo inicial para a construção de uma gestão efetivamente participativa.

8. Referências Bibliográficas

- Barbosa, C.C.F.; Câmara, G.; Medeiros, J.S.; Crepani, E.; Novo, E.M.L.M.; Cordeiro, J.P.C.** 1998. "Operadores Zonais em Álgebra de Mapas e Sua Aplicação a Zoneamento Ecológico-Econômico". In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Bahia. Anais, INPE, 1998 (em CD-ROM).
- Barret, E.C. & Curtis, L.F.** 1992. Introduction to environmental remote sensing. Chapman & Hall. 3^a Ed. London, UK. 426p.
- Bellenzani, M.L.R.** 2000. A APA municipal do Capivari-Monos como uma estratégia de proteção aos mananciais da Região Metropolitana de São Paulo. [Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo]
- Bezerra, M.C.L.** 1996. Planejamento e gestão ambiental: Uma abordagem do ponto de vista dos instrumentos econômicos. São Paulo. [Tese de Doutorado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo- USP.
- Bocco, G.; Mendoza, M. e Velazquez, A.** 2001. Remote sensing and GIS-based regional geomorphological mapping—a tool for land use planning in developing countries.
- Bonham-Carter, G.F.** 1996. Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS. Ottawa, Pergamon, 398 p.
- Brondizio, E.; Moran, E.; Mausel, P.; Wu, Y.** 1996. Land cover in the Amazon estuary: linking of the thematic mapper with botanical and historical data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 62, No. 8, pp. 921-929.
- Butler, D.R; Walsh, S.J.** 1998. The application of remote sensing and geographic information systems in the study of geomorphology: An introduction. *Geomorphology* 21:179-181.
- Câmara, G.** 1995. Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos. Tese de Doutorado em Computação Aplicada. São José dos Campos, INPE. www.dpi.inpe.br/teses/gilberto
- Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A.M.; D'Alge, J.C.** 2001. Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos, INPE. (2^a edição revista e ampliada) <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>
- Capobianco, J.P.R (org.).** 2002. Billings 2000: ameaças e perspectivas para o maior reservatório de água da região metropolitana de São Paulo: relatório do

- diagnóstico socioambiental participativo da bacia hidrográfica da Billins no período 1988-1999. São Paulo: Instituto Socioambiental.
- CBH-AT- Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê.** 2002. Plano da bacia do Alto Tietê. Porto, M., Palermo M.A. (Coords.). São Paulo- SP. 281 p.
- Chamard, P.C.; Courel M.F.; Ducousso M.; Guenegou M.C.; Le Rhun, J.; Levasseur, J.E.; Togola, M.** 1993. Utilisation des bandes spectrales du vert et du rouge pour une meilleure évaluation des formations végétales actives. Télédétection appliquée à la cartographie thématique et topographique. Éditions Aupelf-Uref, Les Presses de l'Université du Québec: 203-9.
- Chao, R.G.C.** 1998. Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicados ao estudo da dinâmica urbana da província Ciudad de La Habana e na avaliação de ameaças de escorregamentos no município de Habana del Leste, Cuba. [Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências -USP].
- Chavez Jr., P.S.; Sides, S.C.; Anderson, J.A.** 1991. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT Panchromatic. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 57, No. 3, pp. 295-303.
- CNUMAD- Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.** 1988. Nosso futuro comum. Rio de Janeiro: FGV. 430 p.
- Collins, B.J.; Woodcock, C.E.** 1996. An assessment of several linear change detection techniques for mapping forest mortality using multitemporal Landsat TM data. *Remote Sens. Environ*, 56:66-77.
- Conselho Nacional de Meio Ambiente.** Resolução nº_001, de 31 de Janeiro de 1994:define vegetação primária e secundária nos estágios pioneiro, inicial, médio e avançado de regeneração de Mata Atlântica.
- Crepani, E.; Medeiros, J. S. de.; Azevedo, L. G.; Hernandez, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V; Azevedo, L.G.** 1998. Uso de sensoriamento remoto no zoneamento ecológico-econômico. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Bahia. Anais, INPE, 1998 (em CD-ROM).
- Crosta, A.P.** 1992. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. 3ª ed. Campinas, SP:IG/UNICAMP.
- Curran, P.J.** 1989. Remote Sensing of Foliar Chemistry. *Remote Sens. Environment*, 30 : 271-278.
- Da Costa, S.M.F.; Cintra, J.P.** 1999. Environmental analysis of metropolitan areas in Brazil. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 54:41-49.

- De Biasi, M.** 1992. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. *Revista do Departamento de Geografia - FFLCH-USP*, N.6. pp. 45-60.
- Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM).** 2003. Radam e Radambrasil. On line: www.dnpm.gov.br/mosaicos/JrArte/fontede.htm.
- Drury, S.A.** 1993. Image interpretation in Geology. Chapman & Hall. 2^a Ed. London, England. 283p.
- Foody, G.M.; Hill, R.A.** 1996. Classification of tropical forest classes from Landsat TM data. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 17, No. 12, pp. 2353-2367.
- Foresti, C.** 1986. Avaliação e monitoramento ambiental da expansão urbana do setor Oeste da área metropolitana de São Paulo: análise através de dados e técnicas de sensoriamento remoto. [Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas -USP].
- Garcia, M.C.; Alvarez, R.** 1994. TM digital processing of a tropical forest region in southeastern Mexico. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 15, No. 8, pp. 1611-1632.
- Garguet-Duport, B.** 1997. WaveMerg: a multiresolution software for merging SPOT panchromatic and SPOT multispectral data. *Environmental Modelling & Software*, Vol. 12, No 1, pp. 85-92.
- Gitelson, A., and Merzlyak, M.** 1997. Remote estimation of chlorophyll content in higher plant Leaves. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 18, No 12, 291-298.
- Guyot, G.** 1988. La réflectance des couverts végétaux. *Photo-Interprétation*, 3:157-180.
- Hasui, Y.; Sadowsky, G.R.** 1976. Evolução Geológica do Pré-Cambriano na região sudeste do estado de São Paulo. *Rev. Bras. Geoc.* Vol. 6, N° 3, pp. 180-200.
- Haydn, R.; Dalke, G.H.; Henkel, J.; Bare, J.E.** 1982. Aplications of the IHS colour transform to the processing of multisensor data and image enhacement. In : *Proceedings of the International Symposium on Remote Sensing of Arid and Semi-arid Lands*, Cairo, Egypt, 1982, pp. 599-616.
- Hayes, J.; Sader, S.A.** 2001. Comparison of change-detection techniques for monitoring tropical forest clearing and vegetation regrowth in a time series. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 67, N° 9, pp. 1067-1075.
- Hiruma, S.T.; Riccomini, C.** 1999. Análise morfométrica em neotectônica: o exemplo do planalto de Campos de Jordão, SP. *Revista do instituto Geológico*. 20 (1/2): 5-19.
- Horler, D.H.N.; Dockray, M. & Barber, J.** 1983. The red edge of plant reflectance. *Int. J. Remote Sensing*, Vol.4, No. 2: 273-288.

- Huete, A.R.** 1988. A Soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Environ*, 25: 295-309.
- Hutchinson, C.F.** 1982. Techniques for combining Landsat and ancillary data for digital classification improvement. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 48, No. 1, pp. 123-130.
- IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.** 2001. Roteiro metodológico para gestão de área de proteção ambiental. Brasília. Edições IBAMA. 232 p.
- IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.** 2003. Informações gerais sobre as Unidades de Conservação. On line: www.ibama.gov.br
- INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.** 1999. PRODES (Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia). On line: www.inpe.br.
- IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas.** 1981. Mapa Geológico do Estado de São Paulo Escala 1:500.000. 126p.
- IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas/ Secretaria de Estado de Habitação e Desenvolvimento Urbano.** 1990. Carta de Aptidão Física ao Assentamento Urbano, 1:50.000.
- Jorge, L.A.B.; Garcia, G.J.** 1997. A study of fragmentation in Southeastern Brazil using remote sensing and geographic information system (GIS). *Forest Ecology and Management*, 98:35-47.
- Kronka, J.N. (org.).** 1998. Áreas de domínio de cerrado no Estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente. 84p.
- Lillesand, T.M.; Kieffer, R.W.** 1994. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons. 3^a Ed. New York, EUA. 750p.
- Liu, J.G.** 2000. Smoothing Filter-based Intensity Modulation: a spectral preserve image fusion technique for improving spatial details. . *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 21, No. 18, pp. 3461-3472.
- Lyon, J.S.; McCarthy, J.** 1995. Wetland and environmental applications of GIS. Eds. John G. Lyon and Jack McCarthy. Boca Raton: CRC Press, Inc., 1995. 3-4. 368 p.
- Mattos, C.O.** 1996. Contribuição ao planejamento e gestão da área de proteção ambiental de Sousas e Joaquim Egidio, Campinas-SP. [Dissertação de Mestrado. Instituto de Biociências -USP].

- Mausel, P.; Wu, Y.; Li, Y.; Moran, E.F. & Brondizio, E.S.** 1993. Spectral identification of succecional stages following deforestation in the Amazon. Geocarto International, (4):61-71.
- Medeiros, J. S.** 1999. Bancos de dados geográficos e redes neurais artificiais: tecnologias de apoio à gestão do território. [Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas-USP].
- Miguel-Ayanz, J.S.; Biging, G.S.** 1997. Comparison of single-stage and multi-stage classification approaches for cover type mapping with TM and SPOT data. *Remote Sens. Environ*, 59:92-104.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente.** 2001. Programa Zoneamento Ecológico Econômico: diretrizes metodológicas para o zoneamento ecológico-econômico do Brasil. Brasília: MMA/SDS. 110 p.
- Moraes, J.F.L.; Seyler, F.; Cerri, C.C.; Volkoff, B.** 1998. Land cover and carbon pools estimates in Rondonia, Brazil. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 19, No. 5, pp. 921-934.
- Moran, E.; Packer; Brondizio, E.; Tucker J.** 1996. Restoration of vegetation cover in the eastern Amazon. *Ecological Economics*, 18:41-54.
- Niero, M.; Lombardo, M.A. e Foresti, C.** 1982. The use of LANDSAT data to monitor the urban growth of São Paulo metropolitan area. São José dos Campos, INPE. (INPE-2430-PRE/134).
- Novo, E.M.L.M.** 1992. Sensoriamento remoto. Princípios e aplicações. Ed. Edgard Blücher Ltda. 2ª Ed. São Paulo, Brasil. 308p.
- Pearson R.L. & Miller, L.D.** 1972. Remote mapping of standing crop biomass for estimation the productivity of the short-grass prairie, Pawnee National Grasslands, Colorado, Proc. 8th Int. Symp. on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor. 1357-1381.
- Pereira, J.L.G.** 1996. Estudos de áreas de florestas em regeneração através de imagens Landsat TM. [Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais]. 136p.
- PMSP- Prefeitura do Município de São Paulo/Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente.** 1998. Área de Proteção Ambiental Municipal do Capivari-Monos: Caracterização Sócio-ambiental (relatório preliminar).
- PMSP- Prefeitura do Município de São Paulo/Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente.** 2000. Atlas Ambiental do Município de São Paulo. On line: <http://atlasambiental.prefeitura.sp.gov.br>

- Prefeitura do Município de São Paulo/Secretaria Municipal de Planejamento.** 1992. Relatório final do grupo de trabalho de detalhamento da carta geotécnica do município de São Paulo.
- Ribeiro de Almeida, J.; Moraes, F.E.; Souza, J.M.; Malheiros, T.M.** 1999. Planejamento Ambiental: caminho para a participação popular e gestão ambiental para nosso futuro comum, uma necessidade, um desafio. 2. Ed. Rio de Janeiro: Thex Ed.: Biblioteca Estácio de Sá. 180 p.
- Ribeiro de Almeida, T.I. & Fromard, F.** 2000. A proposal of digital processing of multispectral images to enhance geobotanical anomalies. 31st International geological congress. Summaries.
- Ribeiro de Almeida, T.I.** 1999. Introdução ao sensoriamento remoto aplicado: Conceitos e Fundamentos. São Paulo, Instituto de Geociências da USP. Apostila da disciplina Sensoriamento remoto e fotogeologia.
- Ribeiro de Almeida, T.I.** 2000. Diagnóstico do vigor de cana por Sensoriamento Remoto: uma abordagem sistêmica. Fenacana 2000.
- Ribeiro de Almeida, T.I.; Souza Filho, C.R.** 2000. Feature-oriented band-ratios coupled with principal components applied to tropical vegetation mapping: results using hyperspectral data in central Brazil. Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, 15. USA, 2000. Summaries.
- Riccomini, C., Neves, F.A.P.S. & Turcq B.** 1992. Astroblema de Colônia (São Paulo, Brasil): estágio atual de conhecimento. 37^o Congr.Bras.Geologia-SBG.
- Ridd, M.K.; Liu, J.** 1998. A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment. *Remote Sens. Environ*, 63:95-100.
- Rodrigues, S.** 2002. A mata nebulosa e os campos naturais da região Sudeste de São Paulo- "Condicionamento litológico ou pedogenético?"[Monografia de trabalho de formatura- Instituto de Geociências-USP].
- Rodriguez, S.K.** 1998. Geologia urbana da Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. Anexo Mapa Geológico em escala 1:250.000.
- Ross, J. L. S.** 1992. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. *Revista do Departamento de Geografia - FFLCH-USP*, N.6. pp. 17-30.
- Ross, J. L. S.** 1994. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. *Revista do Departamento de Geografia - FFLCH-USP*, N.9. pp. 63-74.

- Sader, S.A.; Stone, T.A.; Joyce, A.T.*.** 1990. Remote sensing of tropical forests: an overview of research and applications using non-photographic sensors. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 56, No. 10, pp. 1343-1351.
- Sader, S.A.; Waide, R.B.; Lawrence, W.T.; Joyce, A.T.** 1989. Tropical forest biomass and succesional age class relationships to a vegetation index derived from Landsat TM data. *Remote Sens. Environ*, 28:143-156.
- Santos, M.** 1990. Metrpole corporativa fragmentada: O caso de So Paulo. So Paulo: Nobel: Secretaria de Estado da Cultura. 117 p.
- SO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente - SMA.** 2001. APAs - reas de Proteo Ambiental Estaduais: proteo e desenvolvimento em So Paulo. So Paulo: SMA. 68 p.
- So Paulo: Instituto Socioambiental.** 2002. Billings 2000: ameaas e perspectivas para o maior reservatrio de gua da regio metropolitana de So Paulo.
- Sellers, P.J.** 1985. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *Int. J. Remote Sensing* 6 (8): 1335-1372.
- Silva, A.C.N.** 2002. Geoprocessamento e sensoriamento remoto como apoio ao planejamento territorial do municpio de Iporanga - S.P. [Dissertao de Mestrado. Instituto de Geocincias -USP].
- Scrates, R. J.; Grostein, M.D.; Tanaka, M.M.S.** 1985. A cidade e as guas: qual a questo dos mananciais? So Paulo. FAUUSP. 296 p.
- Sohn, Y.; Moran, E.; Gurri, F.** 1999. Deforestation in North-Central Yucatan (1985-1995): secondary succession of forest and agricultural land use in Sotuta using cosine of the angle concept. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 65, No. 8, pp. 947-958.
- Song, C.; Woodcock, C. E.; Seto, K. C.; Lenney, M. P.; and Macomber, S. A.** 2001. Classification and change detection using Landsat TM Data: when and how to correct atmospheric effects? *Remote Sens. Environ*, 75:230-244.
- Spozati, A.** 2002. Mapa So Paulo (2000): Dinmica social dos anos 90. CD-ROM.
- Star, J. & Estes J.** 1990, Geographic Information Systems: An Introduction. New Jersey, Prentice Hall.
- Tarifa, J.R.; Armani, G.** 2001. Unidades climticas naturais. In: Os climas na cidade de So Paulo. Tarifa, J.R e Azevedo, T.R. orgs. So Paulo: FFLCH-USP. 199p.

- Teillet, P.M.; Staenz, K.; Willians, D.J.** 1997. Effects of spectral, spatial and radiometric characteristics on remote sensing vegetation indices of forested regions. *Remote Sens. Environ*, 61:139-149.
- Thomas, J.R.; Nankem, L.N.; Oerther, G.F. & Brown, R.G.** 1971. Estimating leaf water content by reflectance measurements. *Agronomy Journal*, V. 63 pp. 845-847.
- Tricart, J.** 1977. Ecodinâmica. Rio de Janeiro. IBGE-SUPREN.
- Tucker, C.J.** 1977. Use of near infrared/red radiance for estimating vegetation biomass and physiological status. Proc, 11th Int. Symp. of Rem. Sensing of Environ., v.I, p. 493-494.
- Ulbricht, K.A.; Heckendorff W.D.** 1998. Satellite images for recognition of landscape and landuse changes. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 53:235–243.
- UN- United Nations.** 2000. Report of the Committee on the Peaceful Uses of outer Space. General Assembly Official Records. Fifty-fifth Session Supplement No. 20 (A/55/20).
- UNEP- United Nations Environmental Programme.** 1992. Agenda 21. “On line”: www.unep.org.
- UNEP- United Nations Environmental Programme.** 2002. Report of the World Summit on Sustainable Development, Johannesburg, South Africa, 26 August-4 September 2002. On line: www.unep.org.
- Walsh, S.J.; Butler,D.R.; Malanson,G.P.** 1998. An overview of scale, pattern, process relationships in geomorphology: a remote sensing and GIS perspective. *Geomorphology* 21:183-205.
- Watson, N.; Wilcok,D.** 2001. Preclassification as an aid to the improvement of thematic and spatial accuracy in land cover maps derived from satellite imagery. *Remote Sens. Environ*, 75:267-278.
- Zheng, L.; Tong, Q.; Zhang, B.; Li, X. and Liu, J.** 2001. Urban sensing by hyperspectral data. 22nd Asian Conference on Remote Sensing.