

## Sensoriamento remoto e SIG na análise da viabilidade de recuperação de áreas de preservação permanente irregulares em São Sebastião – SP

Fábio Luciano Pincinato<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista - UNESP  
Caixa Postal 199 - 13506-900 - Rio Claro - SP, Brasil  
fpincinato@yahoo.com.br

**Abstract.** Permanent preservation areas protect elements with essential functions in systems, mainly in regions submitted to strong pressures from real estate development and agriculture. In light of the important role of remote sensing and GIS in the generation of information, for public officials as well as the third sector, that can contribute to the preservation of these elements, this study presents procedures and techniques used to map permanent preservation areas in the municipality of São Sebastião, on the coast of the state of São Paulo, Brazil; highlighting irregularities and the viability of the recuperation of this area. The satisfactory results presented here provide evidence of the need to use these tools in the control and recuperation of the environmental damage caused by humans.

**Palavras-chave:** permanent preservation areas, Brazilian Forest Code, Atlantic Rain Forest, áreas de preservação permanente, Código Florestal brasileiro, Mata Atlântica Pluvial.

### 1. Introdução

A Mata Atlântica, um dos biomas mais ricos e ameaçados do planeta, exerce importantes funções ambientais, ecológicas e sociais, como por exemplo, a manutenção da biodiversidade, a regulação do fluxo hídrico e de sedimentos nas bacias, a diminuição na intensidade dos processos erosivos nas encostas, o controle climático e a redução na frequência e magnitude de desastres como os deslizamentos e as inundações, que todos os anos causam grandes perdas para as populações mais expostas e vulneráveis.

Mesmo sendo essencial na proteção do solo, da água e na qualidade de vida das pessoas, foi intensamente degradada, restando hoje muito pouco de sua cobertura original. Porém, nos últimos vinte anos, houve uma crescente mobilização da sociedade civil pela preservação da Mata Atlântica (SOS Mata Atlântica et al., 1998), tendo grande importância no controle do desmatamento, ajudando na fiscalização e no cumprimento das normas estabelecidas, movendo ações e tornando públicas as irregularidades.

As organizações da sociedade civil que surgiram também tiveram como apoio à suas ações a recente evolução na legislação de proteção da Mata Atlântica, porém, as florestas do território brasileiro já eram consideradas como “bem de interesse comum a todos os habitantes do país” desde 1934 com o Decreto nº 23.793/34, o que agrega uma função social à cobertura vegetal e impõe, portanto, restrições ao seu uso independentemente de limites políticos e de propriedade.

Esse decreto foi posteriormente substituído pelo “novo” Código Florestal (Lei 4.771), sancionado em 15 de setembro de 1965, que considera as áreas, cobertas ou não por vegetação nativa; “com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico da fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas”; como áreas de preservação permanente (APPs), protegidas nos termos dos artigos 2º e 3º dessa Lei (Art. 1º, §2º, II da Lei 4.771/1965).

Apesar da enorme importância dos novos instrumentos normativos que protegem a Mata Atlântica, as APPs continuam sendo essenciais na sua proteção em áreas com forte pressão, principalmente pelo setor agrícola e imobiliário.

Nas últimas décadas, a especulação imobiliária pressionou com veemência as zonas costeiras do sudeste, onde restam os principais remanescentes contínuos de Mata Atlântica Pluvial, suprimindo muitas vezes as áreas legalmente protegidas – a maior parte delas de forma irreversível – por haver uma demanda por construções maior que locais disponíveis, ainda mais restritos no Litoral Norte de São Paulo em decorrência da proximidade das escarpas com a linha de costa.

O município de São Sebastião, com área aproximada de 400 Km<sup>2</sup> e localizado entre as latitudes 23°38' S e 23°50' S e longitudes 45°51' O e 45°73' O, foi na década passada um dos que mais perdeu área contínua florestada por especulação imobiliária nessa região (SMA, 1996). Apesar de sua cobertura vegetal vir sendo progressivamente alterada desde 1600 através dos diversos ciclos pelo qual passou, foi com a melhoria das vias de acesso – principalmente do asfaltamento da rodovia SP 55/BR 101, que faz a ligação com a Baixada Santista, em meados dos anos 80 – e conseqüente consolidação das atividades de veraneio e turismo que a urbanização desordenada desse município se intensificou (São Sebastião, 1997).

Essa alteração na estrutura da paisagem de São Sebastião nas últimas décadas expõe a fragilidade pretérita no controle da ocupação territorial e a dificuldade de aplicação do Código Florestal, principalmente pela falta de meios para detectar e evidenciar as irregularidades (Maia e Valeriano, 2001). Porém, com a evolução nas geotecnologias, o processo de aplicação da legislação ambiental e fiscalização se tornou mais eficiente e viável, como já demonstrado por diversos autores (Maia e Valeriano, 2001; Santos e Martins, 2001; Moreira et al., 2003; Catelani et al., 2003; Pissarra et al., 2003; entre outros). A incorporação de informações providas de sensores remotos orbitais aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e a poderosa capacidade de processamento, análise e manipulação que estes oferecem, tornam possível a verificação de áreas submetidas às restrições impostas pelo Código Florestal, suas irregularidades, bem como a possibilidade de recuperação que apresentam.

Tendo em vista a importante função dessas ferramentas na geração de informações tanto ao poder público como ao terceiro setor na preservação da Mata Atlântica, este trabalho tem como objetivo apresentar os procedimentos e técnicas utilizadas no mapeamento das Áreas de Preservação Permanente (APPs) do município de São Sebastião, apontando as irregularidades e sua viabilidade de recuperação.

## **2. Materiais e técnicas**

Para a execução do trabalho foi utilizado o *software* Spring 4.0, elaborado pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Três etapas básicas podem ser consideradas no desenvolvimento da proposta: a entrada de informações no sistema através do georreferenciamento em uma mesma base cartográfica, a derivação das informações pré-incorporadas em novos produtos e a síntese das informações geradas para a obtenção do produto final.

As informações utilizadas na entrada foram as imagens provenientes dos sistemas Landsat TM 5, bandas 3, 4 e 5; e do SPOT, banda pancromática – ambas captadas no ano de 1999 –, e os arquivos digitais relativos às amostras altimétricas e à rede de drenagem.

Na etapa de derivação, são tomados dois caminhos distintos: a geração do mapa de uso e cobertura da terra e o de áreas destinadas à preservação permanente.

### **2.1. Uso e Cobertura da Terra**

O mapa de uso e cobertura da terra foi gerado a partir da classificação supervisionada da imagem segmentada. As bandas 3, 4 e 5 do Landsat TM 5 passaram por um realce linear de contraste a fim de aumentar a discriminação visual dos objetos e, posteriormente, foram utilizadas no processo de segmentação.

Com o objetivo de obter uma imagem com as qualidades espectrais do Landsat TM 5 e as qualidades espaciais do SPOT, as bandas 3, 4 e 5 foram fundidas com a banda pancromática do SPOT através do processo de conversão RGB  $\Leftrightarrow$  IHS. Essa imagem foi utilizada para a interpretação e apoio na coleta de informações em campo sobre as classes de uso e cobertura da terra e associação destas – na etapa de treinamento – com as regiões proveniente do processo de segmentação da imagem Landsat TM 5, sendo distinguidos os temas: Mata Atlântica, Restinga (considerando os ecossistemas associados a essa feição), Manguezal, Campo Antrópico (vegetação herbácea), Culturas Mistas e Áreas Edificadas.

## **2.2. Áreas de Preservação Permanente**

As áreas destinadas à preservação permanente (APP) encontradas no município de São Sebastião são referentes às alíneas *a*, *c*, *d* e *f* do artigo 2º da Lei 4.711 de 1965 que instituiu o Código Florestal. O procedimento adotado na geração de cada uma delas é explicado a seguir:

### **2.2.1. Topos de morros e montes**

Para o mapeamento dos topos de morros e montes da baixada litorânea foi utilizada a ferramenta de extração de topos do Spring, implementada pelo INPE com a finalidade de auxiliar a aplicação da legislação ambiental citada.

A extração dos topos teve como entrada o PI de grade regular – gerado a partir das amostras altimétricas – e, com o auxílio da imagem Landsat TM 5 e das isolinhas – também geradas a partir das amostras altimétricas – visualizadas na tela, foram definidos os pontos máximos (topo) e mínimos (base) de cada morro e monte da planície. O sistema calcula o valor de cota correspondente a dois terços do máximo e gera uma isolinha com este valor de elevação, armazenada no plano de informação (PI) “topos” previamente criado no modelo temático. Após poligonalização dessas linhas, as áreas de topos foram classificadas com o tema “APP”.

### **2.2.2. Matas marginais aos rios**

Para a extração da faixa marginal aos rios foram utilizados a análise de distância e o fatiamento, tendo como entrada o PI de drenagem do modelo temático, onde foi selecionada a classe que continha todas as linhas relacionadas à rede de drenagem. A partir dessas linhas é gerada uma grade regular com os valores das distâncias de resolução 10 metros no eixo X e 10 metros no eixo Y. Essa grade foi fatiada no intervalo de 0 à 30 metros e identificada à classe “APP”, onde os dados de saída, com representação raster, foram armazenados em um PI do modelo temático.

Para os trechos do rio Una e Juquehy com largura de 10 a 50 metros foram selecionados os polígonos que os representavam, porém, foi utilizada uma opção diferente de análise de distância. Para gerar o mapa das áreas marginais de 50 metros a esses polígonos, o PI temático de drenagem foi fatiado e teve sua classe associada à “APP”, resultando em um PI do modelo temático com representação vetorial.

A diferença entre essas duas opções está na escolha do modelo de saída. A conversão direta para o modelo temático, além de apresentar um resultado com melhor resolução, elimina uma das etapas, relacionada ao fatiamento do PI numérico. Porém, no que se refere ao processamento dos dados, é muito mais custosa, sendo mais adequada para processar pequenas quantidades de informações (dependendo da capacidade do equipamento) ou trabalhar com escalas de maior detalhe.

### 2.2.3. Nascentes

Para o mapeamento dessas áreas também foi utilizada a análise de distâncias, porém, o PI de entrada é referente a todos os pontos – previamente editados – atribuídos à classe nascentes, que foi selecionada para gerar a grade do modelo numérico de resolução 10 por 10 metros. O fatiamento foi feito para o intervalo de 0 à 50 metros, sendo associado à classe “APP”.

### 2.2.4. Declividades superiores a 45°

Para mapear as encostas com declividades superiores a 45°, foi gerada uma grade irregular triangular (TIN) através da triangulação de *Delauney*, utilizando como entrada as amostras altimétricas. Foram inseridas as drenagens do relevo de degradação como linha de quebra, visando preservar as feições de entalhamento na modelagem da superfície do relevo. A partir desse PI foi gerada uma nova grade representando os valores de declividades, usada no fatiamento das regiões superiores a 45°, as quais foram associadas à classe “APP” do modelo temático.

### 2.2.5. Restingas e mangues

As áreas de restinga e de mangue foram copiadas do PI temático de uso e cobertura da terra e associadas à classe “APP”.

## 2.3. Síntese das informações

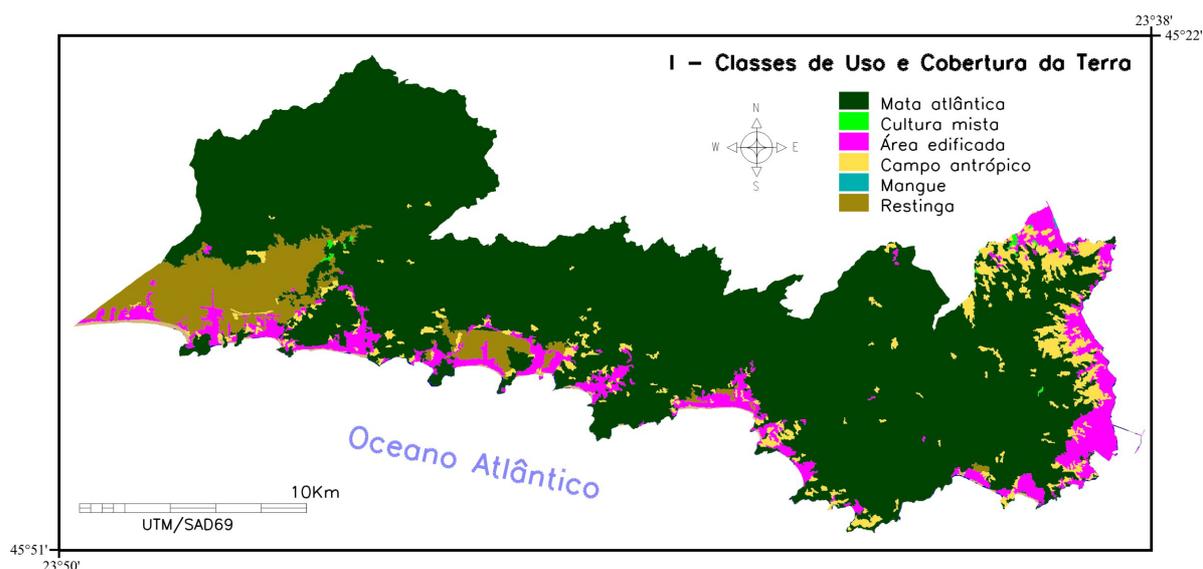
Nesta etapa, os mapas de uso e cobertura da terra e de APPs, gerados anteriormente, são combinados através da programação em LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) usando operação booleana, de forma a obter o mapa de viabilidade de recuperação de APPs irregulares.

Tomando como pressuposto o fato de que APPs irregulares sob áreas edificadas normalmente são inviáveis de serem reflorestadas, a operação utilizada consistiu em atribuir à região contida na interseção da classe “áreas edificadas” com a classe “APP”, à classe “irregular irrecuperável”; e a interseção da classe “APP” com a união das classes “cultura mista” e “campo antrópico”, à classe “irregular recuperável”, pois, independente do grau de dificuldade no reflorestamento das diferentes regiões, estas costumam ser passíveis de serem recuperadas, podendo se adequar ao Código Florestal.

De forma a complementar as informações representadas espacialmente, foram gerados relatórios através de tabulação cruzada.

## 3. Resultados

Em 1999, cerca de 318 Km<sup>2</sup>, aproximadamente 82% do município, eram cobertos por Mata Atlântica, que foram poupados principalmente por estarem nas regiões escarpadas da Serra do Mar de difícil acesso. Nas planícies, as alterações humanas na cobertura da terra foram mais severas, porém ainda eram encontradas consideráveis manchas de ecossistemas associados às restingas, com destaque para as planícies da Boracéia e da praia da Baleia, mais ao sudoeste de São Sebastião (**Figura 1**); e um pequeno fragmento de mangue com 0,046 Km<sup>2</sup> na Praia da Enseada, na porção nordeste. Das áreas convertidas pela ação do homem, 24,614 Km<sup>2</sup> estavam edificadas, 15,102 Km<sup>2</sup> eram campos antrópicos e 0,354 Km<sup>2</sup> eram representados pelas pequenas lavouras de culturas mistas.



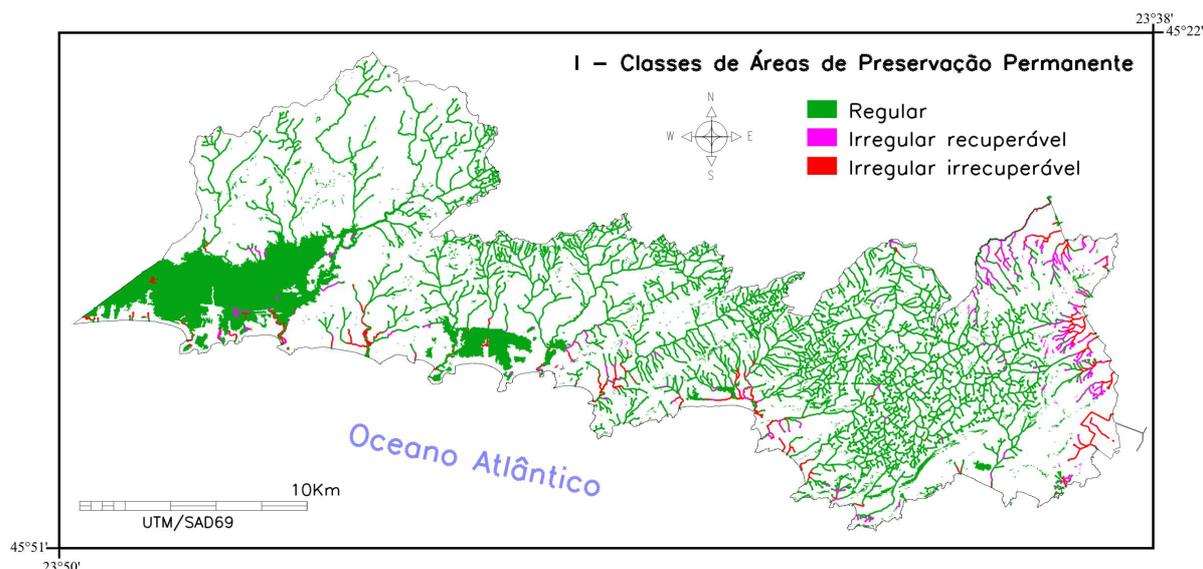
**Figura 1.** Mapa de uso e cobertura da terra.

Aproximadamente 26% do território estudado é considerado pelo Código Florestal como APP, dos quais 63% situavam-se em áreas cobertas por Mata Atlântica e 29% por Restinga, suas respectivas áreas são mostradas na **Tabela 1**. As APPs incidiam em 20% da área total de Mata Atlântica, principalmente em decorrência da densa rede de drenagem nas regiões serranas.

	Área edificada	Campo antrópico	Cultura mista	Restinga	Mangue	Mata Atlântica	Total
	24.614	15.102	0.354	29.598	0.046	318.057	387.771
<b>APPs</b>	4.056	4.306	0.110	29.598	0.046	65.088	103.204

**Tabela 1.** Áreas totais das classes de uso e cobertura da terra e suas interseções com as APPs, em Km<sup>2</sup>.

A área total das APPs no município equivale a aproximadamente 103,204 Km<sup>2</sup>, das quais 8,472 Km<sup>2</sup> estavam irregulares em 1999 (**Figura 2**). Essas regiões localizavam-se principalmente nas planícies da baixada, onde boa parte das APPs foram suprimidas. Das áreas irregulares, 52,12% (4,416 Km<sup>2</sup>) ainda eram passíveis de serem recuperadas.

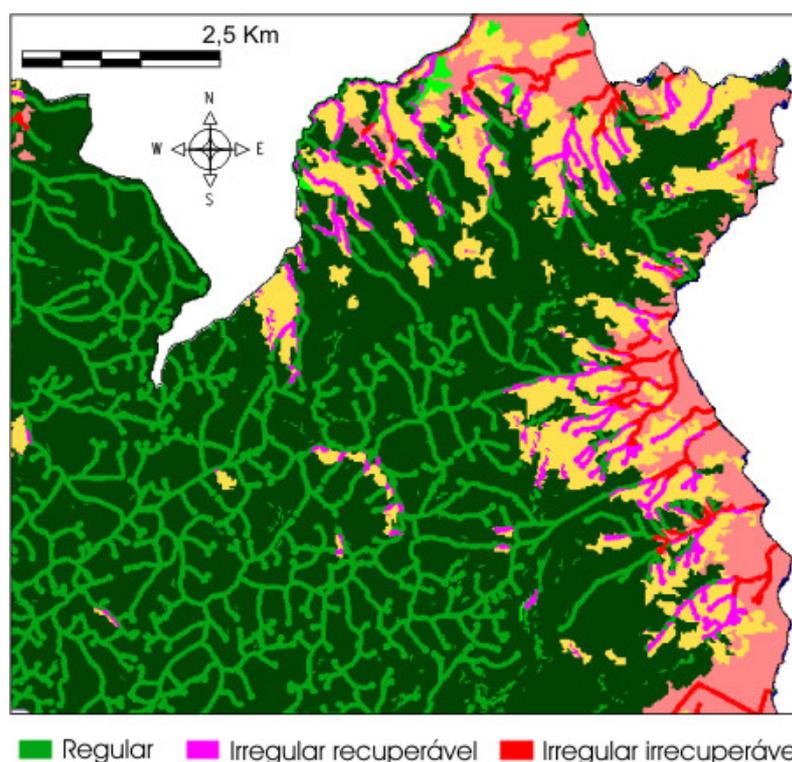


**Figura 2.** Mapa de situação legal das APPs e viabilidade de recuperação

#### 4. Discussão

Por ter um histórico de ocupação mais antigo, o setor leste e nordeste do município é a região com maior nível de alteração da cobertura da terra, sendo também a área com maior quantidade de transgressões do 2º e 3º artigo do Código Florestal (**Figura 2**). Boa parte dessas APPs irregulares apresentam possibilidade de recuperação, como mostrado na **Figura 3**, e situam-se predominantemente nas encostas, onde o processo de ravinamento foi bastante intensificado em decorrência da retirada da vegetação. Essa região também é uma das que apresentam maiores riscos de desastres naturais ligados aos movimentos de massa (Fujimoto et al., 1996; Pincinato, 2003), portanto, merece atenção especial e deve ser prioritária em investimentos e esforços de recuperação de sua cobertura vegetal.

Considerando a totalidade das APPs no município de São Sebastião, poucas são as áreas em desacordo com o Código Florestal, pois 91,8% delas estavam adequadas em 1999, no entanto, a maior parte destas foram protegidas não pelo efeito dessa lei, mas pelas restrições imposta pelo relevo, fato que se torna evidente quando é focada as irregularidades das planícies. Além do mais, as áreas que eram originalmente cobertas por restinga e que foram suprimidas no passado, em desacordo com essa norma legal, não foram consideradas. Isso deixa ainda mais clara a dificuldade e falta de eficácia na aplicação do 2º e do 3º artigo da Lei 4.711/1965 enfrentadas em épocas passadas.



**Figura 3.** Detalhe da situação legal e viabilidade de recuperação das APPs do setor leste e nordeste do Município de São Sebastião.

### 5. Considerações finais

A inserção das informações captadas por sensores remotos em ambiente SIG permitiram um diagnóstico aprofundado das APPs, como a avaliação de sua situação legal e de sua viabilidade de adequação frente a recuperação de sua cobertura vegetal. O uso da geração de relatórios através da tabulação cruzada em conjunto com as informações espaciais geradas pela álgebra de mapas forneceu dados de natureza complementar na análise feita. Com a implementação da ferramenta de extração de topos no Spring, a geração de mapas de APPs completos e precisos tornou-se mais fácil e acessível a um maior número de pessoas, o que fortalece ainda mais a possibilidade de aplicação efetiva do citado dispositivo legal.

De um modo geral, as geotecnologias preencheram a grande lacuna que impedia que esse item do Código Florestal realmente funcionasse. Os danos causados ao meio ambiente na época em que não dispúnhamos dessas ferramentas de controle ainda podem ser revertidos em muitos dos casos.

A força e a estrutura que o terceiro setor vem adquirindo nas últimas décadas somado ao desenvolvimento das geotecnologias constituem um avanço inquestionável para a proteção da Mata Atlântica. Essas ferramentas têm grande potencial de utilização pelas organizações da sociedade civil, podendo intensificar o processo de geração de informações que direcionem e motivem as atuações, tornando-as mais eficientes e economizando recursos. Os procedimentos e técnicas usados nesse trabalho podem ser adotados para fornecer subsídios na elaboração de orçamentos em projetos de recuperação da vegetação das áreas de preservação permanente, dando suporte na captação de recursos e mantendo a transparência em seu uso. Considerando a frequência na geração de informações atualizadas que os sensores remotos orbitais passaram a oferecer, a proposta também pode ser utilizada no monitoramento e avaliação da eficiência em estágios mais avançados desses projetos.

Apenas com o envolvimento das esferas civil, pública e privada a proteção da Mata Atlântica pode se tornar mais efetiva, principalmente com o apoio dos recursos e das técnicas de sensoriamento remoto e SIG, que atualmente são ferramentas essenciais não só no controle, mas também na reversão dos danos causados pelo homem, danos que muitas vezes comprometem as funções ambientais e prejudicam a própria qualidade de vida de suas populações.

## 6. Agradecimentos

Agradeço à Prefeitura Municipal de São Sebastião – SP por fornecer os arquivos digitais referentes às amostras altimétricas e à rede de drenagem e ao Laboratório de Ecologia da Paisagem e Sensoriamento Remoto do departamento de Ecologia da UNESP – Rio Claro pelas imagens orbitais utilizadas neste trabalho.

## 7. Referências

- Catelani, C.S.; Batista G.T.; Pereira W.F. Adequação do uso da terra em função da legislação ambiental. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2003. p. 559-556. Disponível na biblioteca digital URLib: <http://tid.inpe.br/sbsr/2002/11.14.16.30.38>. Acesso em: 24 out. 2004.
- Fujimoto, N.S.V.M.; Holl, M.C.; Vedovello, R.; Silva, P.C.F.; Maffra, C.T. A identificação de setores de risco a movimentos de massa no município de São Sebastião – SP. In: Simposio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 2., 1996, São Carlos. **Anais...** São Paulo: ABGE 1996. 129-138.
- Maia, J.S.; Valeriano, D.M. Transgressão do Código Florestal no município de Piquete – SP. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. Sessão Pôster. p. 611-616. Repositório da URLib: <http://dpi.inpe.br/lise/2001/09.19.09.16>. Disponível em: <http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/<dpi.inpe.br/lise/2001/09.19.09.16>. Acesso em: 24 out. 2004
- Moreira, A.A.; Soares, V.P.; Ribeiro, J.C.; Silva, E. Determinação de áreas de preservação permanente em uma microbacia hidrográfica a partir de fotografias aéreas de pequeno formato. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2003. p. 1381-1389. Disponível na biblioteca digital URLib: <http://tid.inpe.br/sbsr/2002/11.12.11.06>. Acesso em: 24 out. 2004.
- Pincinato, F.L. **Zoneamento ambiental do município de São Sebastião – SP com utilização de técnicas de geoprocessamento**. 2003. 100 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ecologia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP. 2003.
- Pissarra, T.C.T.; Neto, J.A.; Ferraudo, A.S.; Politano, N. Utilização de sistemas de informação geográfica para avaliação de áreas de preservação permanente em microbacias hidrográficas: um estudo de caso para o município de Jaboticabal, SP. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2003. p. 1915-1920. Disponível na biblioteca digital URLib: <http://tid.inpe.br/sbsr/2002/11.18.09.39>. Acesso em: 24 out. 2004.
- Santos, C.C.; Martins, A.K. O uso do geoprocessamento para delimitar áreas de ocupação dos solos urbanos. A Microbacia do Córrego Machado, Palmas - TO, um estudo de caso. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. Sessão Técnica Oral. p. 1163-1169. Repositório da URLib: <http://dpi.inpe.br/lise/2001/09.20.17.24>. Disponível em: <http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/<dpi.inpe.br/lise/2001/09.20.17.24>. Acesso em: 24 out. 2004.
- São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente. **Macrozoneamento do Litoral Norte: plano de gerenciamento costeiro**. São Paulo, 1996. (Série Documentos), 202 p.
- São Sebastião, Prefeitura Municipal. **Plano diretor do município de São Sebastião**. São Sebastião, SP, 1997. (documento interno).
- SOS Mata Atlântica, Fundação; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; Instituto Sócio Ambiental. **Atlas da evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas associados no domínio da Mata Atlântica no período 1990-1995: relatório nacional – síntese dos estados do Espírito Santo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, São Paulo Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica/INPE/ISA, 1998. 42 p.