



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/08.29.15.46-RPQ

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE CILIARES A PARTIR DAS FEIÇÕES DA PAISAGEM E IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM REGIÕES PRODUTORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO

Bernardo F. T. Rudorff; Edison Crepani; Daniel A. de Aguiar
Juliana S. dos Santos; Marcos Adami; Alessandro F. Palmeira
André M. S. A. Luz; Claudia D. Alves; Daniela B. Corrêa
Elisabeth Goltz; Joel Risso; Juliano V. Paula
Jussara S. de Medeiros; Jordano E. S. Silva; Letícia A. Macedo
Madalena N. Pereira; Magog A. Carvalho; Márcio P. de Mello
Marco Aurélio S. Varlez; Rita de Cassya A. Sousa; Suely F. S. de Lima
Tânia L. I. N. Aulicino

Do projeto "Mapeamento agroam-
biental por imagens de sensoria-
mento remoto", realizado em par-
ceria entre INPE e FUNCATE e
Financiado pela Secretaria do Meio
Ambiente do Estado de São Paulo

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CH93C8>>

INPE
São José dos Campos
2012

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**Presidente:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Germano de Souza Kienbaum - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/08.29.15.46-RPQ

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE CILIARES A PARTIR DAS FEIÇÕES DA PAISAGEM E IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO EM REGIÕES PRODUTORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO

Bernardo F. T. Rudorff; Edison Crepani; Daniel A. de Aguiar
Juliana S. dos Santos; Marcos Adami; Alessandro F. Palmeira
André M. S. A. Luz; Claudia D. Alves; Daniela B. Corrêa
Elisabeth Goltz; Joel Risso; Juliano V. Paula
Jussara S. de Medeiros; Jordano E. S. Silva; Letícia A. Macedo
Madalena N. Pereira; Magog A. Carvalho; Márcio P. de Mello
Marco Aurélio S. Varlez; Rita de Cassya A. Sousa; Suely F. S. de Lima
Tânia L. I. N. Aulicino

Do projeto "Mapeamento agroam-
biental por imagens de sensoria-
mento remoto", realizado em par-
ceria entre INPE e FUNCATE e
Financiado pela Secretaria do Meio
Ambiente do Estado de São Paulo

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CH93C8>>

INPE
São José dos Campos
2012

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1 - Ilustração conceitual dos ecossistemas ripários.....	5
Figura 2.2 - Tipos de leitos fluviais. Distinção entre leitos vazante, menor e maior (Figura sem escala e com tamanho exagerado).	7
Figura 3.1 - Exemplos de diferentes tipos de colheita da cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Imagem TM Landsat 5, composição colorida 4R, 5G e 3B.	14
Figura 5.1 - Área de estudo. Mapeamento do Projeto Canasat, áreas cultivadas com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, safra 2009/2010.	24
Figura 5.2 - Divisão da área de estudo em oito sub-regiões a partir de cartas topográficas na escala de 1: 50.000 e 1:250.000. Cada quadrícula corresponde a cartas topográficas na escala 1:50.000 e cada sub-região a cartas topográficas na escala 1:250.000.....	26
Figura 5.3 – Identificação das feições de drenagem município de Iperó/SP. (a) base cartográfica digitalizada do Estado de São Paulo utilizada como referência para a identificação das feições; (b) representação em SIG das feições identificadas.....	28
Figura 5.4 - Identificação das APPs de nascente a partir da base cartográfica digitalizada do Estado de São Paulo. Os círculos em vermelho indicam a delimitação das APPs indicada pela Resolução CONAMA (raio mínimo de 50 m).	29
Figura 5.5 – Identificação dos corpos d'água a partir da classificação orientada a objeto na imagem derivada da base de dados do GLCF. (a) primeira etapa da segmentação, com parâmetro de escala igual a 20; (b) refinamento da segmentação a partir do algoritmo <i>spectral difference</i> , com fator de distância espectral igual a 10.	31
Figura 5.6 - Resultado da classificação obtida a partir do atributo NDWI e da média das bandas 2 e 4, imagens GLCF. As linhas tracejadas na cor vermelha indicam as diferenças no mapeamento.....	33
Figura 5.7 - Mapeamento de reservatórios artificiais. (a) base cartográfica digital do Estado de São Paulo; (b) reservatório da hidrelétrica de Água Vermelha identificado nas imagens <i>Geocover</i>	35
Figura 5.8 – Mapeamento de áreas úmidas no município de Cerquilha/SP. (a) áreas de várzea no município de Cerquilha/São Paulo, identificadas na base cartográfica digital; (b) atualização das áreas de várzea na base cartográfica digital. Os polígonos na cor laranja indicam as áreas de várzea e as linhas na cor preta indicam o <i>buffer</i> com largura pré-definida de acordo com a largura do curso d'água e (c)	

imagem ETM + Landsat 7, mosaico <i>Geocover</i> , em que os polígonos na cor branca indicam as mesmas áreas de várzea de (a) e (b) e que deverão ser preservadas.....	38
Figura 5.9 – Delimitação das APPs ciliares, município de Iperó/SP. Atualização das feições de drenagem, identificação das áreas que devem ser protegidas e a delimitação das APPs ciliares a partir de larguras pré-definidas.	41
Figura 5.10 - Áreas de cana-de-açúcar no município de Jaboticabal/SP, mapeamento do projeto Canasat. O retângulo em vermelho representa a área analisada.	42
Figura 5.11 - Imagens referentes ao mosaico <i>Geocover</i> , destacando as feições da região.	42
Figura 5.12 - Identificação das áreas que deverão ser preservadas a partir das imagens do mosaico <i>Geocover</i> . Os polígonos na cor laranja e na cor azul delimitam as áreas que deverão ser preservadas como APPs ciliares a partir do conceito de nível mais alto.	43
Figura 5.13 - Delimitação das APPs ciliares. As linhas tracejadas na cor vermelha representam os buffers pré-definidos a partir da largura dos cursos d'água, especificadas nas Resoluções CONAMA.	43
Figura 6.1 - Identificação do passivo ambiental de APPs ciliares em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, imagens HRC CBERS 2B. (a) os polígonos na cor verde indicam áreas cultivadas com cana-de-açúcar, as linhas na cor preta representam as APPs ciliares; (b) as áreas na cor vermelha indicam o cultivo, da cana-de-açúcar em APPs ciliares.....	44
Figura 6.2 - Passivo ambiental de APPs ciliares em áreas de cana-de-açúcar, município de Jaboticabal/SP. (a) área de APP ciliar identificada a partir da base cartográfica digital; (b) mesma área de APP ciliar nas imagens HRC CBERS 2B depois da atualização, identificação e quantificação do passivo ambiental.....	45
Figura 7.1 - APPs ciliares do Estado de São Paulo e as áreas de APPs ciliares ocupadas irregularmente pelo cultivo da cana-de-açúcar, no período 2009/2010.	46

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 5.1 - Identificação das feições de drenagem em ambiente SIG e suas respectivas classes de APPs. Na tabela (m) corresponde a metros e (ha) a hectares.	39
Tabla 7.1 - Quantificação das APPs ciliares cultivadas irregularmente com a cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.	47

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APPs	Áreas de Preservação Permanente
CANASAT	Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da terra
CBERS	China – Brazil Earth Resources Satellite
CFB	Código Florestal Brasileiro
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAEE	Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
ETM +	Enhanced Thematic Mapper Plus
GDEM	Global Elevation Model
GLCF	Global Land Cover Facility
Ha	Hectares
HAND	Height Above the Nearest Drainage
HRC	High Resolution Camera
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LIDAR	Light Detection and Ranging
M	Metros
MDEHC	Modelo Hidrológico Consistente
MDEs	Modelos Digitais de Elevação
Mha	Milhões de hectares
NDWI	Normalized Difference Index

PRODES	Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia Legal
RLs	Reservas Legais
SIGs	Sistemas de Informações Geográficas
SR	Sensoriamento Remoto
SRTM	Shuttle Radar Topograph Mission
TM	Thematic Mapper
TOPODATA	Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
UNICA	União da Indústria da Cana-de-açúcar

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
2 ÁREAS PROTEGIDAS POR LEI - CÓDIGO FLORESTAL BRASILEIRO. 4	
2.1. Áreas de preservação permanente – APPs ciliares	5
3 A CONTRIBUIÇÃO DAS GEOTECNOLOGIAS PARA A IDENTIFICAÇÃO DAS APPS CILIARES	12
3.1. A identificação das feições das APPs ciliares a partir de geotecnologias .	15
4 CONSIDERAÇÕES PARA A DELIMITAÇÃO DE APPS CILIARES – PARÂMETROS UTILIZADOS DE ACORDO COM CFB DE 1986	20
5 IDENTIFICAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS APPS CILIARES EM ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR A PARTIR DAS FEIÇÕES DA PAISAGEM.....	23
5.1. Área de estudo	23
5.2. Identificação e mapeamento da rede de drenagem	25
5.2.1. Identificação do nível mais alto dos cursos d’água por ocasião da cheia sazonal.....	35
5.3. Delimitação das APPs ciliares.....	39
6 QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS IRREGULARMENTE EM APPS CILIARES NO ESTADO DE SÃO PAULO ..	44
7 RESULTADOS	46
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

As áreas de preservação permanente (APPs) instituídas no Código Florestal Brasileiro possibilitam a conservação de fragmentos florestais e outros tipos de vegetação nativa em propriedades privadas e são fundamentais para a proteção, ainda que mínima, da fauna e da flora originais de cada região. Essas áreas oferecem diversos serviços ecossistêmicos às propriedades rurais e, entre outras vantagens, protegem os rios e os mananciais, ajudam na contenção de processos erosivos e permitem a reabilitação de processos ecológicos, além de conservar a biodiversidade, sendo talvez os únicos sistemas potenciais capazes de garantir a longo prazo a conservação das áreas de vegetação natural (METZGER, 2002; BARBIERI, 2004; SILVA et al., 2011).

Embora os avanços na agricultura conservacionista, o reconhecimento dos benefícios das APPs às propriedades rurais e a pressão internacional à utilização de práticas que garantam a sustentabilidade na produção, as APPs exceto às áreas de Reservas Legais (RLs) são os principais passivos ambientais nas propriedades rurais brasileiras (SILVA et al., 2011). De acordo com Sparoveck et al. (2010) essas áreas representam 103 milhões de hectares (Mha) do território nacional, sendo que 59 Mha são ocupadas por vegetação nativa e 44 Mha é o déficit estimado de vegetação nativa nessas áreas.

Nesse sentido, Silva et al. (2011) destacam que o planejamento da ocupação do território em função da aptidão, da capacidade de sustentação e da produtividade econômica das áreas é a melhor alternativa para garantir o uso adequado das terras e a adequação ambiental da produtividade rural. Simultaneamente à necessidade de aliar a conservação dos recursos naturais ao crescimento agrícola, surge a busca por dados e informações que sirvam de subsídio ao planejamento e a ordenação adequada do uso da terra, que possibilitem a modelagem das mudanças de uso e cobertura da terra em função da expansão agrícola e, sobretudo a identificação e a delimitação

eficientes das APPs (BRANCALION; RODRIGUES, 2010; MARTINELLI et al., 2010; SPAROVECK et al., 2011).

Com o propósito de disponibilizar essas informações alguns autores vêm desenvolvendo métodos a partir de dados de sensoriamento remoto (SR) e técnicas de geoprocessamento para identificar e delimitar automaticamente, em escala nacional, as APPs (MIRANDA, 2008; NOBRE et al., 2011). A utilização de imagens e de dados altimétricos derivados de sensores orbitais e das ferramentas disponíveis em Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) têm promovido avanços na identificação dessas áreas, principalmente em regiões do Brasil que não dispõem de levantamentos topográficos ou que estes não estão em escala cartográfica adequada. A disponibilidade gratuita e a possibilidade de adquirir dados sobre grandes extensões geográficas permitem que, na maioria das vezes, a utilização dessas geotecnologias seja proposta para delimitar as APPs (LEONARDI, 2010; RIBEIRO et al., 2010).

Entretanto, as principais dificuldades na delimitação das APPs é a indisponibilidade de dados em escala cartográfica adequada para a identificação eficiente das feições da paisagem, como as redes de drenagem e a necessidade de adequação das informações geradas à legislação ambiental. A utilização de métodos automáticos a partir de dados em escala cartográfica generalizada e que não contemplam características como o tipo de solo e de vegetação das APPs, tem resultado em generalizações grosseiras dessas feições e em estimativas errôneas dessas áreas (RIBEIRO et al., 2010; NOBRE et al., 2011).

A dificuldade na delimitação das APPs ciliares em relação ao conceito de nível mais alto por ocasião da cheia sazonal e as mudanças realizadas no Código Florestal de 1986 evidenciam a necessidade do desenvolvimento de metodologias robustas para auxiliar na identificação dessas áreas. Desta forma, o objetivo desse trabalho é apresentar uma metodologia para a identificação e delimitação das APPs ciliares a partir de geotecnologias e das

características da paisagem como tipo de solo e vegetação, considerando parâmetros estabelecidos no Código Florestal Brasileiro de 1986 como o nível mais alto dos cursos d'água por ocasião da cheia sazonal e a delimitação das APPs a partir de larguras pré-definidas.

Neste contexto, este documento tem como base os seguintes questionamentos:

- 1) As geotecnologias disponíveis atualmente são eficientes para a identificação e delimitação das APPs ciliares?
- 2) É possível o monitoramento das APPs ciliares em grandes extensões geográficas, utilizando dados de sensores orbitais?
- 3) Os dados de sensoriamento remoto permitem delimitar as APPs ciliares a partir do conceito de nível mais alto alcançado por ocasião da cheia sazonal estabelecido no Código Florestal de 1986?
- 4) É possível a quantificação dos passivos ambientais nas APPs ciliares a partir de imagens de sensoriamento remoto?

Primeiramente será apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre o Código Florestal Brasileiro, as principais alterações realizadas ao longo dos anos e a importância na conservação das APPs ciliares nas áreas agrícolas. Em seguida, será descrito o método proposto para a identificação e delimitação dessas áreas e os principais resultados obtidos no mapeamento e na quantificação de passivos ambientais de APPs ciliares em áreas de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.

2 ÁREAS PROTEGIDAS POR LEI - CÓDIGO FLORESTAL BRASILEIRO

A existência de normas jurídicas com o objetivo de disciplinar a utilização dos recursos naturais não é recente e nos últimos anos diversas foram às mudanças no pensamento conservacionista no mundo (Pivello, 2011). No Brasil colonial, por exemplo, já existiam regras jurídicas que restringiam a utilização dos recursos naturais, porém tinham como âncora garantir o monopólio da coroa portuguesa na exploração da madeira e de seus subprodutos para a construção de embarcações portuguesas e não a finalidade da manutenção da flora nativa (LIMA; LIMA, 2008).

O primeiro Código Florestal Brasileiro (CFB) instituído em 1934, até mesmo antes do início das preocupações mundiais sobre o uso sustentável dos recursos naturais foi a primeira manifestação com o objetivo de estabelecer restrições de uso das áreas de floresta e demais formas de vegetação. Até aquele momento não existia nenhum tipo de restrição de uso e as florestas estavam sendo suprimidas, devido à expansão da agricultura, fortemente incentivada durante o governo provisório de Getúlio Vargas. Nessa primeira fase, o CFB estabeleceu poucas regulamentações sobre as áreas de vegetação nativa e apenas em 15/09/1965, com a lei nº 4.771 e sua reformulação em função do programa governamental de colonização da Amazônia, passou a ser mais restritivo estabelecendo elementos de uso limitado em propriedades privadas, i.e., nas propriedades rurais que receberam o nome de áreas de preservação permanente - APPs e reservas legais - RLs (TREVISAN, 2009; BRASIL, 2011).

O CFB foi atualizado em 1986 e vêm sendo modificado ao longo do tempo a partir de medidas provisórias, em que os critérios que caracterizam principalmente as APPs foram especificados e/ou alterados. A legislação ambiental brasileira é considerada uma das melhores do mundo, sendo o CFB um dos principais instrumentos jurídicos do Brasil para a implantação de uma política ambiental que visa assegurar a proteção da vegetação nativa

remanescente além das unidades de conservação (METZGER et al., 2010). Entretanto, embora o Brasil tenha avançado muito em relação à legislação ambiental desde o estabelecimento do primeiro CFB é importante salientar que um dos maiores problemas é a ineficácia na fiscalização dessas leis.

2.1. Áreas de preservação permanente – APPs ciliares

As Florestas Aluviais, Ribeirinhas e Matas de Galeria conhecidas comumente no Brasil, como Florestas ou Matas Ciliares¹ são os elementos mais importantes dos ecossistemas ou zonas ripárias. Esses ecossistemas (Figura 2.1) estão sob constante influência do lençol freático e caracterizam-se pela localização imediata e adjacente aos cursos d'água, lagos e águas superficiais, apresentando limite gradual e pouco definido (RODRIGUES; FILHO, 2004; MOMOLI, 2011).

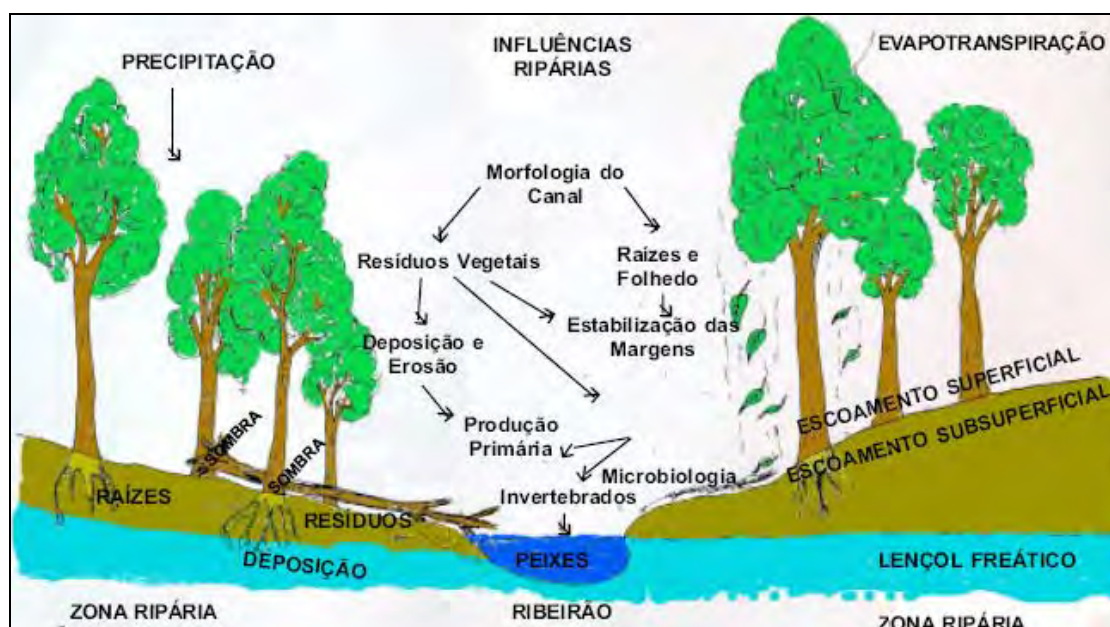


Figura 2.1 - Ilustração conceitual dos ecossistemas ripários.

Fonte: <http://www.hidrologia.ufpr.br>

¹ A abrangência da denominação de floresta ou mata ciliar para se referir à vegetação presente nos ecossistemas ripários brasileiros, está relacionada com as características de ocorrência dessa vegetação que abrange todos os domínios morfoclimáticos e fitogeográficos do País, independente da região, da área e da composição florística (RODRIGUES; FILHO, 2004).

Os ecossistemas ripários são constituídos de solos encharcados, i.e., hidromórficos gleizados ou álicos durante boa parte do ano, estratificados e heterogêneos em relação à textura, estrutura e fertilidade e a menor variação de temperatura ao longo do dia, devido ao armazenamento de calor pela água e a liberação ao pôr-do-sol. A zona saturada localizada próxima à superfície caracteriza-se pela profundidade efetiva reduzida, devido à dependência da profundidade do lençol freático e das condições de temperatura e umidade do ar (RIZZI, 2011).

Em função da largura dos cursos e corpos d'água as matas ciliares juntamente com as nascentes, topo dos morros, montanhas, serras (em altitudes acima de 1.800m), encostas (com declividade acima de 45 graus), bordas de tabuleiros e restingas estão protegidas como APPs pelo CFB de 1986. O CFB de 1986 conceitua esses ecossistemas como áreas cobertas ou não por vegetação nativa que não podem ser alteradas por seus proprietários, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico da fauna e da flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2011).

A delimitação das APPs ciliares é dependente da largura dos cursos d'água e dos lagos e lagoas naturais. Na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 303, as APPs ciliares são delimitadas na faixa marginal a partir do nível mais alto² do curso d'água por ocasião da cheia sazonal em projeção horizontal com larguras mínimas que variam de 30 a 500 m de largura. Estabelecendo que a delimitação das APPs ciliares deve considerar fatores de variabilidade e excepcionalidade climática, i.e., o nível mais alto em episódios de extrema pluviosidade, correspondente a inundação de toda a planície constituída pelo leito vazante, leito menor, leito maior³ e pelos ecossistemas ripários, Figura 2.2 (BOIN, 2005).

² Leito maior sazonal: calha maior do rio ocupada em períodos anuais de cheia.

³ Leito vazante: incluído no leito menor tem a função de escoar as águas baixas, i.e., período de seca.



Figura 2.2 - Tipos de leitos fluviais. Distinção entre leitos vazante, menor e maior (Figura sem escala e com tamanho exagerado).

Fonte: adaptado de Boin (2005).

Dessa forma, os parâmetros especificados no CFB de 1986 para delimitar as APPs ciliares em função da vegetação ciliar arbórea, arbustiva ou herbácea, da largura do curso d'água adjacente e do nível mais alto por ocasião da cheia sazonal têm como objetivo a proteção do espaço físico e das características que diferenciam esses ecossistemas das demais regiões adjacentes aos cursos e corpos d'água e que atribuem a essas áreas uma composição particular de fauna e flora e dos diversos serviços ecossistêmicos oferecidos.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 303 a faixa estipulada de 30 m para APPs ciliares corresponde a cursos d'água de largura menor que 10 m, a de 50 m para cursos de 10 a 50 m de largura, a de 100 m para cursos de 50 a 200 m de largura, a de 200 m para cursos de 200 a 600 m de largura e a de 500 m para cursos com mais de 600 m de largura. Ao redor de nascentes ou olhos d'água mesmo que intermitentes, a faixa das APPs ciliares corresponde a um raio mínimo de 50 m, na qual dependendo do caso garante a proteção da bacia hidrográfica contribuinte (Figura 2.3).

Leito menor: é definido como o canal por onde correm permanentemente as águas de um rio, sendo a sua seção transversal melhor observada por ocasião da vazante.

Leito maior corresponde ao período de cheia na qual os rios deixam o seu curso normal e extravasam inundando a área que recebe o nome de leito maior (BOIN, 2005).

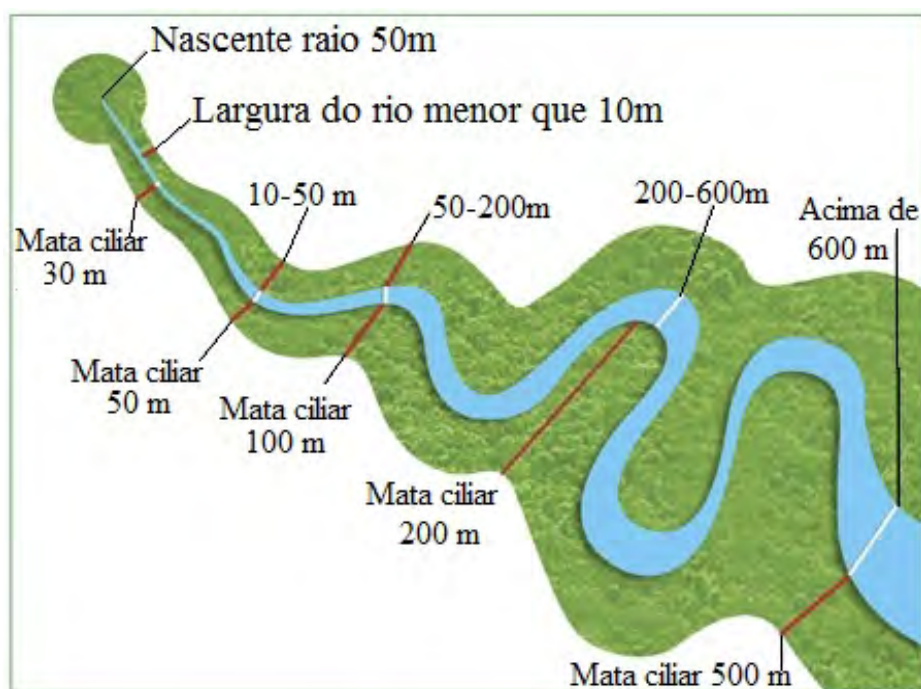


Figura 2.3 - APPs ciliares de acordo com a Resolução CONAMA nº 303.

Fonte: Adaptado de <http://www.mataciliar.pr.gov.br>

Para lagos e lagoas naturais a faixa mínima das APPs é de 30 m em áreas urbanas consolidadas⁴ e de 100 m para áreas rurais, exceto para corpos d'água com até 20 hectares (ha) de superfície, na qual a faixa marginal é de 50 m. A Resolução CONAMA nº 302 estabelece as delimitações das APPs para reservatórios artificiais que são definidos como a acumulação não natural de água destinada a quaisquer de seus múltiplos usos a partir do nível máximo normal (cota máxima normal de operação do reservatório). Neste caso, as APPs correspondem a 30 m para reservatórios artificiais situados em áreas urbanas consolidadas e a 100 m para áreas rurais, a 15 m no mínimo para reservatórios artificiais de geração de energia elétrica com até 10 ha sem prejuízo de compensação ambiental e a 15 m no mínimo para reservatórios artificiais não utilizados em abastecimento público ou geração de energia

⁴ Área urbana consolidada: área que tem definição legal pelo poder público e existência de no mínimo 4 dos equipamentos de infra-estrutura urbana: malha viária com canalização de águas pluviais, rede de abastecimento de água, rede de esgoto, distribuição de energia elétrica e iluminação pública, recolhimento de resíduos sólidos urbanos, tratamento de resíduos sólidos urbanos e densidade demográfica superior a cinco mil habitantes por Km² (CONAMA, 2011).

elétrica, com até 20 ha de superfície e localizados em área rural (CONAMA, 2011).

As APPs ciliares desempenham a função de proteger a água e o solo como reguladoras do regime hídrico por interceptar a água da chuva, aumentar a retenção e infiltração da água no solo e interferir no processo de evaporação, escoamento superficial e subsuperficial do solo e manter a estabilidade das margens dos rios, evitando a erosão e consequentemente o assoreamento dos cursos d' água. Dessa forma, beneficiam também a fauna e a flora, por que passam a ter a função de corredores ecológicos que são elementos que facilitam o fluxo de indivíduos ao longo da paisagem aumentando a sua conectividade e possibilitando o uso de vários pequenos fragmentos remanescentes de habitat que isoladamente não sustentariam as populações (MARTINS et al., 1998; METZGER, 2010; MOMOLI, 2011).

O CFB sofreu várias alterações ao longo desses 45 anos, que até então, buscaram garantir a integridade das APPs. Entre essas alterações, pode-se destacar as especificações feitas quanto à vegetação natural a ser protegida na primeira reformulação e a largura e a demarcação dessas áreas a partir do leito maior do rio ou do nível mais alto. Entretanto, é importante ressaltar que embora as alterações realizadas no CFB de 1986 venham colaborar com a nova configuração da agropecuária brasileira, mudanças como a demarcação das APPs a partir da calha do leito regular⁵ do rio podem indicar um retrocesso em relação às alterações no CFB realizadas, já que muitas áreas protegidas voltarão à classificação de não APPs.

Nesse sentido, Sparoveck et al. (2011) ressaltam que a possível redução na faixa de APPs ciliares em cursos d'água de até 5 m de largura implicaria na diminuição significativa na área total das APPs ciliares brasileiras, a saber que a maioria da rede hidrográfica do Brasil é composta por cursos d'água de até 5

⁵ Leito regular: a calha por onde correm regularmente as águas do curso d'água durante o ano. Fonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas (2011).

m de largura. E que apenas para o Estado de São Paulo este tipo de mudança no CFB, pode reduzir em até 20% a área total de APPs ciliares. Em estudo recente sobre a morfologia e a distribuição de sedimentos oriundos de uma área sob cultivo de cana-de-açúcar e retidos numa zona ripária, Momoli (2011) demonstrou que a produção agrícola é altamente dependente da qualidade dos recursos naturais.

A queda na qualidade do solo, da água e da vegetação nativa, devido ao uso inadequado das terras promove o desequilíbrio dos ecossistemas e, portanto, não garante a perpetuidade da produtividade agrícola. Ressaltando que a redução da largura das APPs ciliares resultaria no comprometimento da longevidade do sistema agrícola do país, já que a manutenção das florestas ao redor dos rios e nascentes promove o aumento na qualidade dos recursos naturais essenciais para a agricultura, como a água e o solo. Desta forma, a garantia da integridade dos ecossistemas ripários aliados à manutenção da biodiversidade e aos cultivos agrícolas é dependente da determinação da faixa de área que engloba a largura dos rios e a mata ciliar a ser protegida (HOLMES; GOEBEL, 2011; MOMOLI, 2011).

Brancaion e Rodrigues (2010) avaliaram as implicações do cumprimento do CFB quanto à manutenção de áreas de RLs na redução de áreas agrícolas no contexto do setor sucroenergético. Seus resultados demonstram que a partir da análise de 1.961 propriedades rurais de usinas sucroalcooleiras do Estado de São Paulo seria necessário, em média, que 6,4% da área total utilizada para a produção de cana-de-açúcar fosse convertida em área de floresta.

No entanto, quanto aos valores da potencial perda de áreas de produção canavieira para RL houve expressiva variação entre os casos analisados - 2 usinas conseguiriam compor a RL sem alterar a área de produção de cana-de-açúcar, 3 usinas precisariam ceder 3% e 6 usinas precisariam ceder mais que 10% das áreas canavieiras para regularização da RL. Destacando que em todos os casos analisados foi possível propor a realocação de áreas de RLs

dentro da própria área de cada propriedade sem comprometer significativamente a área destinada para produção de cana-de-açúcar.

3 A CONTRIBUIÇÃO DAS GEOTECNOLOGIAS PARA A IDENTIFICAÇÃO DAS APPS CILIARES

Ribeiro et al. (2010); Leonardi (2010) e Sparoveck et al. (2011) ressaltam que o desconhecimento sobre a localização exata dos limites das APPs tem afetado negativamente a proteção das áreas de vegetação natural e a expansão de áreas agrícolas no Brasil. Fatores como a falta de informação, de levantamentos topográficos precisos, a indisponibilidade de dados de hidrografia e de uso e cobertura da terra em escala adequada, a demora e o alto custo na aquisição desses dados em campo, a falta de operacionalização e de métodos automáticos e a dificuldade na interpretação da definição e dos parâmetros que definem as APPs no CFB de 1986 têm negligenciado o planejamento da ocupação das terras brasileiras, a delimitação e a fiscalização das APPs, resultando em licenciamentos equivocados ou na limitação inadequada de áreas para cultivos agrícolas.

A disponibilidade de imagens de alta resolução espacial, obtidas a partir de satélites, como o SPOT 5 - 2,5m e 5m, QuickBird 2 - 0,7m e 2,8m, Ikonos 1m e 4m, Geoeye 1 - 0,41m e 1,64m e as do CBERS 2B com 2,7m que podem ser adquiridas gratuitamente no endereço <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/> e o avanço nas técnicas de geoprocessamento aliados aos SIGs podem ser uma alternativa eficiente na identificação, no monitoramento e na fiscalização dessas áreas nos próximos anos. Nobre et al. (2011), Sparoveck et al. (2011) e Silva et al. (2011) destacam que a utilização dessas geotecnologias são essenciais na definição de mudanças eficientes no CFB possibilitando a incorporação de novos conhecimentos científicos e maior eficiência na fiscalização das APPs.

A utilização de imagens e de dados altimétricos derivados de sensores remotos quando manipulados em SIGs permitem a geração de mapas com limites precisos das APPs, a espacialização dos passivos ambientais, o cadastro da estrutura fundiária e o mapeamento do uso e cobertura da terra, possibilitando

inclusive a identificação de regiões de posse questionável, como terras devolutas. Um exemplo da utilização eficiente desses dados na fiscalização de áreas de vegetação natural é o Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia Legal (PRODES), desenvolvido e gerenciado desde o ano de 1988 pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (INPE, 2011). Sparoveck et al. (2011) destacam que características do programa PRODES (<http://www.obt.inpe.br/prodes/>), como a disponibilidade gratuita e ágil e a possibilidade de atualização das informações, devem servir de modelo para a construção de uma ferramenta eficiente, com princípio declaratório e de atualização continuada para auxiliar na fiscalização das APPs.

No programa PRODES diferentes padrões de desmatamento podem ser identificados, mapeados e quantificados a partir de imagens TM 5/Landsat com 30 m de resolução espacial e de técnicas simples de processamento digital de imagens. Também, como exemplo na utilização desses dados para fiscalização pode-se destacar o mapeamento dos diferentes tipos de colheita da cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo realizado pelo Projeto Canasat do INPE (<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/>) (INPE, 2011a). O Canasat mapeia anualmente desde o ano de 2005 as áreas de cana-de-açúcar colhidas com e sem a queima da palha a fim de monitorar a redução da colheita com queima da palha até o ano de 2014 prevista pelo Protocolo Agroambiental do setor sucroenergético (UNICA, 2011).

Nas Figuras 3.1a, b, c e d são ilustrados os diferentes tipos de colheita da cana-de-açúcar que podem ser identificados a partir da interpretação visual em imagens de sensores de média resolução espacial. As áreas que aparecem brilhantes nas Figuras 3.1a e c apresentam o padrão característico de áreas de cana-de-açúcar colhidas sem a queima da palha, as áreas nas Figuras 3.1b e d na cor esverdeada também ilustram áreas de cana-de-açúcar colhidas sem a queima da palha, no entanto, devido ao manejo utilizado essas áreas não estão evidentes nas imagens como ocorre nas Figuras 3.1a e c.

As áreas na cor escura que podem ser observadas praticamente em todas as Figuras ilustram o padrão típico de áreas de cana-de-açúcar colhidas com a queima da palha. A associação do manejo realizado no campo com imagens de sensores orbitais evidencia a eficiência na utilização desses dados para a fiscalização dos padrões e das mudanças no uso e cobertura da terra (RUDORFF et al., 2010).

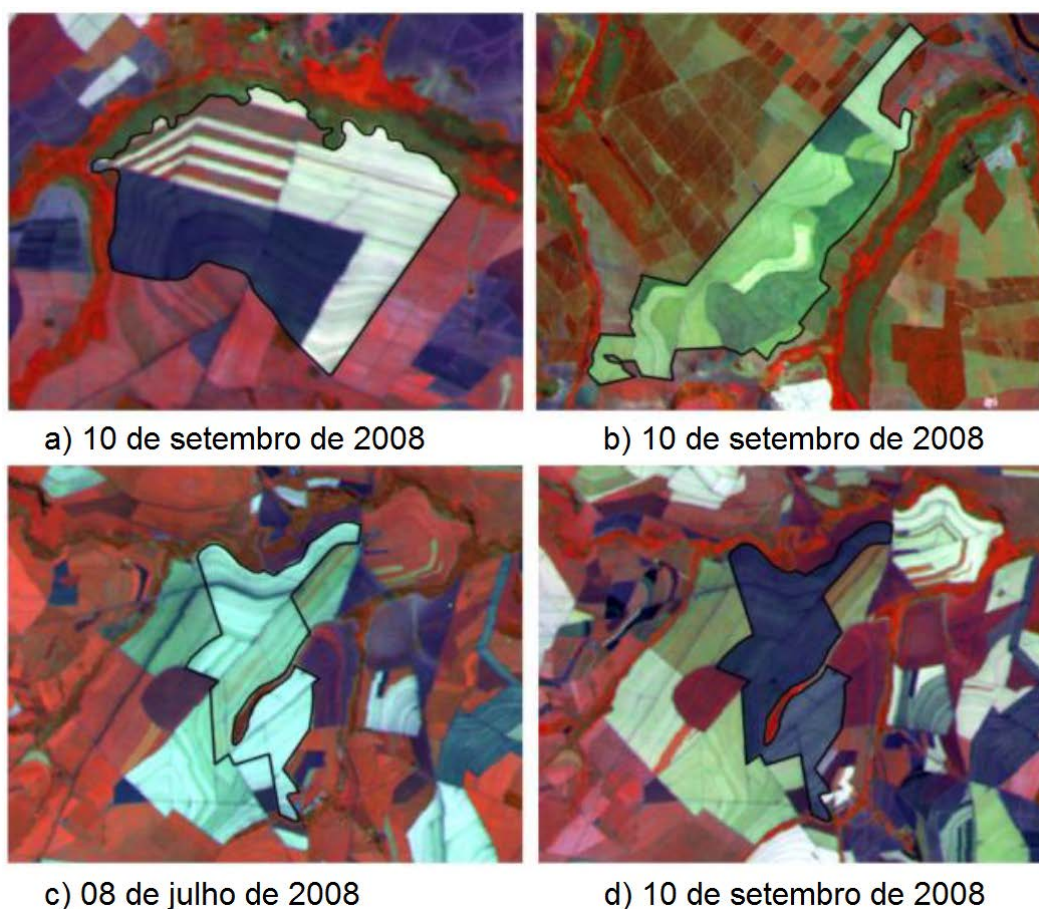


Figura 3.1 - Exemplos de diferentes tipos de colheita da cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Imagem TM Landsat 5, composição colorida 4R, 5G e 3B.

Fonte: Adaptado de Rudorff et al. (2010).

Neste contexto, Yang (2007) demonstra que a utilização de técnicas, como a classificação digital supervisionada e não supervisionada em imagens de SR e a utilização de índices de vegetação, possibilitam determinar com eficiência as

condições da vegetação existente na zona ripária. Nassar (2011) ressalta que estimativas de passivos ambientais, como déficit de APPs e RLs, realizadas a partir de dados cadastrais de censos agropecuários e do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) estão sujeitas a erros uma vez que essas informações são adquiridas de forma subjetiva, considerando apenas entrevistas realizadas com produtores rurais. Destacando, portanto, que os dados de SR podem ser uma ferramenta eficiente na geração de informações e na fiscalização das APPs e de RLs de forma objetiva e de maior exatidão.

3.1. A identificação das feições das APPs ciliares a partir de geotecnologias

São diversos os métodos de identificação das APPs ciliares a partir de SR. A feição básica a ser identificada a partir desses dados é a rede de drenagem que, em conjunto com a vegetação, compõem as zonas ripárias e são os elementos que devem constituir as APPs ciliares. A rede de drenagem pode ser obtida a partir da cartografia sistemática ou digital, no entanto, a partir desses dois procedimentos a eficiência na delimitação das APPs é influenciada por diversos fatores intrínsecos a esses métodos, como a qualidade e o processamento dos dados originais, a definição da escala de trabalho, a interpretação da lei vigente e a aplicabilidade para fiscalização dos dados gerados.

A rede de drenagem por cartografia sistemática é realizada a partir da digitalização da drenagem registrada em mapas pré-existentes. Nesse processo, o conhecimento da escala do mapa utilizado para a identificação da rede de drenagem retrata a qualidade da informação gerada. A escolha da escala cartográfica adequada para a identificação dessas feições é dependente das características predominantes da região de estudo. Em áreas em que os cursos d'água predominantes apresentam largura inferior a 5 m, p. ex., a utilização de dados em escalas cartográficas médias e pequenas (1:50.000 a

1:100.000) é considerada insuficiente e resulta em generalizações grosseiras das feições existentes na paisagem.

Neste contexto, Yang (2007) identificou a partir de diferentes dados de SR (fotografias aéreas e imagens SPOT 4 e Landsat 7 ETM+) a extensão e as condições da vegetação ripária em uma região da Austrália, comparando os resultados dos métodos tradicionais (fotografia aérea) com os obtidos através das imagens SPOT 4 e Landsat 7. Seus resultados demonstram que na falta de dados cartográficos em escala adequada e de imagens de satélite de alta resolução espacial a utilização de fotografias aéreas de 1 a 2 m de resolução é o método mais adequado para a identificação dos ecossistemas ripários.

A rede de drenagem por cartografia digital pode ser extraída a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) que permitem além da análise da rede de drenagem e microbacias a derivação de outras variáveis geomorfométricas. Tradicionalmente, os MDEs são gerados a partir da vetorização e geração de uma superfície interpolada de isolinhas extraídas de mapas topográficos, levantamentos de campo e reprodutores (VALERIANO, 2008; RIBEIRO et al., 2005). No entanto, a falta de mapas topográficos em escala adequada ou de atualizações nos dados existentes, como também a presença de erros intrínsecos ao processo de interpolação são fatores limitantes na geração de MDEs por cartografia sistemática e, conseqüentemente, da extração da rede de drenagem a partir desses dados (RIBEIRO et al., 2005).

Nos últimos anos a disponibilidade de dados topográficos orbitais tem facilitado a obtenção de MDEs que podem ser adquiridos a partir de sensores óticos, *Light Detection And Ranging* (LIDAR) e radares a bordo de aviões, espaçonaves ou satélites (SALGADO, 2011). Desta forma, a aquisição de MDEs a partir de sensores orbitais e o processamento desses dados em SIGs têm sido uma alternativa eficiente em relação aos métodos tradicionais, principalmente na possibilidade da extração automática de redes de drenagem

e no levantamento de informações em áreas que não dispõem de registros altimétricos.

Atualmente, os dados da *Shuttle Radar Topograph Mission* (SRTM), do *Global Digital Elevation Model* (GDEM) e do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA) tem se destacado para a elaboração de MDEs derivados de SR orbital, devido à disponibilidade gratuita e a qualidade dos dados gerados. Entretanto, Fernández (2011) e Ribeiro et al. (2005) ressaltam que, apesar das vantagens desse tipo de informação como a disponibilidade gratuita dos dados e a economia de tempo e mão-de-obra, nem sempre é possível obter informações de drenagem fiéis à paisagem, devido à perda de informação que ocorre desde a aquisição até a extração desses dados nos MDEs.

A extração automática eficiente da rede de drenagem depende das características do MDE, como resolução espacial e nível de processamento, da escolha do algoritmo que define a direção do fluxo hídrico e do limiar para o cálculo da área de captação. Em regiões em que a largura dos cursos d'água é menor que o tamanho do *pixel* da imagem não é possível identificar essas feições, entretanto, em regiões em que a largura do curso d'água é superior ao tamanho do *pixel*, os dados finais apresentam o efeito de sinuosidade artificial. Neste contexto, Valeriano (2008) ressalta que erros posicionais registrados nestes dados são maiores quanto menor a declividade, i.e., em terrenos planos um desnível pequeno pode corresponder a um grande deslocamento horizontal.

Nobre et al. (2011) demonstram que a utilização de dados em escala cartográfica inadequada para identificar a rede de drenagem podem resultar em erros grosseiros na estimativa final das APPs ciliares. Esses autores ressaltam que em escala municipal a extensão da rede de drenagem adquirida a partir de dados em diferentes escalas, derivados de modelos digitais de elevação com 30 m de resolução espacial e de cartas topográficas na escala

1:100.000., podem apresentar diferenças de até 4,3 vezes na densidade da rede de drenagem.

Diferenças no valor de área total ocupada pela rede de drenagem no município de São José do Ubá no Estado do Rio de Janeiro a partir de dados derivados de diferentes fontes (modelos digitais de elevação e cartas topográficas) também foram encontradas por Fernandes et al. (2011). Embora a resolução espacial dos modelos digitais de elevação tenha influência na identificação das APPs, a delimitação dessas áreas a partir das cartas topográficas pode apresentar erros de comissão e omissão, devido à fotointerpretação e ao pré processamento a partir do processo de vetorização (CARDOSO et al., 2006).

De acordo com Valeriano (2008), os valores de altitude referentes aos dados SRTM também representam superfícies refletivas como dossel de árvores e telhados de edificações. Dessa forma, esses dados podem ocultar feições topográficas da superfície do terreno em regiões como a Amazônia, em que a vegetação predominante é caracterizada por florestas densas e altas, resultando em um efeito dossel extremo, e portanto, tornando limitada a aplicação desses dados na região.

Rennó et al. (2008), propuseram o algoritmo *Height Above the Nearest Drainage* (HAND) para a extração automática da rede de drenagem. A partir da rede de drenagem extraída do MDE, a diferença entre cada elemento do MDE é o ponto mais próximo associado à rede de drenagem extraída. O valor da altitude de um determinado ponto é definido pela posição que este ponto se encontra em relação ao curso d'água que deságua, iniciando uma contagem a partir de zero (na drenagem) e aumentando na medida em que se distancia da drenagem. Os resultados do HAND são dependentes da qualidade e das correções do MDE utilizado, da resolução espacial e da complexidade da paisagem analisada. Desta forma, como mencionado por Valeriano (2008), se o HAND for derivado dos dados SRTM seus resultados serão influenciados pelo efeito dossel.

Para a identificação automática de APPs de topos de morro, em linhas de cumeada e consequentemente de APPs ciliares Ribeiro et al (2002) propuseram uma metodologia baseada na modelagem numérica do terreno e totalmente implementada em SIG. Neste método utilizam o conceito de modelo hidrologicamente consistente (MDEHC) que se caracteriza pela coincidência entre a drenagem derivada numericamente e a hidrografia real. Como base utiliza um prévio mapeamento da rede de drenagem e de divisores de água, sendo que na sequência são realizados refinamentos no MDE ao longo da calha dos rios, derivando-se a direção de escoamento e assegurando que o escoamento superficial convirja para a calha do rio e de dentro da calha para o exutório da bacia.

Valeriano (2008) sugere uma abordagem mista para a identificação da rede de drenagem em grandes extensões geográficas. Ressaltando que devem ser considerados mapas, imagens de sensoriamento remoto e as derivações de dados SRTM. Desta forma, primeiramente deve-se digitalizar as redes de drenagem provenientes de mapas de qualidade conhecida a fim de manter o padrão de posicionamento dos cursos d'água. Em seguida, as imagens de satélite poderão servir de apoio para a atualização e refinamento das feições de drenagem. Dados extraídos do SRTM como o delineamento de talvegues, podem contribuir para a identificação de canais de menor ordem.

4 CONSIDERAÇÕES PARA A DELIMITAÇÃO DE APPS CILIARES – PARÂMETROS UTILIZADOS DE ACORDO COM CFB DE 1986

Nas Resoluções CONAMA nº 302 e CONAMA nº 303 estão caracterizados os parâmetros, definições e limites das APPs de reservatórios artificiais e de cursos d'água, nascentes, lagos e lagoas naturais. Esses parâmetros funcionam como base para o levantamento de dados e informações, que além da rede de drenagem, são necessários para a delimitação das APPs ciliares em campo ou a partir de geotecnologias (SOARES et al., 2002; RIBEIRO et al., 2002; RIBEIRO et al., 2004). Entretanto, a subjetividade intrínseca a alguns desses conceitos pode dificultar a interpretação das Resoluções e, consequentemente, a delimitação das APPs até mesmo *in loco*.

Para a delimitação das APPs ciliares a partir de dados de SR é necessário considerar dois parâmetros: a largura de cada curso d'água e a identificação das áreas contempladas como APPs a partir do conceito de nível mais alto do curso d'água, definido na Resolução CONAMA como o nível alcançado por ocasião da cheia sazonal do curso d'água perene ou intermitente. Embora tenham sido desenvolvidas muitas metodologias baseadas nesses dados como alternativa aos métodos de identificação de APPs ciliares em campo, na maioria das vezes, os métodos propostos estão fundamentados apenas no primeiro parâmetro e acabam gerando informações somente sobre a faixa marginal das APPs ciliares e em quantificações de feições que não retratam a paisagem.

Essas metodologias podem ser consideradas a forma mais simples de quantificação das APPs ciliares, já que ficam restritas à identificação da rede de drenagem e a elaboração de mapas de distâncias ou *buffers*, gerados a partir da determinação da largura dos cursos d'água. Resultados derivados desses métodos, além de conter erros inerentes ao processamento dos dados, i.e., processos de vetorização, interpolação e correção do MDE, sub ou superestimam a quantificação da área das APPs ciliares. A utilização desses

métodos está relacionada com a interpretação errada das Resoluções CONAMA, com o uso de dados em escala cartográfica inadequada para a identificação dessas feições e pela subjetividade intrínseca aos conceitos definidos na legislação ambiental.

Trabalhos elaborados por Fernandes et al. (2011) e Nobre et al. (2011) evidenciam que o conceito de nível mais alto constitui um dos pontos mais controversos e difíceis da legislação ambiental, uma vez que, esse parâmetro pode variar de uma seção do curso d'água para outra, no tempo e ainda, a variação da cheia sazonal pode ocorrer até mesmo durante o intervalo de tempo adotado para estabelecer o nível d'água alcançado. Destacando que apesar da ocorrência do pico sazonal a cada ano, existem flutuações dessas medidas a médio e a longo prazo, devido a alterações climáticas, sendo que os limites extremos do nível mais alto e baixo do rio podem flutuar fortemente em razão de eventos climáticos anuais.

Embora alguns autores tenham abordado que a utilização de dados que permitam uma visão sinóptica das áreas a serem preservadas seja uma alternativa mais eficiente para delimitar APPs ciliares e garantir a preservação dos ecossistemas ripários quando comparadas a faixas pré-definidas estabelecidas pelas Resoluções CONAMA (NOBRE et al., 2011). É importante ressaltar que a delimitação das APPs ciliares a partir da largura dos cursos e corpos d'água é um parâmetro válido para a preservação dessas áreas, uma vez que, o CFB de 1986 não estabelece a delimitação a partir de larguras médias, respeitando os condicionantes geológicos, geomorfológicos e climáticos dos ecossistemas (BOIN, 2005).

Dessa forma, a substituição a esse método poderia implicar em passivos ambientais ainda maiores, na qual nenhum referencial seria utilizado para a preservação e monitoramento dos ecossistemas. Entre outras consequências pode-se citar o aumento no custo da fiscalização, devido ao tamanho do

território brasileiro e dificuldades na implementação e regulamentação de cadastros ambientais e dos imóveis rurais.

5 IDENTIFICAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS APPS CILIARES EM ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR A PARTIR DAS FEIÇÕES DA PAISAGEM

Para identificar e delimitar as APPs ciliares e os passivos ambientais em áreas de cana-de-açúcar foram considerados os parâmetros estabelecidos no CFB de 1986. Desta forma, a área de APPs ciliares foi quantificada a partir do nível mais alto por ocasião da cheia sazonal e das faixas de largura pré-definidas. As APPs ciliares foram mapeadas a partir de dados de sensores remotos, como imagens orbitais de diferentes escalas espaciais e temporais, de levantamentos topográficos oficiais que foram considerados como referência para a identificação das feições e de dados altimétricos orbitais disponíveis.

A metodologia foi baseada nos seguintes procedimentos: (i) seleção da área de estudo, (ii) identificação, mapeamento e correção da rede de drenagem, (iii) classificação da rede de drenagem de acordo com os parâmetros estabelecidos nas Resoluções CONAMA, (iv) identificação e mapeamento das áreas correspondentes ao conceito de nível mais alto por ocasião da cheia sazonal, (v) delimitação das APPs ciliares, (vi) localização das áreas de cana-de-açúcar em áreas de APPs ciliares e (vii) quantificação do passivo ambiental de APPs ciliares em áreas de cana-de-açúcar.

5.1. Área de estudo

A área de estudo correspondeu as áreas produtoras de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo. Para selecionar essas áreas foram utilizados os dados de mapeamento de cana-de-açúcar do projeto Canasat que mapeia e quantifica anualmente a área cultivada de cana-de-açúcar em diferentes ciclos. Desta forma, foram selecionadas todas as regiões do ano agrícola 2009/2010 em que o projeto indicou áreas cultivadas com cana-de-açúcar, nos seguintes ciclos/classes: cana soca, cana expansão, cana reformada e cana em reforma (Figura 5.1).

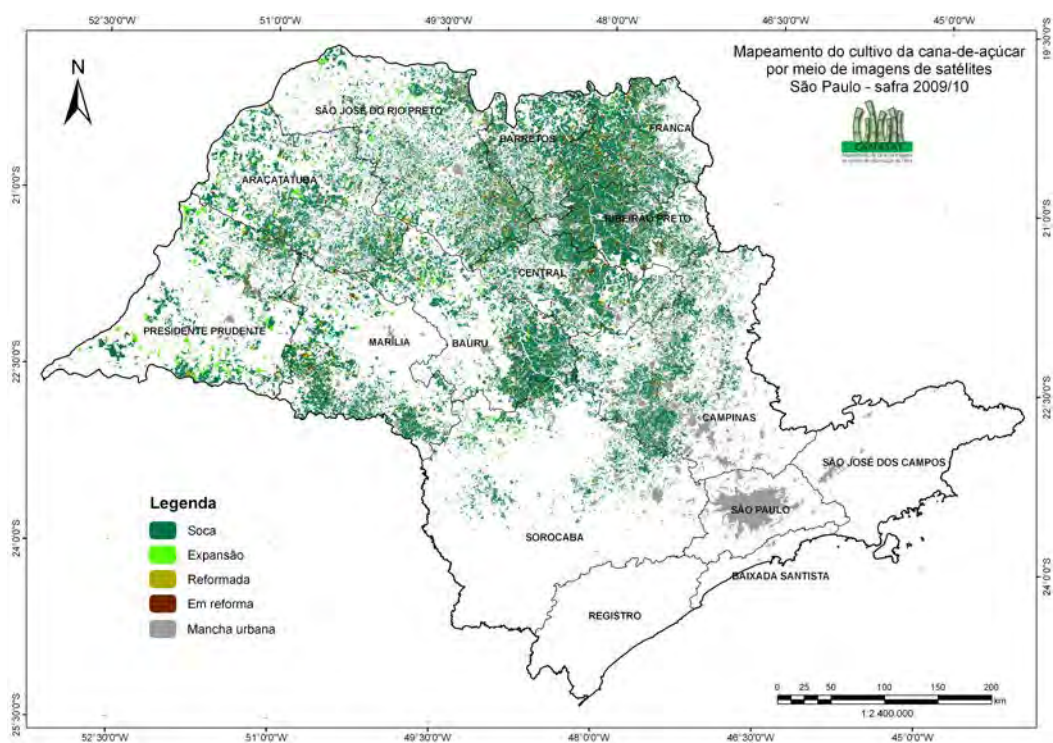


Figura 5.1 - Área de estudo. Mapeamento do Projeto Canasat, áreas cultivadas com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, safra 2009/2010.

Fonte: Canasat (2011).

No mapeamento do Canasat, a classe cana soca corresponde às áreas cultivadas com cana-de-açúcar a partir da primeira rebrota. A classe cana reformada às áreas de cana-de-açúcar que passaram por reforma dos talhões na safra anterior. A classe expansão corresponde a áreas de cana que nas safras anteriores eram destinadas a outros usos da terra e na safra analisada passaram a ser cultivadas com cana-de-açúcar ou deixaram de ser ocupadas pelo cultivo da cana durante o período de 1 a 2 anos. As áreas classificadas como cana em reforma são as áreas que foram cultivadas com cana-de-açúcar na safra anterior, mas que na safra analisada não apresentam padrão do cultivo da cana, mas sim de outros usos e cobertura da terra (AGUIAR et al., 2009).

5.2. Identificação e mapeamento da rede de drenagem

Embora tenham sido testados métodos automáticos como o algoritmo HAND para a identificação da rede de drenagem não foi possível utilizar nenhum procedimento automático para a identificação dessas feições na região de estudo, devido a erros de omissão inerentes a qualidade dos dados originais na qual é originada a topologia HAND. Desta forma, foram utilizadas como referência para a identificação da rede de drenagem as cartas topográficas do Estado de São Paulo na escala 1:50.000 disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) adquiridas no endereço http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/topo_doc1.shtm, os dados de hidrografia do Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE) a partir da base cartográfica digital do Estado, em que foram disponibilizadas no formato vetorial as feições de hidrografia derivadas das 441 cartas topográficas e os limites dos reservatórios do Estado de São Paulo disponibilizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Esses dados foram importados no *software* SPRING 4.3 e posteriormente a área de estudo foi dividida em oito sub-regiões (Figura 5.2). As feições de drenagem foram representadas por linhas, pontos e polígonos, classificadas de acordo com a representação das feições hidrográficas derivadas das cartas topográficas.

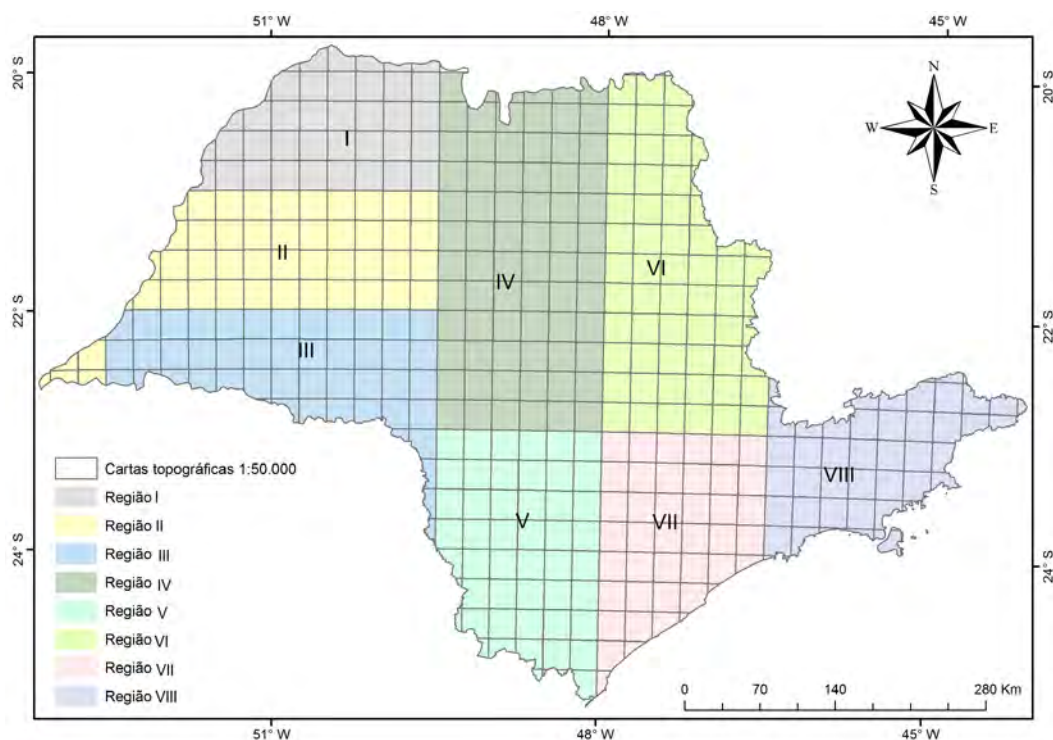


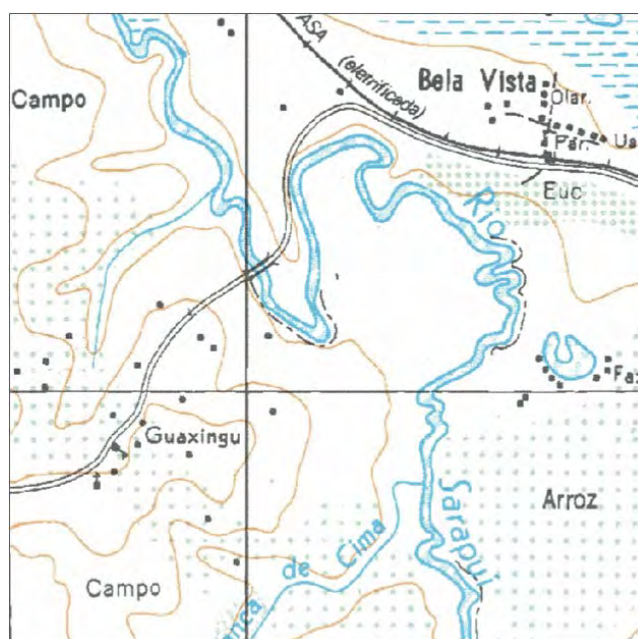
Figura 5.2 - Divisão da área de estudo em oito sub-regiões a partir de cartas topográficas na escala de 1: 50.000 e 1:250.000. Cada quadrícula corresponde a cartas topográficas na escala 1:50.000 e cada sub-região a cartas topográficas na escala 1:250.000.

Foi atribuída a denominação de cursos d'água de margem simples para as feições de drenagem representadas por uma única linha nas cartas topográficas, com tamanho inferior a 10 m de largura, devido à escala da base cartográfica utilizada como referência que não permitiu a representação dessas feições em duas linhas paralelas. As demais feições foram representadas em duas linhas paralelas e receberam a denominação de cursos d'água de margem dupla.

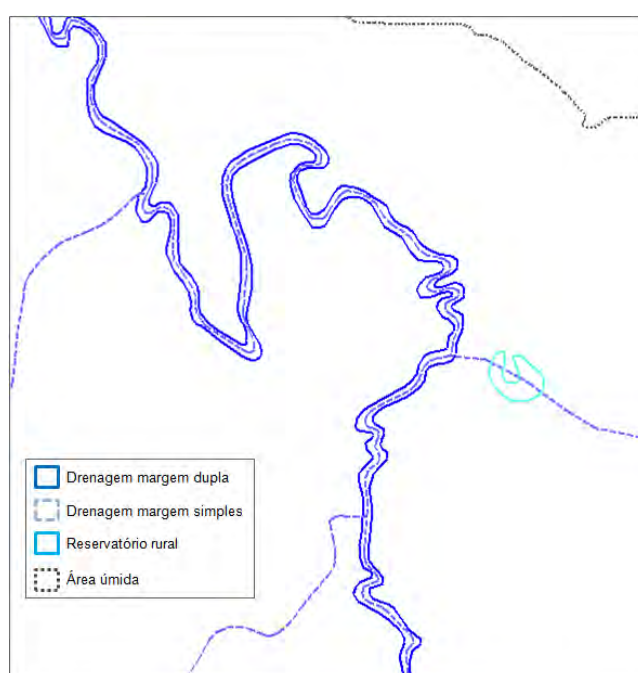
Na sequência, foram corrigidos alguns deslocamentos identificados nas feições das cartas topográficas em relação às imagens de sensores orbitais de datas recentes, mudanças ocorridas nos cursos d'água ao longo do tempo e a inclusão de algumas feições que não existiam no mapeamento derivado da base cartográfica digital. A edição das feições classificadas como margem

simples foi realizada a partir da interpretação visual em imagens de sensores orbitais de média e alta resolução espacial e as disponíveis no aplicativo *Google Earth*. As imagens de média e alta resolução espacial foram correspondentes as do sensor ETM + Landsat 7 do mosaico ortorretificado *Geocover* com 14,25 m de resolução espacial dos anos de 1999 e 2000 que podem ser adquiridas gratuitamente no endereço <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid.pl> e 556 imagens da câmera HRC do satélite CBERS 2B com 2,7 m de resolução espacial.

As feições correspondentes a cursos d'água de margem dupla foram atualizadas automaticamente a partir de uma análise orientada a objeto no *software Definiens 5.0*, em que os parâmetros utilizados serão descritos a seguir. As Figuras 5.3a e b ilustram a identificação das feições de drenagem na carta topográfica que serviu como referência oficial para a identificação da hidrografia e a posterior atualização dos dados.



(a)



(b)

Figura 5.3 – Identificação das feições de drenagem município de Iperó/SP. **(a)** base cartográfica digitalizada do Estado de São Paulo utilizada como referência para a identificação das feições; **(b)** representação em SIG das feições identificadas.

As nascentes foram mapeadas a partir dos cursos d'água classificados como margem simples, sendo correspondentes aos pontos iniciais das feições da drenagem representadas como linhas. Na sequência, foi gerado um arquivo de pontos com a indicação das coordenadas geográficas de cada feição de nascente identificada (Figura 5.4).

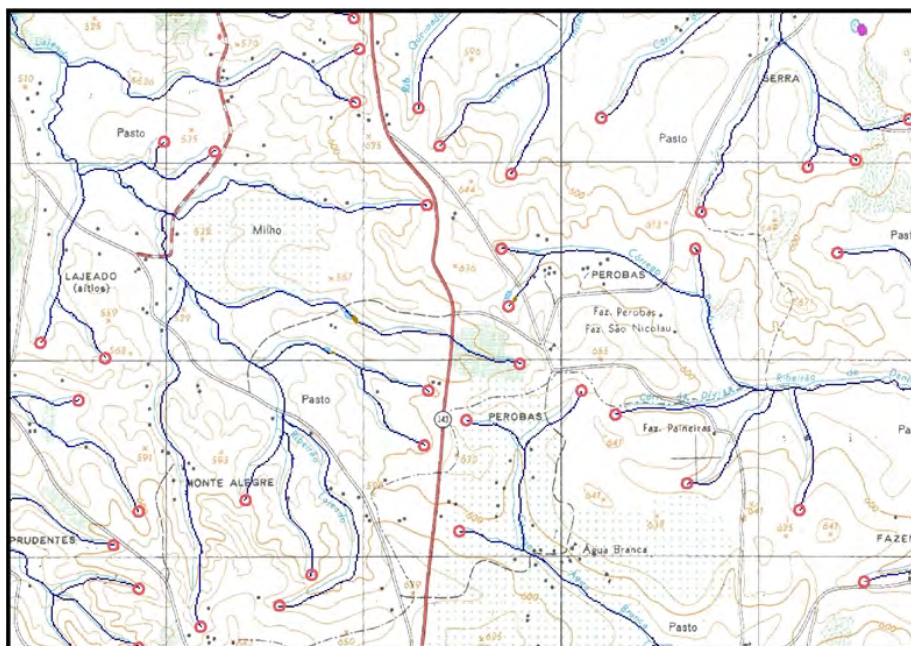


Figura 5.4 - Identificação das APPs de nascente a partir da base cartográfica digitalizada do Estado de São Paulo. Os círculos em vermelho indicam a delimitação das APPs indicada pela Resolução CONAMA (raio mínimo de 50 m).

Assim como a atualização dos cursos d'água de margem dupla, para a atualização dos reservatórios artificiais e dos lagos e lagoas naturais foi realizada uma classificação automática orientada a objeto nas imagens de média resolução espacial. Essa etapa teve como objetivo a identificação de corpos e cursos d'água menores que não foram identificados na interpretação visual e a correção da base cartográfica digital, considerando que depois do levantamento topográfico diversos reservatórios artificiais foram implantados na região, além de corrigir a diferença de ajustes entre os dados do DAEE, das

cartas topográficas do IBGE e das imagens do mosaico *Geocover* que, devido as características geométricas foram consideradas como referência para o mapeamento. Para a classificação automática foram utilizadas imagens orbitais derivadas do mosaico *Geocover* e as disponibilizadas pela base de dados do *Global Land Cover Facility* (GLCF) da Universidade de *Maryland* disponíveis gratuitamente no endereço <http://www.glcf.umd.edu/>.

A classificação orientada a objeto consiste no agrupamento de *pixels* a partir da segmentação da imagem que é considerada uma etapa preliminar à classificação. No processo de segmentação a imagem é dividida em objetos homogêneos e contíguos (BOULOMYTIS; ALVES, 2011). Dessa forma, a identificação dos alvos/objetos não é realizada exclusivamente a partir das características espectrais, mas também considerando aspectos cognitivos da imagem que são características observadas na interpretação visual, como: forma, tamanho, sombra, tonalidade de cor, padrão, textura, localização e contexto espacial (ALVES, 2011).

O processo de segmentação nas imagens correspondeu a duas etapas: na primeira foi utilizado o algoritmo *multiresolution segmentation* e na segunda o algoritmo *spectral difference*. Na primeira etapa foram atribuídos pesos a cada banda selecionada das imagens e valores aos parâmetros de escala, cor, forma e suavidade/compacidade das bordas. Para as duas imagens foram utilizadas as bandas B2 com peso 1, B4 com peso 2 e B7 com peso 1 referentes as regiões do visível e infravermelho próximo e médio do espectro eletromagnético. Em relação aos parâmetros foram testados dois valores de escala - 10 e 20 e definidos os valores de 0,9, 0,1 e 0,5 para os parâmetros de cor, forma e de suavidade/compacidade, respectivamente.

No primeiro processo de segmentação foi utilizado o parâmetro de escala igual a 20, o qual permitiu que fossem delimitados polígonos compatíveis com a escala de trabalho e o tamanho do *pixel* dos dados de origem, caracterizando assim o maior número possível de objetos representativos dos corpos ou

corpos d'água. O algoritmo *spectral difference* é utilizado a partir de uma segmentação pré-existente e busca agrupar objetos que foram subdivididos internamente sem perder a segmentação “fina” resultante da primeira etapa que distingue objetos de interesse, como lagos e lagoas, com dimensão reduzida. O parâmetro utilizado neste processo é o fator de distância espectral que correspondeu a 10. Na Figura 5.5 pode-se observar que após a segunda etapa de segmentação foi reduzido o número de objetos na imagem.

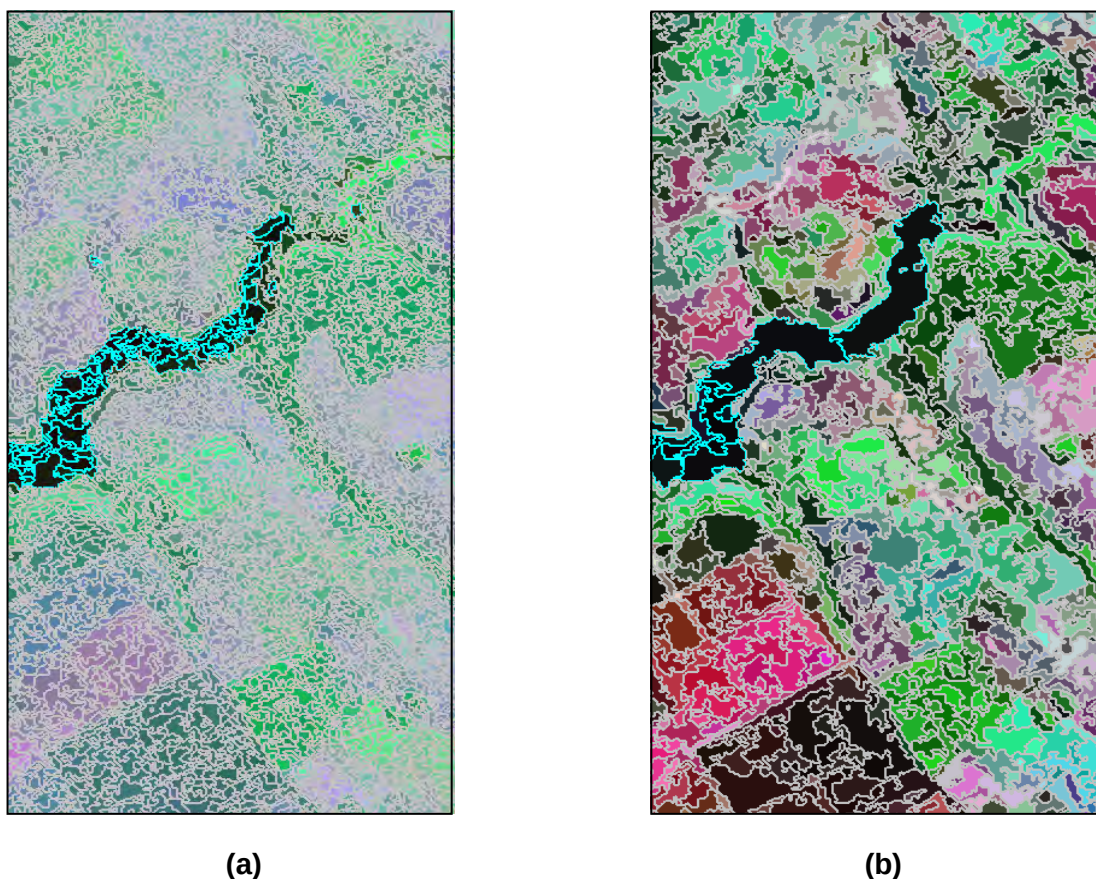


Figura 5.5 – Identificação dos corpos d'água a partir da classificação orientada a objeto na imagem derivada da base de dados do GLCF. **(a)** primeira etapa da segmentação, com parâmetro de escala igual a 20; **(b)** refinamento da segmentação a partir do algoritmo *spectral difference*, com fator de distância espectral igual a 10.

Na sequência foram definidos atributos para a classificação dos cursos e corpos d'água nas imagens. Para isso, foram testados e comparados dois atributos de classificação, o primeiro correspondeu a utilização do índice *Normalized Difference Water Index* (NDWI) proposto por Feeters (1996) utilizado para realçar as feições d'água nas imagens. O NDWI é obtido a partir da razão da diferença e da soma das bandas nas faixas do visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético (Equação 5.1).

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (5.1)$$

Em que: Green e NIR correspondem às bandas nas faixas do verde e infravermelho próximo do espectro eletromagnético, respectivamente.

Nesse processo foram selecionadas amostras que serviram para gerar uma função *fuzzy* de pertinência. Essa função permite associar um objeto a partir do maior grau de pertinência do objeto a determinada classe de um atributo selecionado para a mesma classe. Dessa forma, a função *fuzzy* de pertinência é elaborada a partir de histogramas derivados dos valores encontrados no conjunto de amostras, definindo os valores dos limiares da função e do grau de pertinência associado ao atributo e aplicado na classificação dos objetos (ALVES, 2011).

O segundo atributo correspondeu ao cálculo da média das bandas 2 e 4 das imagens. A escolha das bandas foi baseada no conhecimento do intérprete das feições d'água da região de estudo. Para esse atributo os limiares da função e o grau de pertinência associado também foram definidos a partir da função *fuzzy* de pertinência (Figura 5.6)

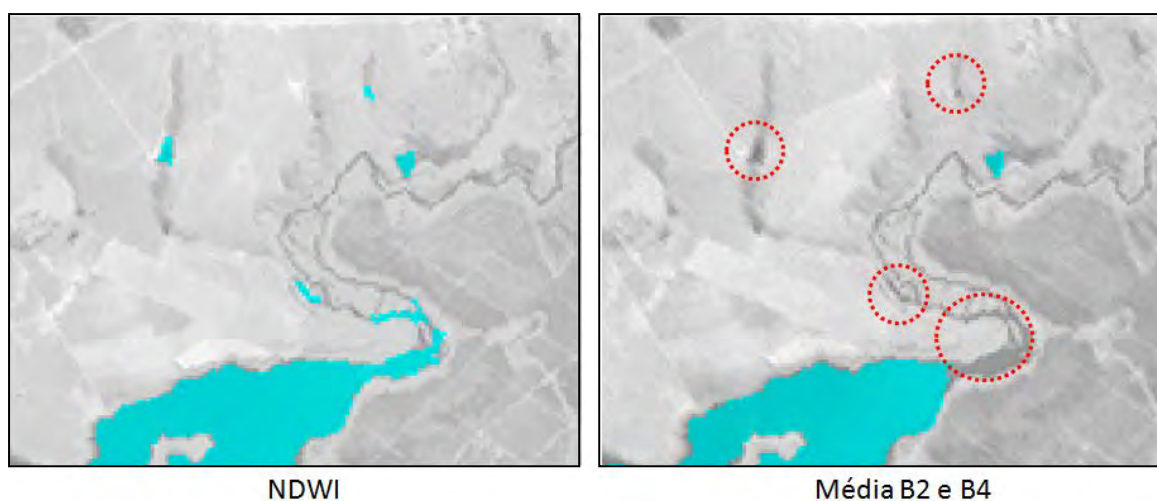


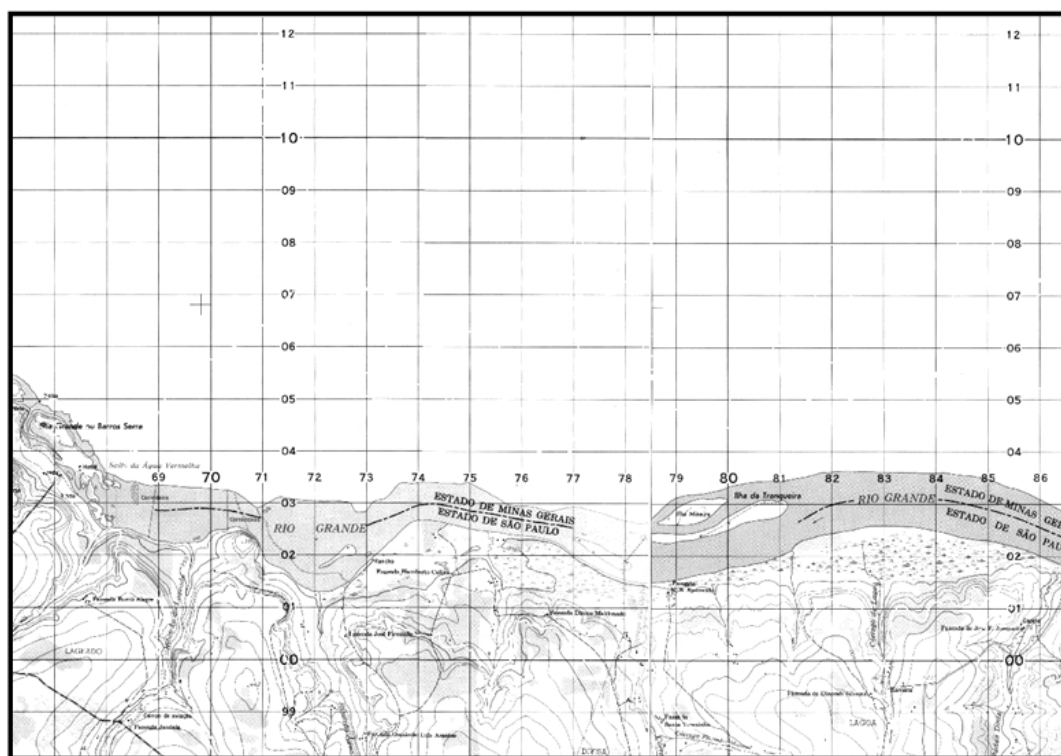
Figura 5.6 - Resultado da classificação obtida a partir do atributo NDWI e da média das bandas 2 e 4, imagens GLCF. As linhas tracejadas na cor vermelha indicam as diferenças no mapeamento.

Na Figura 5.6 pode-se observar que o atributo NDWI utilizado para a classificação dos corpos e cursos d'água apresentou melhores resultados quando comparado ao atributo de média nas imagens da base de dados do GLCF. Entretanto, para as imagens do mosaico Geocover que apresentam pré-processamentos, como contrastes pré-definidos, a classificação a partir do atributo NDWI não se mostrou eficiente para a separação das feições d'água, ocorrendo confusão com as áreas de solo exposto. Dessa forma, a classificação nessas imagens foi realizada a partir da média das bandas 2 e 4.

Para refinar a classificação automática em regiões de relevo montanhoso na qual a presença da sombra é confundida com as feições d'água foi utilizado além do atributo média das bandas 2 e 4, o atributo textura - homogeneidade no nível de sub-objeto derivado do *GLCM homogeneity*. A partir de uma função booleana para o atributo textura foram classificadas como cursos ou corpos d'água as feições que tinham textura (*GLCM homogeneity*) menor que 0,055 e atendiam aos demais atributos escolhidos. As feições que apresentaram textura (*GLCM homogeneity*) maior que 0,055 foram classificadas como sombra. Posteriormente à classificação automática foi realizada a verificação

do mapeamento a partir das imagens de alta resolução espacial disponíveis para a área de estudo.

As Figuras 5.7a e b evidenciam a necessidade de atualização dos dados da base cartográfica digital do Estado de São Paulo, em que nas cartas topográficas de aproximadamente 50 anos atrás o reservatório da hidrelétrica Água Vermelha ainda não tinha sido implantado no rio Grande. Nas imagens do mosaico *Geocover* de um período mais recente já é possível identificar o reservatório localizado na divisa entre os Estados de São Paulo e Minas Gerais.



(a)

Figura 5.7 - Mapeamento de reservatórios artificiais. (a) base cartográfica digital do Estado de São Paulo; (b) reservatório da hidrelétrica de Água Vermelha identificado nas imagens *Geocover* (Continua)



(b)

Figura 5.7 - Conclusão.

5.2.1. Identificação do nível mais alto dos cursos d'água por ocasião da cheia sazonal

Rizzi (2011) ressalta que o nível mais alto dos cursos d'água por ocasião da cheia sazonal, na maioria das vezes, pode ser identificado em campo a partir das marcas da maior altura d'água. As marcas ficam registradas nas áreas durante um determinado período de tempo e permitem identificar o início da faixa vegetativa da zona ripária, evidenciando a importância do conceito de nível mais alto estabelecido no CFB de 1986.

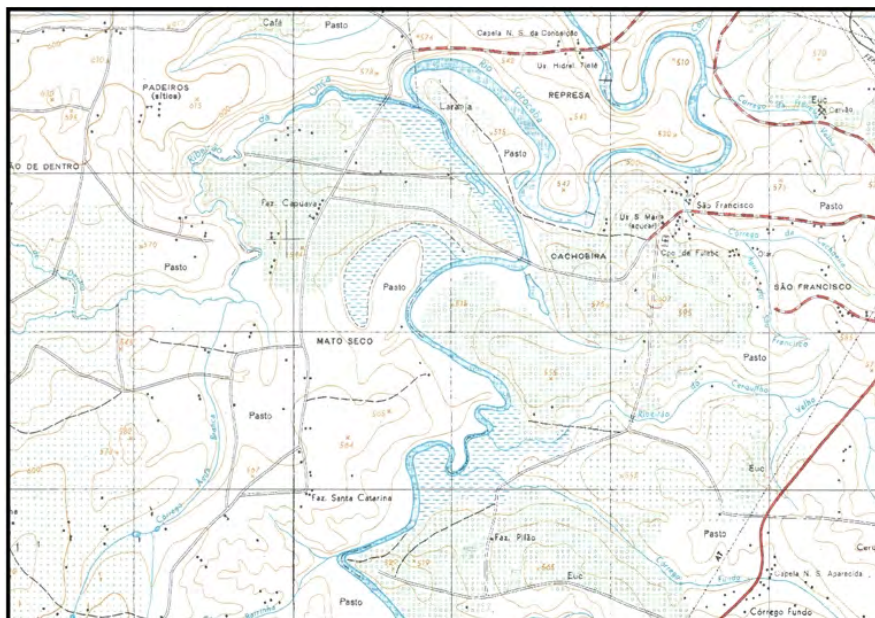
Entretanto, para delimitar as APPs ciliares a partir do conceito de nível mais alto do curso d'água por ocasião da cheia sazonal em dados derivados de sensores remotos, foi necessário identificar nas imagens o padrão espectral típico das feições das áreas úmidas que corresponderam a brejos, pântanos e

terrenos sujeitos a inundação. As características de solo hidromórfico e da vegetação são as formas de manifestação da variação do lençol freático e que, portanto, evidenciam os ecossistemas ripários nas imagens e, consequentemente permitem a sua delimitação.

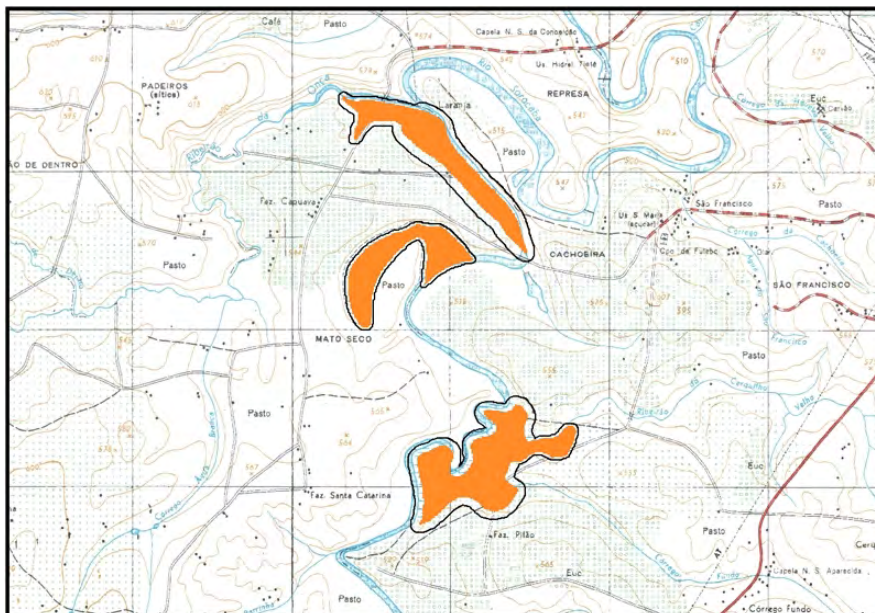
Para o mapeamento dessas áreas foram utilizados a base cartográfica digital, as imagens do mosaico *Geocover*, as imagens de alta resolução espacial e os dados altimétricos derivados do SRTM. As informações da base cartográfica digital possibilitaram a identificação prévia das áreas úmidas (áreas de várzea) que posteriormente foram atualizadas a partir da interpretação visual em imagens do mosaico *Geocover* que, devido à resolução espectral permitiram a identificação mais eficiente das áreas. A delimitação das áreas foi realizada a partir das imagens de alta resolução espacial, na qual se utilizou como referência a identificação prévia realizada nas imagens *Geocover*. Em regiões em que não foi possível a delimitação das áreas exclusivamente a partir das imagens, foram utilizados como informações auxiliares os dados altimétricos derivados do SRTM com o objetivo de facilitar e evidenciar o mapeamento dos limites dessas feições.

Nessa abordagem, foi necessário o refinamento da resolução espacial original dos dados SRTM para a resolução de 14,25 m das imagens *Geocover* a partir de uma interpolação bicúbica (CREPANI; MEDEIROS, 2007). O resultado desse processamento foi uma nova grade regular com 14,25 m de resolução espacial que posteriormente foi combinada com as imagens do mosaico *Geocover*, permitindo evidenciar e delimitar com maior precisão os limites das áreas úmidas. Buscando a operacionalização da metodologia foram testados parâmetros para a classificação automática orientada a objeto das áreas, no entanto, não foram obtidos resultados satisfatórios. Os resultados da classificação automática exigiram refinada edição, evidenciando que para a região de estudo a interpretação visual, na maioria das vezes, é o método mais eficiente para delimitar os ecossistemas ripários. As Figuras 5.8a, b e c ilustram

a delimitação de uma área úmida a partir da interpretação visual nas imagens Geocover.



(a)



(b)



□ Áreas de influência do nível mais alto do curso d'água

(c)

Figura 5.7 – Mapeamento de áreas úmidas no município de Cerquillo/SP. **(a)** áreas de várzea no município de Cerquillo/São Paulo, identificadas na base cartográfica digital; **(b)** atualização das áreas de várzea na base cartográfica digital. Os polígonos na cor laranja indicam as áreas de várzea e as linhas na cor preta indicam o *buffer* com largura pré-definida de acordo com a largura do curso d'água e **(c)** imagem ETM + Landsat 7, mosaico *Geocover*, em que os polígonos na cor branca indicam as mesmas áreas de várzea de **(a)** e **(b)** e que deverão ser preservadas.

Nesse contexto, é importante ressaltar que a utilização de imagens de média resolução espacial como as derivadas do mosaico *Geocover* de 14,25 m não comprometem a identificação e o mapeamento das APPs e a fiscalização do CFB. A partir dos parâmetros e do conceito de nível mais alto por ocasião da cheia sazonal estabelecidos no CFB de 1986 mesmo os cursos d'água classificados na primeira categoria de APPs ciliares são representados por polígonos e não por linhas, como acontece em métodos que identificam faixas

marginais de APPs ciliares, ficando dependentes apenas da utilização de imagens de alta resolução espacial.

5.3. Delimitação das APPs ciliares

Nesta etapa, os cursos d'água foram classificados de acordo com a largura, os lagos e lagoas naturais de acordo com o tamanho, forma atual, localização rural ou urbana e os reservatórios artificiais de acordo com a área, localização e tipo de uso. A Tabela 5.1 apresenta as feições que foram identificadas, sua representação em ambiente SIG e a largura da APP definida a partir das Resoluções CONAMA.

Tabela 5.1 - Identificação das feições de drenagem em ambiente SIG e suas respectivas classes de APPs. Na tabela (m) corresponde a metros e (ha) a hectares.

Feições identificadas (m)	Representação das feições	Largura das APPs (m)
Curso d'água margem simples - 10	Linha	30
Curso d'água margem dupla - 10 a 50	Polígono	50
Curso d'água margem dupla - 50 a 200	Polígono	100
Curso d'água margem dupla - 200 a 600	Polígono	200
Curso d'água margem dupla maior que 600	Polígono	500
Nascentes	Ponto	50
Nível mais alto (áreas úmidas)	Polígono	Largura do curso d'água
Reservatório Urbano	Polígono	30
Reservatório Rural	Polígono	100
Reservatório de hidrelétrica menor ou igual a 10 há	Polígono	15
Reservatório Rural menor ou igual a 20 ha	Polígono	15
Reservatório menor que 5 ha	Polígono	0
Lago ou Lagoa Urbana	Polígono	30
Lago ou Lagoa Rural	Polígono	100
Lago ou Lagoa Rural menor ou igual a 20 ha	Polígono	50

Como supracitado a largura das APPs ciliares é definida pelas Resoluções CONAMA, entretanto, para delimitar essas áreas em SIGs é necessário realizar um mapa de distância para cada classe de APP. Comumente esses mapas são

chamados de *buffers* e correspondem a uma análise de proximidade na qual são geradas zonas com distâncias pré-definidas em torno de um ou mais elementos do mapa. Os mapas de distância podem ser definidos como uma área de extensão regular que é desenhada automaticamente ao redor de um ou mais elementos vetoriais como pontos, linhas e polígonos espacialmente definidos (BURROUGH, 1998).

A especificação da largura do *buffer* no CFB é depende da largura e do tamanho das feições da rede de drenagem, neste caso, as medidas das feições foram identificadas manualmente a partir da verificação da largura ou da área correspondente a partir da ferramenta de operações métricas do *software* SPRING, como área/perímetro e comprimento. Para os cursos d'água foram feitas manualmente verificações da largura ao longo das feições, estabelecendo a medida do *buffer* em função do maior valor de largura encontrada ao longo do curso.

Na região de estudo não foram verificadas diferenças significativas nas larguras dos cursos d'água, dessa forma não foram necessárias para um único curso d'água múltiplas classificações de APPs. Entretanto, caso fossem identificadas feições com essas características, a metodologia proposta poderia contemplar múltiplos tamanhos de APPs ciliares para uma única feição de drenagem. Posteriormente, à classificação das feições de acordo com o tamanho os *buffers* foram gerados automaticamente em ambiente SIG (Figura 5.9).

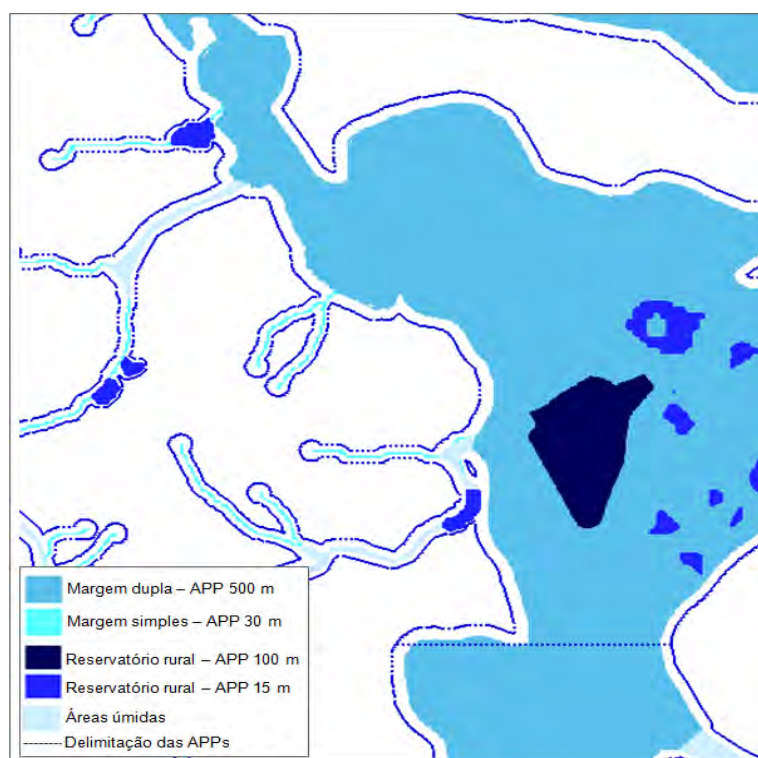


Figura 5.8 – Delimitação das APPs ciliares, município de Iperó/SP. Atualização das feições de drenagem, identificação das áreas que devem ser protegidas e a delimitação das APPs ciliares a partir de larguras pré-definidas.

Na Figura 5.9 estão ilustradas diversas classes de APPs identificadas em função das feições de drenagem mapeadas. Dessa forma, pode-se observar que em relação aos cursos d'água foram identificadas feições que contemplam a menor e a maior categoria de APP ciliar estabelecidas nas Resoluções CONAMA. Cursos d'água de margem simples representados na cor azul claro de até 10 m de largura foram classificados na primeira categoria de APPs, i.e., de até 30 m de largura. O curso d'água de margem dupla localizado no centro da Figura com largura superior a 600 m foi classificado na última categoria de APP correspondente a 500 m de largura. As etapas da metodologia para a identificação e quantificação das APPs ciliares em áreas de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, são ilustradas a seguir nas Figuras 5.10, 5.11, 5.12 e 5.13.

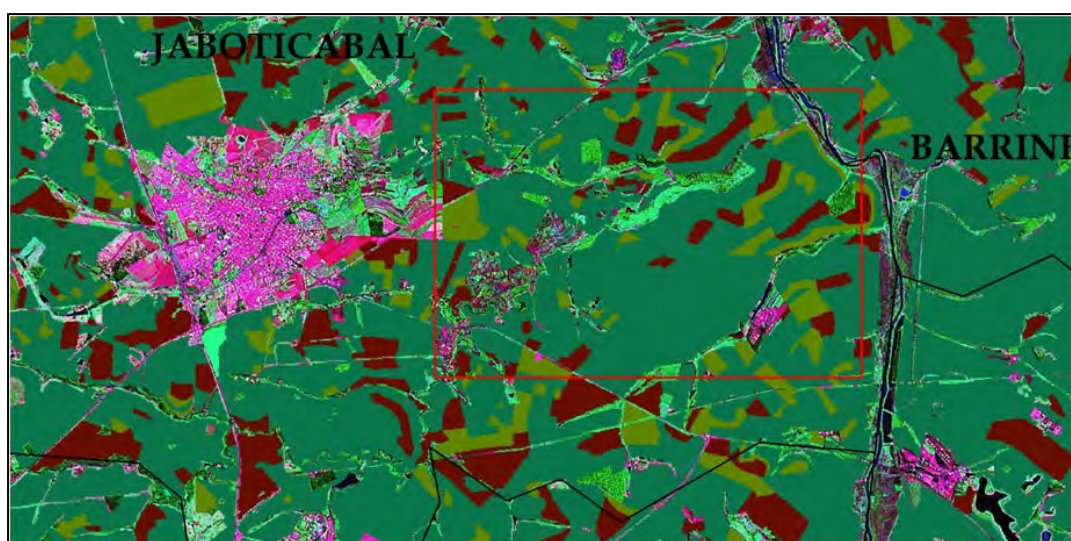


Figura 5.9 - Áreas de cana-de-açúcar no município de Jaboticabal/SP, mapeamento do projeto Canasat. O retângulo em vermelho representa a área analisada.



Figura 5.10 - Imagens referentes ao mosaico Geocover, destacando as feições da região.



Figura 5.11 - Identificação das áreas que deverão ser preservadas a partir das imagens do mosaico Geocover. Os polígonos na cor laranja e na cor azul delimitam as áreas que deverão ser preservadas como APPs ciliares a partir do conceito de nível mais alto.



Figura 5.12 - Delimitação das APPs ciliares. As linhas tracejadas na cor vermelha representam os buffers pré-definidos a partir da largura dos cursos d'água, especificadas nas Resoluções CONAMA.

6 QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR CULTIVADAS IRREGULARMENTE EM APPS CILIARES NO ESTADO DE SÃO PAULO

Para espacializar e quantificar as áreas de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo que durante o período analisado foram cultivadas em APPs ciliares foram sobrepostos o mapeamento das áreas de cana-de-açúcar realizado pelo projeto Canasat e o mapeamento das APPs ciliares a partir da metodologia proposta. As áreas em que o cultivo da cana-de-açúcar sobrepõe as APPs ciliares foram classificadas como de irregularidade ambiental (Figura 6.1a e b).

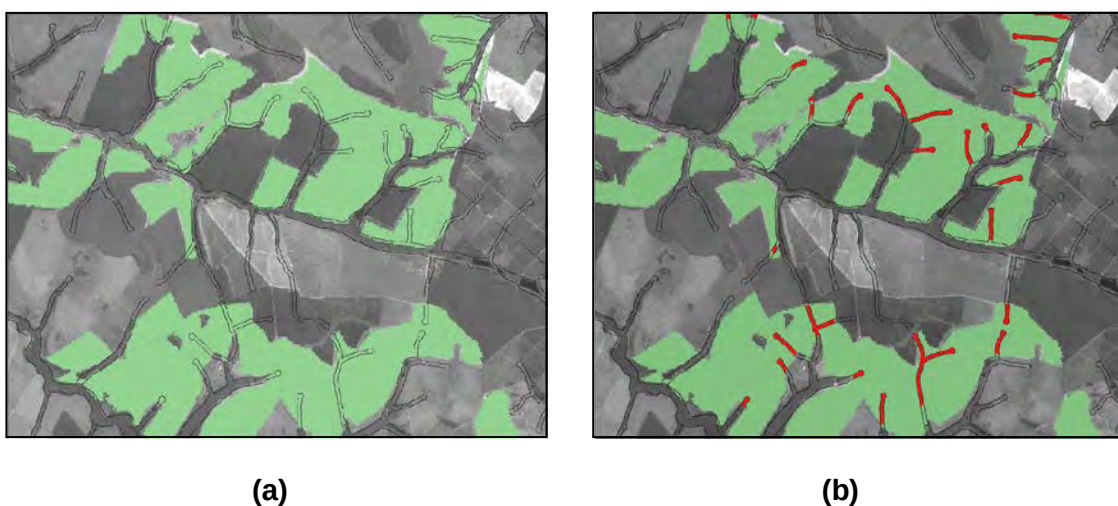
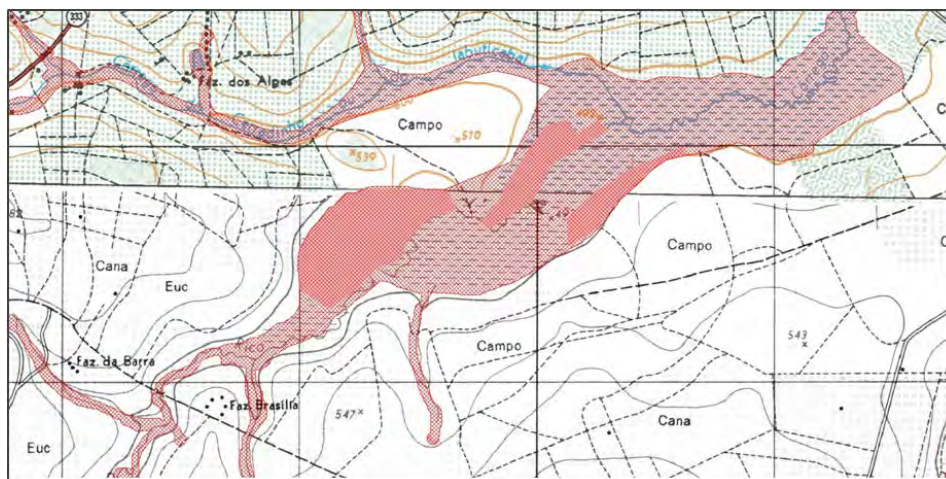


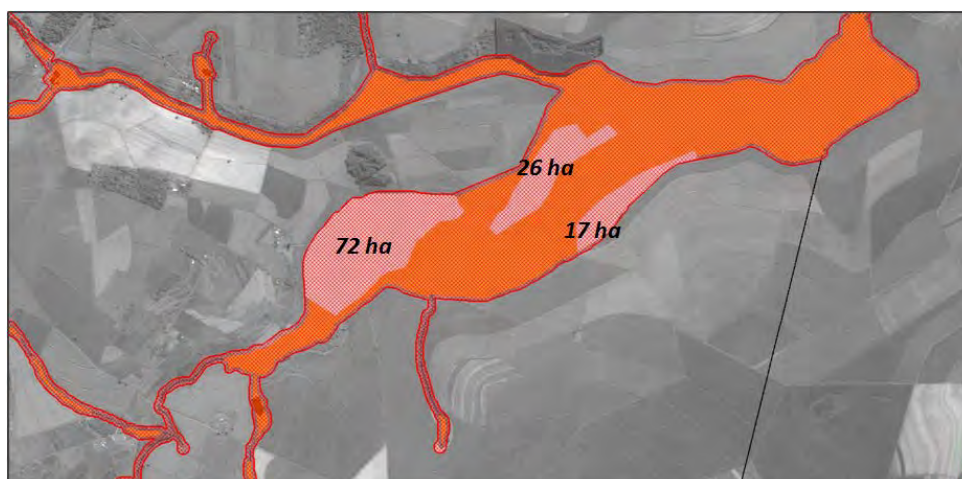
Figura 6.1 - Identificação do passivo ambiental de APPs ciliares em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, imagens HRC CBERS 2B. **(a)** os polígonos na cor verde indicam áreas cultivadas com cana-de-açúcar, as linhas na cor preta representam as APPs ciliares; **(b)** as áreas na cor vermelha indicam o cultivo, da cana-de-açúcar em APPs ciliares.

A irregularidade ambiental em cada área de cana-de-açúcar foi identificada a partir da interpretação visual em imagens HRC CBERS 2B e das disponíveis no aplicativo *Google Earth*, em que foram traçados manualmente os limites das áreas de sobreposição. Posteriormente foi calculada automaticamente a área total de cada polígono delimitado na etapa anterior, o resultado dessa operação foi denominado de área de irregularidade do plantio de cana-de-açúcar em APPs ciliares. As Figuras 6.2a e b ilustram a prévia identificação das APPs na

base cartográfica digital e a delimitação e quantificação dos passivos ambientais a partir de imagens de alta resolução espacial.



(a)



(b)

Figura 6.2 - Passivo ambiental de APPs ciliares em áreas de cana-de-açúcar, município de Jaboticabal/SP. **(a)** área de APP ciliar identificada a partir da base cartográfica digital; **(b)** mesma área de APP ciliar nas imagens HRC CBERS 2B depois da atualização, identificação e quantificação do passivo ambiental.

7 RESULTADOS

As áreas mapeadas como APPs ciliares de acordo com os parâmetros do CFB de 1986 e as áreas de irregularidade ambiental, i.e., ocupadas pela cultura da cana-de-açúcar (CI) podem ser visualizadas na Figura 7.1. Como pode-se observar o mapeamento dessas áreas correspondeu somente à região produtora de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo.

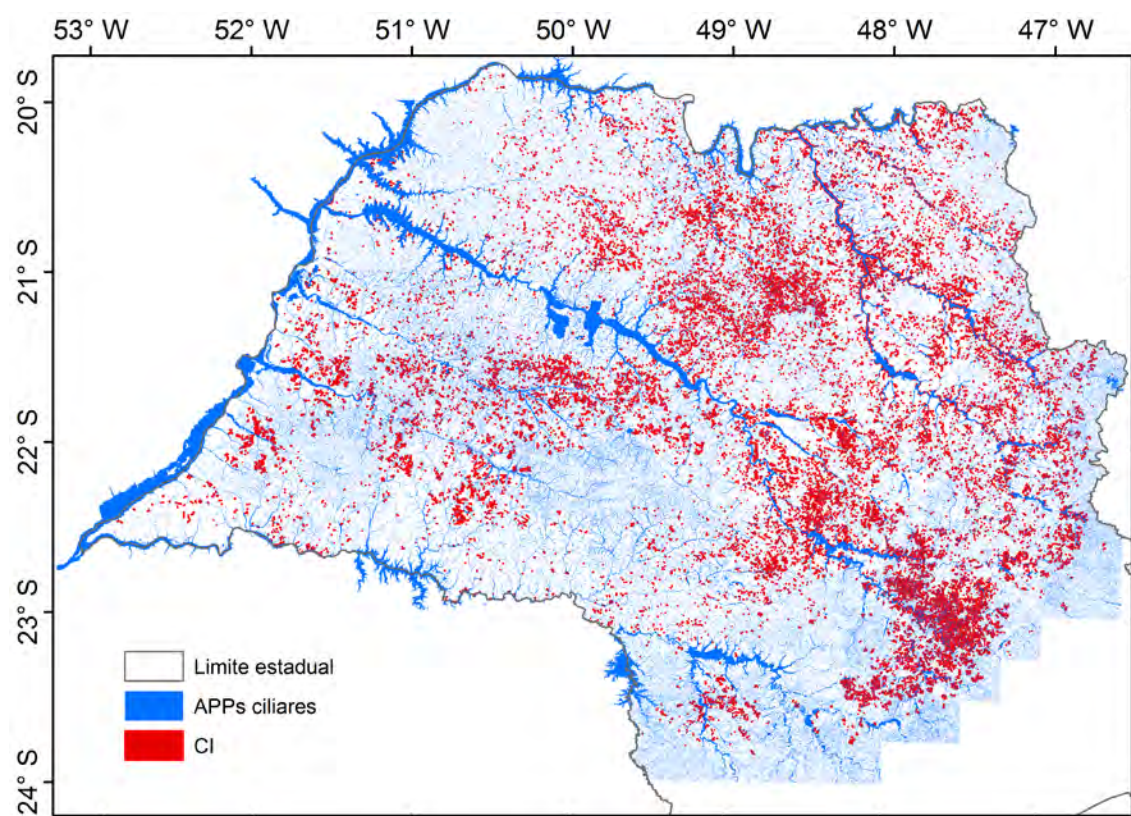


Figura 7.1 - APPs ciliares do Estado de São Paulo e as áreas de APPS ciliares ocupadas irregularmente pelo cultivo da cana-de-açúcar, até o período 2009/2010.

A Tabela 7.1 apresenta a área total de APPs ciliares (APPs) e a área total cultivada irregularmente (CI) com a cultura da cana-de-açúcar (CA). Os resultados são discutidos de acordo com a subdivisão de I a VIII da área de estudo, não considerando a classificação das APP ciliares.

Tabla 7.1 - Quantificação das APPs ciliares cultivadas irregularmente com a cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.

Região	^(a)CA (ha)	^(b)APPs (ha)	^(c)CI (ha)	c/a (%)	c/b (%)
I	469.658,8	458.746,4	3.518,4	0,75	0,77
II	830.203,1	696.211,3	10.456,0	1,26	1,50
III	558.237,8	556.572,9	5.172,9	0,93	0,93
IV	2.025.012,2	753.881,9	25.834,7	1,28	3,43
V	77.348,0	323.689,3	1.623,8	2,10	0,50
VI	1.199.815,9	568.040,1	18.773,5	1,68	3,30
VII	99.260,7	256.483,6	3.919,9	3,95	1,48
VIII	----	----	----	----	----
Total	5.179.536,5	3.622.625,5	69.299,2	1,34	1,91

As regiões VII e V apresentaram o maior valor percentual de áreas de cana-de-açúcar cultivadas irregularmente em APPs ciliares, totalizando 3,95% e 2,10%, respectivamente. Entretanto, mesmo que a região VII apresente o maior percentual de área de cana-de-açúcar irregular, a área total de cana-de-açúcar cultivada nessa região é menor que 100 mil ha.

A região IV tem o maior percentual de APP ciliar ocupada com cana-de-açúcar de 3,43%, seguida pela região VI com 3,30%. De acordo com os dados do projeto Canasat a região VIII que corresponde ao Vale do Paraíba, região da Serra da Mantiqueira e litoral norte do Estado de São Paulo não têm área cultivada com cana-de-açúcar durante a safra analisada, não sendo quantificada nenhuma irregularidade nessa região.

Considerando o total da área cultivada de cana-de-açúcar na safra 2009/2010, de aproximadamente 5 milhões de ha, 1,34% estão cultivadas irregularmente, sendo que o déficit total de APPs ciliares é de 1,91%, o que corresponde a 69,3 mil ha. A partir dessas informações é importante ressaltar que o déficit de APPs

ciliares quantificado está associado apenas às áreas cultivadas com cana-de-açúcar na safra 2009/2010. Dessa forma se fossem observadas as áreas totais das propriedades rurais sucroenergéticas, o déficit das APPs ciliares poderia ser maior, uma vez que, seria contabilizada a área total de abrangência do setor.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir de imagens de sensoriamento remoto de diferentes resoluções espaciais e temporais foi possível delimitar e quantificar 3,62 milhões de ha de APPs ciliares em regiões produtoras de cana-de-açúcar do estado de São Paulo, considerando os parâmetros e os conceitos estabelecidos no Código Florestal Brasileiro de 1986, como o nível mais alto por ocasião da cheia sazonal e as larguras pré-definidas de APPs. A utilização de dados derivados da cartografia sistemática, imagens de diferentes resoluções espaciais e temporais e dados altimétricos do SRTM foram mais eficientes para o mapeamento das APPs ciliares em relação a métodos de classificação automática.

A metodologia proposta foi satisfatória para a delimitação eficiente, de caráter objetivo, em escala adequada e de fácil implementação das APPs ciliares, quando consideradas as características fisiográficas da paisagem. Dessa forma, a dificuldade na identificação das áreas classificadas como APPs a partir do nível mais alto por ocasião da cheia sazonal e de dados em escala adequada não é justificativa para a falta de monitoramento, fiscalização e para mudanças nos parâmetros estabelecidos no Código Florestal analisado. Sendo que os parâmetros do Código Florestal de 1986 contemplam a manutenção e a conservação dos condicionantes geológicos, geomorfológicos, climáticos e dos serviços ecossistêmicos oferecidos pelos ecossistemas ripários.

As APPs ciliares cultivadas irregularmente com a cultura da cana-de-açúcar totalizam 69,3 mil ha. Entretanto, esses dados juntamente com informações de outros usos e cobertura da terra tornam possível a quantificação do déficit de APPs ciliares na região de abrangência do setor sucroenergético, informação que pode aumentar o total de irregularidade ambiental obtido. Embora, as informações geradas sejam dependentes da escala de análise e da qualidade dos dados utilizados, essas características não são limitantes à utilização de geotecnologias para a delimitação das APPs ciliares já que o método proposto

é passível de refinamento em um curto espaço de tempo, permitindo o monitoramento dessas feições em grandes extensões geográficas.

A delimitação eficiente dessas áreas permite o planejamento, a ordenação e a identificação dos padrões e processos do uso e cobertura da terra. As geotecnologias disponíveis atualmente possibilitam obter dados confiáveis para a quantificação dos passivos ambientais de APPs ciliares nas áreas rurais brasileiras, considerando a legislação ambiental. A quantificação das APPs ciliares a partir do leito regular do rio pode simplificar o processo de interpretação visual nas imagens de sensoriamento remoto, no entanto, as informações ficarão limitadas a qualidade dos dados da rede de drenagem e a utilização de imagens de média e alta resolução espacial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; RUDORFF, B. F. T.; SUGAWARA, L. M.; CARVALHO, M. A. Expansão da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: safras 2003/2004 a 2008/2009. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 9-16. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15801-PRE/10411). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.18.21>>. Acesso em: 10 set. 2011.

ALVES, C. D. **Mudanças da cobertura e uso da terra em uma área de expansão da cana-de-açúcar com uso de dados TM-Landsat e EVI2-MODIS e análise baseada em objetos**. versão: 2011-09-06. 156 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3AC9AQL>>. Acesso em: 10 out. 2011.

BARBIERI, R. F. **Por que fazendeiros mantêm fragmentos de cerrado em suas propriedades?** Dissertação de mestrado - Universidade São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2004.

BOIN, M. N. **Manual prático da promotoria de justiça do meio ambiente**. Áreas de Preservação Permanente: uma visão prática. 3. ed. São Paulo, SP: Ministério Público do Estado de São Paulo, 2005. p. 849-861.

BOULOMYTIS, V. T. G.; ALVES, C. D. Classificação de imagens TM5-Landsat com análise orientada a objeto para a verificação da expansão urbana de Bueno Brandão, MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1036-1042. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A2PMR2>>. Acesso em: 10 out. 2011.

BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R. Implicações do cumprimento do código florestal vigente na redução de áreas agrícolas: um estudo de caso da produção canavieira no Estado de São Paulo. **Biota Neotrópica**, ISSN: 1676-0603, v.10., n. 10, p. 63 - 66, 2010.

BRASIL. **Legislação** - Código Florestal. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm> Acesso em: 20 jul. 2011.

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems** - spatial information systems and geostatistics. Oxford: University Press. 1998. 333p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos – INPE, 345p., 2001. Disponível em: <http://www.geolab.faed.udesc.br/paginaweb/Pagina%20da%20disciplina%20geop_files/introducao.pdf> Acesso em: 28 ago. 2011.

CARDOSO, C. A. C.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P.B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa - Minas Gerais, v. 30, n. 2, p. 241 -248, 2006.

CONAMA. **Resoluções**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiano.cfm?codlegitipo=3>> Acesso em: 13 ago. 2011.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. Criação automática de vetores para mapeamentos temáticos e espacialização de aspectos da legislação ambiental a partir de grades refinadas do SRTM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2501-2508. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.18.13>>. Acesso em: 18 jul. 2011.

FERNANDES, P. J. F.; FRANCISCO, C. N. SIG aplicado ao mapeamento de Áreas de Preservação Permanente em São José de Ubá-RJ utilizando diferentes fontes de dados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 4655-4662. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTW/3A5HH2E>>. Acesso em: 14 ago. 2011.

FERNANDÉZ, D. C. J. **Avaliação de algoritmos e modelos digitais de elevação para extração automática da drenagem**. 2011-05-09. 106 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/39K8BSL>>. Acesso em: 12 jun. 2011.

HOLMES, K. L.; GOEBEL, P. C. A functional approach to riparian area delineation using geospatial methods. **Journal of Forestry**, p. 233-241, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Projeto Prodes** - Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite. 2011. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>> Acesso em: 14 jul. 2011.

_____. **CANASAT**. Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da terra. Mapas e gráficos. 2011a. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/mapa.html>> Acesso em: 20 jul. 2011.

LEONARDI, S. S. **Uma ferramenta computacional para delimitação automática de áreas de preservação permanente em topos de morros e montanhas**. 2010. 68 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2010/11.16.13.31-TDI).

Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/38K8K78>>. Acesso em: 15 jun. 2011.

LIMA, E. C. R.; LIMA, S. C. Preservação ambiental e a reserva legal das propriedades rurais no Estado de Minas Gerais: aspectos jurídicos. **Caminhos da geografia** – revista on line, p. 1-12. ISSN 1678-6343. Disponível em: <<http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>> Acesso em: 9 set. 2011.

MARTINELLI, L. A.; JOLY, C. A.; NOBRE, C. A.; SPAROVECK, G. A falsa dicotomia entre a preservação da vegetação natural e a produção agropecuária. **Biota Neotrópica**, ISSN: 1676-0603, v.10., n. 4, p. 324 - 330, 2010.

MARTINS, A. K. E.; NETO, A. S.; MARTINS, I. C. M.; BRITES, R. S.; SOARES, V. P. Uso de um sistema de informações geográficas para indicação de corredores ecológicos no município de Viçosa - MG. **Revista Árvore**, Viçosa - Minas Gerais, v. 22, n. 3, p. 373 -380, 1998.

McFeeters, S. K. The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, V. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996.

METZGER, J. P. Bases biológicas para a “reserva legal”. **Ciência Hoje**, v.31., n. 183, 2002.

METZGER, J. P. O código florestal tem base científica? **Natureza & Conservação**, v.8., p. 1- 5, 2010.

METZGER, J. P.; LEWINSOHN, T.M.; JOLY, C. A.; CASATTI, L.; RODRIGUES, R. R.; MARTINELLI, L. A. Impactos potenciais das alterações propostas para o Código Florestal Brasileiro na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos. **Biota Fapesp e ABECO**, v.30., p. 1 -13, 2010.

MIRANDA, E. E de. Terras do Brasil: o alcance da legislação ambiental e territorial. **Revista ECO-21**. Rio de Janeiro, 2008, p. 09.

MOMOLI, R. S. **Dinâmica da sedimentação em solos sob mata ciliares**. 192 p. Tese de doutorado (Doutorado em Agronomia) - Universidade São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2011.

NASSAR, A. M. Reforma do código florestal: onde o IPEA errou. **Rede AGRO** - Rede de Conhecimento do Agro Brasileiro. Disponível em:

<<http://www.redeagro.org.br/artigo-ambiental/262-reforma-do-codigo-florestal-onde-o-ipea-errou>> Acesso em: 26 jul. 2011.

NOBRE, A. D.; SILVEIRA, A.; RODRIGUES, G.; VALLE, R. S. T.; OBREGÓN, G.; AUGUSTO, C.; CANAVESI, V.; CUARTAS, L. A. **Aspectos físicos e geográficos das áreas ripárias no Brasil: análise preliminar da legislação.** Ciência para o Código Florestal. São José dos Campos: Centro de Ciência para o Sistema Terrestre – INPE, 2011. 110 p. Relatório Científico.

PIVELLO, V. R. **Breve histórico da evolução do pensamento conservacionista no Brasil.** Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://eco.ib.usp.br/lepac/conservacao/Artigos/historico.pdf>> Acesso em: 2 set. 2011.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, 112, p. 3469-3481. doi:10.1016/j.rse.2008.03.018, 2008.

RIBEIRO, C. A. A. S.; OLIVEIRA, M. J.; SOARES, V.P.; PINTO, F. A. C. Delimitação automática de áreas de preservação permanente em topos de morro e em linhas de cumeada: metodologia e estudo de caso. In: Sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas aplicados à engenharia florestal. **Anais...** V Seminário de Atualização, Curitiba, 2002.

RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V. P.; MENEZES, S. J. M. C.; LANA, V. M.; LIMA, C. A. Áreas de preservação permanente: espaços (im)possíveis. **Ambiência**, Guarapuava – Paraná, ISSN 1808 -0251, v. 6. Ed. Especial, p. 93 - 102, 2010.

RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V. P.; OLIVEIRA, A. M. S.; GLERIANI, J. M. O desafio da delimitação de áreas de preservação permanente. **Revista Árvore**, Viçosa - Minas Gerais, v. 29, n. 2, p. 203 -212, 2005.

RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V.P. GIS for a greener Brazil: automated delineation of natural preserves. In: ESRI INTERNATIONAL USER CONFERENCE., 2004, San Diego, CA. **Proceedings...** San Diego, 2004. p. 9-13.

RIZZI, N. E. **Alteração do código florestal - conceitos de hidrologia e manejo de bacias hidrográficas (uma discussão necessária).** Disponível em: <<http://www.hidrologia.ufpr.br/joomla/index.php>> Acesso em: 10 out. 2011.

RODRIGUES, R. R.; FILHO, H. F. L. **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2 ed. 1ª reimpr. São Paulo – SP: editora da Universidade de São Paulo, 2004. 320 p.

RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat Data. **Remote Sensing**, v. 2, n. 4, p. 1057-1076, 2010. doi: <10.3390/rs2041057>. Open Access Journal.

SALGADO, M. P. G. **Avaliação dos dados SRTM e GDEM aplicados à modelagem do fator topográfico da USLE**. 2011-08-10. 149 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/39DNLFL>>. Acesso em: 17 jul. 2011.

SILVA, J. A. A.; NOBRE, A.D.; MANZATTO, C.V.; JOLY, C. A.; RODRIGUES, R. R.; SKORUPA, L. A.; NOBRE, C. A.; AHRENS, S.; MAY, P. H.; SÁ, T. D. A.; CUNHA, M. C.; RECH FILHO, E. L. **O Código florestal e a ciência: contribuições para o diálogo**. ISBN 978-85-86957-16-1, São Paulo: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, SBPC; Academia Brasileira de Ciências, ABC. 2011. 124 p.

SOARES, V. P.; MOREIRA, A. A.; RIBEIRO, J. C.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SILVA, E. Avaliação das áreas de uso indevido da terra em uma microbacia no município de Viçosa - MG, através de fotografias aéreas e sistema de informação geográfica. **Revista Árvore**, Viçosa - Minas Gerais, v. 26, n. 2, p. 243 -251, 2002.

SPAROVECK, G.; BARRETO, A. G. O. P.; KLUG, I. L. F; PAPP, L.; LINO, J. A revisão do código florestal brasileiro. **Novos Estudos**, v.89, p. 111- 135, 2011.

SPAROVECK, G.; BERNDDES, G.; KLUG, I. L. F; BARRETO, A. G. O. P. Brazilian agriculture and environmental legislation: status and future challenges. **Environmental Science & Technology**, v.44, n. 16, p. 6046- 6053, 2010.

TREVISAN, G. V. **Análise da cobertura da terra em áreas de preservação permanente em Rondônia: avaliação com imagens de videografia e do sensor TM**. 2009. 150 p. (INPE-16483-TDI/1558). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/08.18.07.32>>. Acesso em: 14 jul. 2011.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (ÚNICA). **Sustentabilidade – Protocolo Agroambiental**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/content/show.asp?cntCode={BEE106FF-D0D5-4264-B1B3-7E0C7D4031D6}>>Acesso em: 22 jul. 2011.

VALERIANO, M. M. **Topodata**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: INPE, 2008. 72 p. (INPE-15318-RPE/818). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24>>. Acesso em: 12 jun. 2011.

YANG, X. Integrated use of remote sensing and geographic information systems in riparian vegetation delineation and mapping. **International Journal of Remote Sensing** , v. 28, n. 2-20, ISSN: 0143-116, p. 353-370. doi:10.1080/01431160600726763, 2007.