

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

RAQUEL ROCHA BORGES

**Análise e detecção de mudanças do uso da terra e cobertura vegetal no Pontal do
Paranapanema, SP, utilizando fotografias aéreas e imagens de satélite RapidEye**

São Paulo

2018

RAQUEL ROCHA BORGES

Análise e detecção de mudanças do uso da terra e cobertura vegetal no Pontal do Paranapanema, SP, utilizando fotografias aéreas e imagens de satélite RapidEye

Trabalho de Graduação Individual
em Geografia da Faculdade de Filosofia,
Letras e Ciências Humanas da
Universidade de São Paulo, para obtenção
do título de Bacharelado.

Área de concentração: Sensoriamento
Remoto e Geoprocessamento

Orientador: Prof. Dr. Fernando Shinji
Kawakubo

São Paulo

2018

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais Gilson Francisco Borges e Renata Vieira da Rocha, bem como meu irmão Ivan Rocha Borges, pessoas incríveis com quem tenho a sorte de conviver. Obrigada por incentivarem todas as minhas escolhas de vida e por serem a base fundamental de todas as minhas realizações.

À FAPESP pelo suporte financeiro a esta pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fernando Shinji Kawakubo pela generosidade em ter aceitado dar continuidade ao trabalho, pela leitura cuidadosa, comentários e sugestões valiosas que propiciaram a elaboração final desta pesquisa.

Ao Pablo Nepomuceno pela grande ajuda, ensinamentos, paciência e tranquilidade que foram fundamentais para o progresso deste estudo.

À equipe do LASERE pelo suporte, acolhimento, companhia e pelos momentos leves durante a pesquisa.

Aos amigos que contribuíram direta e indiretamente para a construção desse trabalho e que sempre estiveram ao meu lado, em especial à Lulu, por me incentivar a dar início à pesquisa, à Michelle e à Bruna pela amizade de sempre e por acompanharem toda a minha trajetória.

Aos amigos da Geografia que tive o prazer de conviver durante esses anos, principalmente a Paixão, Rafa e Victor, pelos momentos divertidos durante a graduação.

Às amigas e aos técnicos de handebol da FFLCH que me ajudaram a aliviar as pressões do trabalho acadêmico, em especial à Carol, que esteve presente em todos os momentos e comemorou comigo cada conquista.

Muito obrigada!

DEDICATÓRIA

Ao Professor Dr. Ailton Luchiari (*in memoriam*) com imensa admiração e gratidão por sua orientação, ensinamentos, paciência, carinho e, sobretudo, pela convivência e apoio nos momentos difíceis ao longo do período de construção deste trabalho. Faltam-me palavras para agradecer a oportunidade que despertou minha paixão pela pesquisa, e é com grande alegria que guardo todos os momentos em meu coração.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo aplicar técnicas de extração de informação de imagens para compreender as dinâmicas de uso da terra e cobertura vegetal para fornecer auxílio ao planejamento territorial. A partir das técnicas de interpretação visual em fotografias aéreas e classificação supervisionada (*Spectral Angle Mapper* - SAM) em imagens orbitais do *RapidEye*, foram realizados mapeamentos a fim de verificar as mudanças de uso da terra e cobertura vegetal a partir de técnicas utilizadas em sensoriamento remoto. A área de estudo está inserida na região do Pontal do Paranapanema, abrangendo parte dos municípios de Teodoro Sampaio, Euclides da Cunha Paulista e Rosana, que enfrenta diversos problemas ambientais devido às práticas inadequadas de manejo dos solos e conflitos entre assentados, provocados pelo modelo expansionista do agrohidronegócio. A comparação entre os produtos obtidos possibilitou a classificação multitemporal do uso da terra e cobertura vegetal na região, e a posterior detecção e mensuração das mudanças dos usos que lá ocorreram.

Palavras-chave: Detecção de mudanças, uso da terra e cobertura vegetal, interpretação de imagens, classificação supervisionada, Sensoriamento Remoto, Sistema de Informação Geográfica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudo.	14
Figura 2: Da esquerda para a direita, imagens dos satélites Landsat com resolução espacial de 30m, Spot com 10 m e Ikonos com 1 m, de uma porção do lago Paranoá de Brasília. Fonte: Meneses e Almeida et al., 2012.	21
Figura 3: Da esquerda para a direita, imagens com resolução radiométrica de 8 e 2 bits. Fonte: Meneses e Almeida et al., 2012.	21
Figura 4: Imagens da região do Pontal do Paranapanema utilizando as bandas do visível (esquerda) e do <i>red edge</i> (direita). Fonte: Raquel Rocha Borges, 2018.	22
Figura 5: Distribuição da intensidade emitida por fontes naturais de radiação eletromagnética. Fonte: Meneses e Almeida et al., 2012.....	23
Figura 6: Assinatura espectral (média) da folha verde. Fonte: IBGE, 2001.	24
Figura 7: Mapa de uso da Terra - amostras.	43
Figura 8: Classes da cobertura e do uso da terra níveis I e II. Fonte IBGE, 2013.....	45
Figura 9: Amostra de área urbana isolada.	46
Figura 10: Amostra de indústria.	46
Figura 11: Amostra de cana adulta.	47
Figura 12: Amostra de cana cortada.	48
Figura 13: Amostra de cana queimada.....	48
Figura 14: Amostra de café.	49
Figura 15: Amostra de pasto limpo.	50
Figura 16: Amostra de pasto sujo.....	50
Figura 17: Amostra de silvicultura.	51
Figura 18: Amostra de silvicultura antiga.	51
Figura 19: Amostra de floresta.....	52
Figura 20: Amostra de floresta degradada.	52
Figura 21: Amostra de floresta ciliar.	53
Figura 22: Amostra de APP não florestada ou área úmida.	53
Figura 23: Amostra de voçoroca.....	54
Figura 24: Amostra de açude.	54
Figura 25: Amostra de aquicultura.	54
Figura 26: Amostra de lago.....	55
Figura 27: Amostra de canal em processo de assoreamento.....	55
Figura 28: Amostra de represa.	56

LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Uso da terra e cobertura vegetal da área de estudo com base na interpretação visual.	57
Mapa 2: Uso da terra e cobertura vegetal com base na interpretação visual – área amostral.	58
Mapa 3: Uso da terra e cobertura vegetal com base na classificação supervisionada - área amostral.	59
Mapa 4: Mapa de detecção de mudanças entre os anos de 2010 e 2013 na área amostral.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Área e evolução dos usos em 2010 e 2013.	60
--	----

SUMÁRIO

1. Introdução.....	9
2. Objetivo.....	13
3. Área de estudo	13
3.1. O Pontal do Paranapanema	13
3.2. História e contextualização	14
4. Fundamentação Teórica	16
4.1. Geotecnologias	16
4.1.1. Sensoriamento Remoto	17
4.1.1.1. Tipos de sensores	19
4.1.1.2. Tipos de resoluções	20
4.1.1.3. Sensoriamento remoto da vegetação	22
4.2. Extração de Informações e Processamento Digital de Imagens.....	24
4.2.1. Interpretação Visual	25
4.2.2. Processamento Digital de Imagem.....	28
4.3. Aplicações do sensoriamento remoto no uso da terra	32
5. Metodologia.....	39
5.1. Materiais e método	39
5.1.1. Elaboração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal: Interpretação Visual	40
5.1.2. Elaboração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal: Processamento Digital de Imagem.....	41
5.1.3. Detecção de Mudanças	43
6. Resultados.....	44
6.1. Chave de interpretação.....	44
6.1.1. Áreas Antrópicas Não Agrícolas.....	45
6.1.2. Áreas Antrópicas Agrícolas	46
6.2. Uso da terra e cobertura vegetal	57
7. Discussão e conclusão	65
8. Bibliografia	68

1. Introdução

O uso de geotecnologias e procedimentos técnicos auxilia no entendimento e inferência sobre os fenômenos estudados pela geografia, como a compreensão das dinâmicas de uso e ocupação da terra, seu levantamento e análise. Permite também monitorar e avaliar as transformações associadas a um recorte temporal e espacial para verificar o processo de apropriação e gestão do espaço. Nesse contexto, o sensoriamento remoto apresenta-se como uma técnica que utiliza fotografias aéreas e/ou imagens orbitais para obtenção de informações do uso e cobertura da terra em um nível de detalhamento adequado, para retratar objetos ou fenômenos na superfície terrestre (JENSEN, 2009).

Considerando a constante evolução da resolução espacial e espectral dos satélites, e o desenvolvimento de novos métodos automáticos para a extração de informação de imagens, o sensoriamento remoto fornece auxílio ao planejamento do território, permitindo avaliar o avanço da exploração dos recursos naturais, os impactos causados pelo manejo inadequado e as práticas econômicas predatórias. Nesse sentido, torna-se cada vez mais urgente o planejamento físico territorial não só com a perspectiva econômico-social, mas também englobando a perspectiva ambiental, tendo em vista os processos que têm causado a degeneração da natureza, como a crescente industrialização concentrada nas cidades, a mecanização da agricultura em sistema de monocultura, à intensa e generalizada implantação de pastagens e a exploração de recursos energéticos e matérias primas (ROSS, 1994).

Um dos casos de processos degenerativos da natureza no Estado de São Paulo é o histórico de ocupação de terras no Pontal do Paranapanema, marcado por conflitos sociais e impactos ambientais negativos devido ao manejo inadequado do solo, apresentando evidências do processo de expansão do capital agroindustrial canavieiro (THOMAZ JUNIOR, 2010). Os efeitos intensivos relacionados às formas de uso da terra e da água ocasionam a degradação das águas, tais como a perda acentuada de água superficial, provocada pelo desmatamento e aceleração da erosão em áreas urbanas e rurais, assoreamento e etc., tendo como consequência o aumento da suscetibilidade dos solos. Além destes fatores, a legalização da grilagem por parte do agrohidronegócio¹ e o processo de legitimação das terras com pendências jurídicas facilitam o desenvolvimento da degradação.

Devido a essas práticas predatórias de ocupação, a deterioração ambiental foi e vem sendo inserida com intensidade nos biomas naturais, restando apenas remanescentes

¹ De acordo com Thomaz Junior (2010), o termo agrohidronegócio refere-se ao modelo de expansão do agronegócio que visa garantir terras planas e férteis, aptas à mecanização, e com disponibilidade hídrica. Dessa forma, o acesso às melhores terras e o controle da água são indissociáveis e são de extrema importância para a expansão do capital.

florestais, como é o caso da Mata Atlântica no Parque Estadual Morro do Diabo, localizado no município de Teodoro Sampaio, que sofre pressão do avanço das monoculturas, e mais recentemente pela atividade pecuária em grandes extensões de terra. É importante destacar que a monocultura da cana-de-açúcar se impõe evidente desde a primeira década do século XXI no que diz respeito às disputas em torno do acesso à terra e a água no Pontal do Paranapanema (THOMAZ JUNIOR, 2010).

A expressiva expansão da cana-de-açúcar no Pontal está ligada, em primeiro lugar, ao relevo plano que permite a utilização de bases mecanizadas, sobretudo para a colheita, e em segundo lugar porque há pouca disponibilidade de terra nas áreas tradicionais de produção da monocultura canavieira em São Paulo, o que faz elevar a demanda em outras regiões. A pouca disponibilidade de terra para o avanço do plantio nas áreas tradicionais de cultivo da cana-de-açúcar faz com que o preço da terra seja elevado, tornando inviável a expansão dos canaviais nestas áreas (BARRETO, 2012). Dessa forma, o capital envolvido nas atividades do agronegócio busca controlar novos locais que tenham disponibilidade hídrica e porções de terras favoráveis, que possibilitam a expansão dos seus negócios, configurando uma nova geografia do espaço agrário no Brasil (GIRARDI et al., 2012).

Outro fator que evidencia a dinâmica da atividade agroindustrial canavieira é a garantia da terra para a produção da matéria-prima, através da formalização dos contratos de parceria e de compra e venda com proprietários regulares. É fundamental destacar que as áreas de cultivo de cana-de-açúcar se sobrepõem às terras com pendências jurídicas, com diferentes situações e estágios processuais, sejam de terras devolutas decretadas, ações discriminatórias ainda em andamento, paralisadas, parcialmente legitimadas, entre outras (THOMAZ JUNIOR, 2010).

Além disso, o avanço da monocultura da cana-de-açúcar promove a ocorrência de conflitos territoriais, consequência da reorganização espacial do processo expansionista do agronegócio. Assim, ocorre uma disputa direta, colocando em oposição o agronegócio, com a participação crescente de grupos estrangeiros, e movimentos sociais, sendo que estes seguem na luta pela melhoria da qualidade de vida dos trabalhadores e da produção de alimentos (WELCH; FERNANDES, 2008). Nessa perspectiva, o processo expansionista do capital está sendo viabilizado econômica e politicamente pela aliança entre capital agroindustrial e latifundiários/grileiros, atingindo os trabalhadores assentados, ao inseri-los na atividade canavieira.

Os assentados sofrem influência direta com essa expansão, pois o modelo de produção canavieira é responsável também pelos impactos sociais. Eles são absorvidos por esta

atividade produtiva, uma vez que trabalham como cortadores de cana (“boias frias”) em condições precárias e temporárias, e por isso, são os que mais sofrem com mão de obra explorada, além de terem a saúde afetada pela fuligem da cana provenientes da queimada, por agrotóxicos etc. Aos poucos os assentamentos acabam fazendo parte da monocultura da cana em parceria com as usinas sucroalcooleiras, substituindo os cultivos antes produzidos, prejudicando a diversidade agrícola na região (THOMAZ JUNIOR, 2010).

Segundo Franco (1998) os pequenos sitiantes são o produto mais cruel do capitalismo porque estão inseridos nas relações sociais capitalistas, mesmo que de forma marginalizada. A agricultura familiar é fortemente afetada pela cultura canavieira, que provoca grande pressão sobre o modo de uso do solo, gerando quadros homogêneos na paisagem, resultando na falta de alternativas econômicas. Como consequência, as comunidades locais passam a ser dependentes da agroindústria, uma vez que as empresas mantêm o controle econômico sobre a região. De acordo com Thomaz Junior (2010), o agronegócio canavieiro em expansão está roubando a identidade camponesa autônoma, ao envolvê-los no circuito produtor, tanto como arrendatários, de parte de suas terras, para o plantio da matéria-prima, quanto como assalariados, no corte da cana-de-açúcar.

Além de serem evidentes os problemas referentes à posse, ao acesso e à propriedade da terra, as leis trabalhistas não são respeitadas, tampouco as normas e códigos ambientais. O avanço dos canaviais implica em diversos problemas socioambientais decorrentes da prática das queimadas, que destrói a cobertura florestal nativa, altera as composições químicas, físicas e biológicas do solo, e provocam a maior utilização de agrotóxicos e herbicidas, para o controle de pragas e de plantas invasoras. Ademais, contamina o lençol freático, os mananciais, causam a liberação de monóxido de carbono e dióxido de carbono para a atmosfera, que consequentemente afetam a saúde humana e reduzem as atividades fotossintéticas dos vegetais (BOMBARDI, 2011, 2012, 2013; TEUBAL, 2008).

Tendo como base este cenário, o presente estudo se enquadra no projeto temático intitulado “Mapeamento e análise do território do agrohidronegócio canavieiro no Pontal do Paranapanema – São Paulo – Brasil: Relações de trabalho, conflitos e formas de uso da terra e da água, e a saúde ambiental²”, que teve como objetivo desenvolver uma abordagem crítica acerca das questões da agroenergia e dos agrocombustíveis, com as atenções voltadas para a expansão e consolidação do capital agroindustrial canavieiro e os impactos nas formas de uso

² Projeto temático financiado pela Fundação Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo número 2012/23959-9.

da terra e da água, e da saúde do trabalhador, no contexto do Polígono do Agrohídronegócio³, no Pontal do Paranapanema.

Para atingir os objetivos, levou-se em conta a correlação entre as formas de uso da terra e da água e a legalização da grilagem por parte do agrohídronegócio. Do ponto de vista metodológico, procurou-se desenvolver metodologias de mapeamento e de aplicação de geotecnologias para apreender o movimento do trabalho e da natureza por dentro das disputas territoriais. Dessa forma, visando atender um dos focos do projeto temático, que foi mapear e analisar as tensões e conflitos provocados pelo modelo agroenergético, no âmbito do processo expansionista do capital agroindustrial canavieiro e os impactos na degradação/contaminação dos solos, nas águas, nas áreas de preservação permanente (APP), na saúde coletiva e dos trabalhadores diretamente envolvidos no processo produtivo, à base de agrotóxicos, defensivos e adubos químicos, a presente pesquisa consiste em comparar as transformações no uso da terra e cobertura vegetal, em parte da região do Pontal do Paranapanema, e suas influências aos projetos de assentamentos rurais, por meio da interpretação e análise de fotografias aéreas e imagens orbitais correspondentes aos anos de 2010 e 2013, respectivamente.

Para tanto, foi estabelecido um recorte da área de estudo, e confeccionado um mapa de uso da terra e cobertura vegetal com base na interpretação visual das ortofotografias cedidas pela EMPLASA, pertencentes ao Projeto de Atualização Cartográfica do Estado de São Paulo (Projeto Mapeia São Paulo), do ano de 2010, na escala de 1: 25.000, com resolução do pixel de 1 metro. Posteriormente, foi realizado o processamento digital de imagem, a partir de imagens do sistema sensor *RapidEye*, do ano de 2013, fornecidas gratuitamente pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA Geo Catálogo), disponíveis em cinco bandas espectrais, correspondendo as faixas do azul, verde, vermelho, *red-edge* e infravermelho próximo. Tal sensor possui resolução espacial de 5 metros com alcance de comprimento de onda entre 440 µm e 850 µm, que possibilitou a elaboração do mapeamento por meio da classificação digital. Por fim, a presente pesquisa permite compreender a dinâmica espacial do avanço da cultura canavieira no Estado de São Paulo e discutir os conflitos abordados pela Geografia Agrária, a partir das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, além de contribuir para a discussão das potencialidades e limitações do uso de diferentes técnicas de classificação.

³ A definição de um Polígono do Agrohídronegócio é discutida na Tese de Livre-Docência do Thomaz Júnior, intitulada “Dinâmica geográfica do trabalho no século XXI (Limites explicativos, autocrítica e desafios teóricos)”. 997p. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2009. Segundo o autor, no perímetro do agrohídronegócio, a monopolização da terra pelo agronegócio superpõe-se ao controle do acesso aos recursos hídricos disponíveis e a serem explorados nos aquíferos.

2. Objetivo

Objetivo geral:

Analisar as transformações no uso da terra e cobertura vegetal na região do Pontal do Paranapanema.

Objetivos específicos:

- 1) Realizar um levantamento do uso da terra e cobertura vegetal com base em fotografias aéreas da região do Pontal do Paranapanema correspondente ao recorte definido no projeto temático.
- 2) Mapear as mudanças de uso da terra e cobertura vegetal em uma localidade específica dentro do recorte do projeto, utilizando fotografias aéreas e imagens orbitais como fonte de dados.
- 3) Aplicar duas técnicas de sensoriamento remoto: a interpretação visual e a classificação supervisionada.

3. Área de estudo

3.1. O Pontal do Paranapanema

A área de estudo está inserida na denominada Região do Pontal do Paranapanema, entre os paralelos 22° 20' e 22° 40' de latitude sul e entre os meridianos 52° 20' e 52° 40' de longitude oeste, abrangendo parte dos municípios de Teodoro Sampaio, Euclides da Cunha Paulista e Rosana (Figura 1). Nesta área encontram-se o Parque Estadual do Morro do Diabo, diversos assentamentos, sob a responsabilidade do Instituto de Terras do Estado de São Paulo (ITESP) e do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), cujas terras são destinadas à atividade pecuária e, recentemente, ao cultivo da cana-de-açúcar.

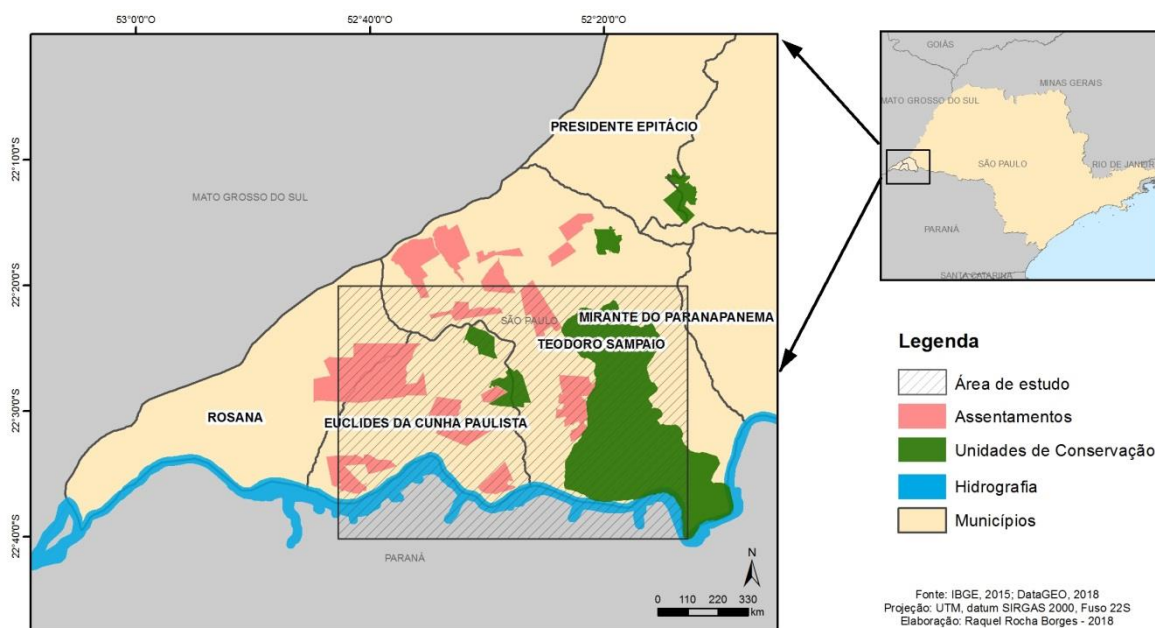


Figura 1: Área de estudo.

3.2. História e contextualização

A região do Pontal do Paranapanema tornou-se conhecida em todo o país, desde 1995, por ser uma das principais regiões de conflitos fundiários do Brasil. Esse fato derrubou a tese que afirmava estar resolvida a questão da reforma agrária no estado de São Paulo (LEITE, 1998). O histórico fundiário do Pontal do Paranapanema, com uma ocupação marcada pelo final do século XIX, mostra o mais conhecido caso de grilagem de terras do país. Sabe-se que o processo de ocupação desta região está extremamente ligado ao intenso processo de degradação dos biomas locais e do genocídio indígena, pois as comunidades e povos que fizeram parte do processo de ocupação, atualmente, não se encontram presentes no local.

De acordo com Leite (1998), até o início do século XIX, a região era desconhecida e desabitada pela civilização brasileira. Apenas índios das tribos Xavantes, Caingangos e Caiuás habitavam a região e poucos brancos tinham tido contato com essas porções de terra. Os bandeirantes, que chegaram ao atual Pontal do Paranapanema sem nenhuma intenção de fixação no território, tinham como missão o aprisionamento de índios para trabalho escravo.

A história de grilagem de terras do Pontal tem seu início em 1856, quando Antônio José Gouvêa teria chegado à franja pioneira oeste e assentado uma imensa gleba de terras, denominada de Fazenda Pirapó-Santo Anastácio (LEITE, 1998). Desde o início do Século XX é sabido sobre a falsidade dos documentos ligados a essa gleba, mas mesmo assim, sua ocupação foi intensificada nos anos 1920, devido à expansão da economia cafeeira e da

necessidade de incorporação de novas terras, urbanas e rurais, a um mercado fundiário que estava crescendo.

Nos anos 1940, o governo estadual, tentando retomar o controle dessas terras, instituiu ali uma imensa reserva florestal - a grande reserva do Pontal. No entanto, as grilagens se expandiram de tal forma que acabaram ocupando a vasta área, restando, da política conservacionista dos anos 1940, apenas o Parque Estadual do Morro do Diabo (PEMD), em Teodoro Sampaio, originário do Decreto no 12.279, de 29 de outubro de 1941⁴. O poder político exercido pelos coronéis estava sempre presente nas suas influências sobre o estado, deputados e governadores. Além disso, os grileiros se apropriaram da natureza e exploraram a mão de obra dos trabalhadores para que estes derrubassem as matas e lhes entregassem as fazendas prontas para, mais tarde, expulsá-los das terras. Dessa forma, esse processo favoreceu os grileiros e levou à miséria as famílias de posseiros sem-terra, ocasionando uma série de conflitos na região (LEITE, 1998).

Apesar de tamanha irregularidade pela qual a ocupação desse território se deu, o seu desenvolvimento econômico esteve sempre atrelado aos empreendimentos e à agropecuária. Algumas ações do próprio estado contribuíram para impactar a área e descaracterizar a natureza, como a construção da Estrada de Ferro Sorocabana, no início do século XX, a construção da rodovia estadual, SP-613, na década de 1970, a construção de um aeroporto municipal, e o represamento do Rio Paranapanema, necessário para a instalação da UHE Rosana. Já na década de 90, por causa das ações do Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST), o Estado, por meio do Instituto de Terras do Estado de São Paulo (ITESP), iniciou um processo de negociação com os grileiros e proprietários do Pontal para arrecadar as terras que foram destinadas à implantação de assentamentos rurais.

Nesse cenário, o contexto sociopolítico do Pontal do Paranapanema caracteriza-se por possuir o maior número de assentamentos e de famílias assentadas da reforma agrária do Estado de São Paulo. Os assentamentos, experiências inovadoras na gestão econômica e social do território, sem dúvida, expressam tensões reveladoras das contradições da chamada agricultura familiar, frente ao poder do grande capital agropecuário e agroindustrial no âmbito do desenvolvimento social no campo paulista. (BARONE, L. et al., 2011). Dessa forma, reproduz-se uma dificuldade de décadas em superar a estagnação econômica produzida por processos de acumulação, da propriedade e de renda da terra, concentradores e rentistas frente

⁴ SÃO PAULO. Leis, Decretos, etc. 1941. Decreto n° 12.279. Coleção das Leis e decretos do Estado de São Paulo, que cria a Reserva Estadual do Morro do Diabo com 37.156,68 hectares.

às dinâmicas de crescimento com investimentos produtivos mais diversificados, geração de empregos e distribuição de renda.

Ainda, cabe destacar neste trabalho, um breve histórico sobre as formas de ocupação de uso da terra e cobertura vegetal do Pontal do Paranapanema. De início, entre os anos 1890 a 1907, a expansão do café, junto com a construção da Estrada de Ferro Sorocabana, de extrema importância para o desenvolvimento do território paulista, foram caracterizados pela derrubada da Mata Atlântica. Posteriormente, a crise cafeeira impulsionou a expansão do algodão, e, a partir dos anos de 1970, a exploração da pecuária extensiva de corte (LEITE, 1998).

Estas novas economias ao serem introduzidas na região, somadas pela industrialização e o crescimento das cidades impulsionaram ainda mais a derrubada de árvores e espalharam-se pelos municípios, pois foram sendo estabelecidas onde originalmente havia Mata Atlântica. Dessa forma, o resultado foi grandes devastações e reduções desta vegetação natural.

Deste modo, a dinâmica da destruição foi sendo pouco a pouco instaurada para a exploração econômica, e os impactos perduram até hoje, sobrando apenas resquícios de mata natural. De acordo com Piroli et al (2012), o histórico processo de desbravamento dos aspectos referentes ao uso da terra da região conhecida como Pontal do Paranapanema acarretou em diversos problemas ambientais, devido as práticas inadequadas de manejo dos solos e a desconsideração da dinâmica natural, que refletem nas condições ambientais de seus recursos naturais, tais como solo, vegetação, recursos hídricos e etc, e atualmente a introdução e generalização da cultura canavieira que provoca assoreamento dos cursos d'água e um processo severo de perda dos solos (erosões e voçorocas).

4. Fundamentação Teórica

4.1. Geotecnologias

O geoprocessamento é utilizado para a geração de informações que fornecem subsídios às análises e ao monitoramento do território, a partir do uso de técnicas matemáticas e computacionais para tratamento de dados obtidos de determinado alvo ou fenômeno, que apresentam uma localização geográfica ou a extração de informações deste alvo ou fenômeno que foram imageados por um sensor (MOREIRA, 2005).

Entre as geotecnologias podemos destacar os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que podem ser definidos como sistemas constituídos por um conjunto de programas computacionais, os quais integram dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido, com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular,

visualizar e analisar esses dados (FITZ, 2008), e o Sensoriamento Remoto, que estão cada vez mais interligadas, pois permitem estudar a dimensão espacial dos fenômenos. O uso de ambientes computacionais de SIG facilita a integração de dados de sensores remotos com outros provenientes de fontes distintas, possibilitando a análise espacial bem como a realização de projeções de cenários futuros (FLORENZANO, 2005).

Em Geografia essas tecnologias têm uma vasta aplicação, dado que mostram os ambientes e suas transformações, destacam os impactos causados por fenômenos naturais e antrópicos, entre outras alterações do uso e ocupação da terra. Elas representam um importante instrumento que permite analisar, produzir e integrar dados em uma mesma base territorial (GENOVEZ et al., 2007).

4.1.1. Sensoriamento Remoto

As técnicas de sensoriamento remoto possibilitam a obtenção de informações de objetos e feições naturais sobre uma determinada área, a partir da interação entre a radiação eletromagnética e os diferentes objetos dos quais se pretende extrair alguma informação para mapeamento, avaliação de recursos terrestres e monitoramento ambiental. O Sensoriamento Remoto constitui, atualmente, como técnica imprescindível para o estudo da Terra e isso só se tornou possível através da evolução dos sistemas sensores.

De acordo com Jensen (2009), o Sensoriamento Remoto é a arte e a ciência de obtenção de informações sobre objetos e fenômenos que se manifestam na superfície terrestre sem estar em contato físico direto com eles. Para Schowengerdt (2007) o sensoriamento remoto é definido como a medida das propriedades do objeto da superfície da Terra utilizando dados adquiridos por aeronaves e satélites, sendo, portanto, uma tentativa de medir algo a distância, em vez de *in situ*. Luchiari et al. (2011) salientam que o Sensoriamento Remoto é o processo de aquisição de dados sem que haja contato direto com o objeto. De maneira semelhante, Meneses e Almeida et al. (2012) utilizam a definição de Sensoriamento Remoto como “uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto”.

Em ambas as definições podem ser constatadas o mesmo objetivo central do uso do Sensoriamento Remoto, a extração de informação a partir do registro da energia ou radiação eletromagnética com a finalidade de obter dados e informações acerca da superfície terrestre ou dos fenômenos e objetos que nela existem.

A primeira utilização de fotografias aéreas foi atribuída a Wilbur Wright, em 1909, sendo que em 1930 foram realizadas as primeiras coberturas sistemáticas completas dos

territórios. No período da Segunda Guerra Mundial houve um expressivo desenvolvimento das técnicas de sensoriamento, com o aperfeiçoamento das fotografias aéreas, surgimento das fotografias coloridas e películas infravermelhas, utilizadas na detecção de camuflagem; foguetes também foram desenvolvidos para fins bélicos (IBGE, 2001).

Durante a Guerra Fria, marcada pela corrida espacial, foguetes foram utilizados como plataforma para instrumentos científicos, dando início aos programas espaciais de pesquisa para sondagem de camadas superiores da atmosfera. Os avanços no desenvolvimento de foguetes permitiram que eles fossem utilizados para colocar satélites artificiais em órbita. O primeiro satélite artificial (Sputnik) foi lançado em 1957, pela URSS. Em 1954 foram desenvolvidos sistemas de radares imageadores (*Forward- Looking Radar*) e em 1961 os primeiros radares de visada lateral (SLAR) foram fabricados (IBGE, 2001).

O início das observações orbitais sistemáticas da Terra foi marcado pela década de 1960, pelo lançamento do primeiro satélite meteorológico (TIROS), cujo sistema de câmara de televisão apresentava resolução relativamente baixa. O último satélite da série (TIROS-10) foi lançado em 1965. A partir desse período, os sucessores passaram a se chamar NOAA, cujo sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) pode ser utilizado para estudos de recursos naturais de escala continental (IBGE, 2001; SCHOWENGERDT, 2007).

O desenvolvimento de aparelhos de sensoriamento remoto, até 1966, ocorreu principalmente, no âmbito militar. No entanto, neste mesmo ano, um imageador infravermelho termal foi criado com características distintas do que era classificado como segurança, pelo Ministério de Segurança dos Estados Unidos. Assim, começaram a entrar em vigor os serviços comerciais de sensoriamento remoto (IBGE, 2001; SCHOWENGERDT, 2007).

De 1960 a 1970 fotografias orbitais foram obtidas a partir de três programas espaciais da NASA: o Mercury, Gemini e Apollo que serviram para demonstrar a viabilidade do imageamento orbital e a necessidade de métodos multiespectrais. Dessa forma, contribuiu como base para o projeto ERTS (*Earth Resources Technology Satellite Program*), denominado mais tarde como Landsat. O Landsat da NASA, de resolução espacial intermediária, foi o pioneiro de sensoriamento remoto para recursos naturais. Os sensores são o MSS (*Multispectral Scanner System*), com 80 metros de resolução espacial, iniciando a era moderna do sensoriamento remoto fornecendo, pela primeira vez, em 1972, um conjunto consistente de imagens da Terra para a comunidade científica mundial, e, a partir do Landsat - 4, o TM (*Thematic Mapper*), com 30 metros de resolução espacial. (SCHOWENGERDT, 2007)

Moreira et al. (2007) discutem que no passado os resultados de pesquisas com imagens de satélites foram desanimadores, devido à baixa resolução espacial, como a do sensor MSS do Landsat. Entretanto, a partir do sensor TM do Landsat, passou a ser possível identificar e mapear culturas de café, no Estado de Minas Gerais, apesar das dificuldades encontradas. Conforme Embrapa (2012), os sensores do TM (Landsat 5) e ETM+ (Landsat 7), lançados respectivamente em 1984 e 1999, oferecem imagens com média resolução espacial, de 30 metros e o último sistema oferece imagens com 15 metros de resolução espacial na banda pancromática.

Nos anos 1970 foi realizado um recobrimento sistemático de todo o território brasileiro com imagens de radar. Tais imagens foram obtidas através de sobrevoos, com o sistema SLAR (*Side Looking Airborne Radar*), a partir dos quais foram compostos mosaicos na escala de 1:250.000. Estas imagens serviram de base para mapeamento sistemático (1: 1.000.000) de cartografia, geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação de todo o Território Nacional realizado pelo projeto RADAMBRASIL, especialmente para o monitoramento e queimadas na Amazônia (IBGE, 2001).

4.1.1.1. Tipos de sensores

Os dados sobre a superfície da terra são coletados por sistemas sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas ou orbitais (FLORENZANO, 2005), que permitem medir com razoável precisão e à distância, as propriedades espectrais dos alvos e fenômenos da superfície terrestre. A maioria dos instrumentos de sensoriamento remoto registra a radiação eletromagnética, que representa um canal de comunicação eficiente e em alta velocidade entre o sensor e o fenômeno remoto (JENSEN, 2009).

O sensor pode ser definido como um equipamento capaz de transformar alguma forma de energia em sinal que possa ser convertido em informação sobre o objeto sensoriado, neste caso, a energia eletromagnética, podendo obter uma informação muito específica sobre um objeto ou a extensão de um fenômeno geográfico. As medições da energia eletromagnética emitida ou refletida devem ser convertidas em informação usando técnicas visuais e/ou técnicas de processamento digital de imagens, produtos inteligíveis ao ser humano (JENSEN, 2009). Dessa forma, o conhecimento da distribuição espacial dos tipos de uso e cobertura da terra é essencial para orientar a utilização do espaço, sendo fundamental considerar três elementos para a análise e interpretação das imagens por meio do sensoriamento remoto: o objeto de estudo, a radiação eletromagnética e a escolha do sensor.

Uma maneira de classificar os tipos de sensores orbitais é através da fonte de energia na qual eles operam, podendo ser divididos em sensores orbitais ativos e sensores orbitais passivos. Os sensores ativos são de certa forma, “independentes” do sol, pois possuem uma fonte de energia ou radiação própria para a obtenção de imagens. Eles apresentam vantagens com relação aos sensores passivos por não dependerem do período do dia e nem de boas condições atmosféricas para a aquisição da imagem, uma vez que não necessitam da presença da radiação solar para a realização do imageamento (JENSEN, 2009).

Os sensores passivos, por outro lado, utilizam a radiação eletromagnética emitida pelo sol para a aquisição dos dados. Estes sensores são programados frequentemente para coletar dados do espectro visível e infravermelho refletido (espectro ótico) além do infravermelho termal.

4.1.1.2. Tipos de resoluções

O tipo e a quantidade de informação referente à cobertura e o uso da terra dependem das características técnicas dos sensores escolhidos, são elas: resolução espacial, resolução radiométrica, resolução espectral e resolução temporal (CRÓSTA, 1992). É importante ressaltar que existe uma grande variedade de sensores com diferentes resoluções disponíveis para os usuários. A escolha vai depender do objetivo do trabalho, de modo a ser o mais adequado para a finalidade de aplicação, da escala de mapeamento e, por fim, do custo e dos equipamentos disponíveis.

4.1.1.2.1. Resolução espacial

Definida pela capacidade que o sistema sensor tem de “enxergar” os objetos na superfície terrestre, sendo que quanto menor o objeto possível de ser visto maior a resolução espacial (CRÓSTA, 1992). Essa resolução pode ser determinada pelo seu campo instantâneo de visada (IFOV – *Instantaneous Field Of View*), que é determinado pelas propriedades geométricas do sistema sensor que define a área do terreno imageada a partir de uma determinada altitude e certo momento. Portanto, ela determina o tamanho do menor objeto que pode ser identificado em uma imagem (MENESES et al, 2012).

Na Figura 2 podem-se observar três sensores ópticos com diferentes resoluções espaciais.



Figura 2: Da esquerda para a direita, imagens dos satélites Landsat com resolução espacial de 30m, Spot com 10 m e Ikonos com 1 m, de uma porção do lago Paranoá de Brasília. Fonte: Meneses e Almeida et al., 2012.

4.1.1.2.2. Resolução radiométrica

Refere-se à capacidade do sensor de registrar em cada pixel a informação radiométrica detectada, ou seja, a quantidade de níveis digitais, que apresenta correspondência aos níveis de cinza de uma imagem. Quanto maior a capacidade do sensor em detectar a intensidade da radiação, maior será a resolução radiométrica (CRÓSTA, 1992). A intensidade da radiação é convertida e medida em uma quantidade de *bits* (número de dígitos binários). Por exemplo, um sensor que registra 8 *bits* ($2^8=256$) possui 256 níveis de informações registrados, portanto com tem detalhes visuais de tonalidades melhores que as imagens de menores resoluções radiométricas de 2 bits, por exemplo, que apresenta 4 níveis de cinza, como pode ser visto na Figura 3 (MENESES et. al, 2012).

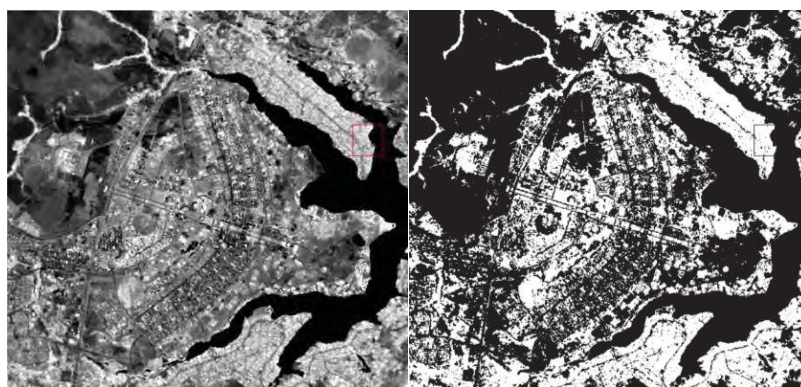


Figura 3: Da esquerda para a direita, imagens com resolução radiométrica de 8 e 2 bits. Fonte: Meneses e Almeida et al., 2012.

4.1.1.2.3. Resolução espectral

É definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada banda, sendo um conceito inerente às

imagens multiespectrais (CRÓSTA, 1992). Ou seja, a capacidade do sensor de adquirir informações ao longo do espectro eletromagnético em determinadas faixas de comprimento de onda como visível (azul, verde, vermelho), e infravermelho (próximo, médio e longo). Logo, um sensor apresenta melhor resolução espectral se ele possuir maior número de bandas situadas em diferentes regiões espectrais e com larguras estreitas de comprimentos de onda (MENESES et. al., 2012). A Figura 4 mostra diferentes composições coloridas na região do Pontal do Paranapanema.



Figura 4: Imagens da região do Pontal do Paranapanema utilizando as bandas do visível (esquerda) e do *red edge* (direita). Fonte: Raquel Rocha Borges, 2018.

4.1.1.2.4. Resolução temporal

Está relacionada ao intervalo de tempo com que cada sensor revisita uma área e obtém imagens periódicas, ou seja, quanto mais passagens por uma mesma área o satélite oferecer, maior será a possibilidade de se obter imagens de boa qualidade. A resolução temporal é fundamental para acompanhar a evolução de mudanças, como por exemplo, o ciclo de culturas agrícolas, desmatamentos, desastres ambientais e etc. (MENESES et. al, 2012).

4.1.1.3. Sensoriamento remoto da vegetação

Os sensores imageadores podem medir a radiação eletromagnética em um amplo intervalo de comprimentos de ondas, do visível às micro-ondas. No entanto grande parte do espectro eletromagnético é excluída em razão da absorção da energia provada por gases na atmosfera. Além dos efeitos atmosféricos que interferem na qualidade das imagens coletadas. Os intervalos de comprimentos disponíveis ao sensoriamento remoto se limitam a três regiões espectrais, sendo elas a região espectral óptica da luz solar, no intervalo de 0,45 μm a 2,5 μm ; a região espectral do termal da radiação eletromagnética emitida pela superfície da Terra, no intervalo de 8,0 μm a 14,0 μm ; e a região espectral das micro-ondas (radar) da radiação

eletromagnética emitida por uma fonte artificial no intervalo de comprimento de onda de 3,0 cm a 100 cm. Na Figura 5, podem ser observados os comprimentos de ondas da radiação solar e da radiação terrestre, mostrando o pico máximo de intensidade de radiação na faixa de 0,45 m a 0,76 m, conhecido como a região do visível (MENESES et al. 2012).

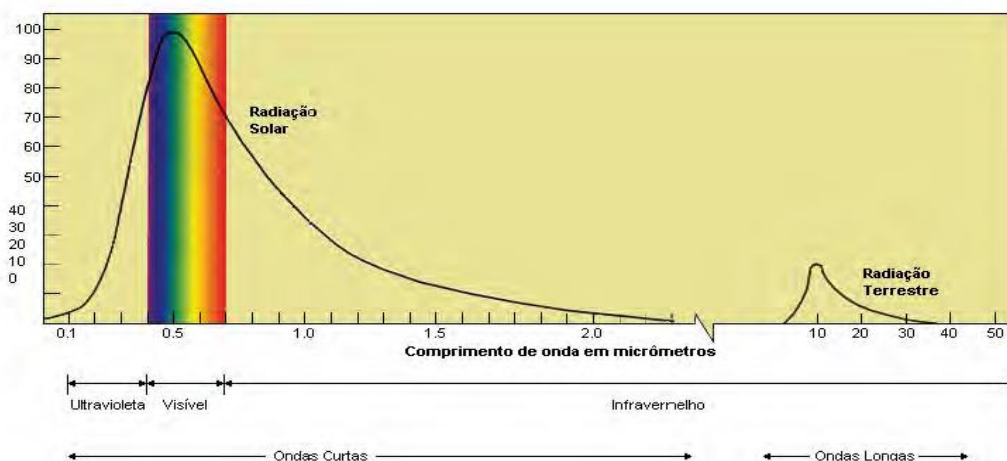


Figura 5: Distribuição da intensidade emitida por fontes naturais de radiação eletromagnética. Fonte: Meneses e Almeida et al., 2012

Sabendo disso, é possível empregar imagens orbitais no estudo da vegetação. A radiação eletromagnética que não foi absorvida nem espalhada pela atmosfera terrestre segue em direção à superfície terrestre para interagir com os materiais que compõe os objetos. Nas imagens orbitais existem números digitais que são proporcionais aos valores de radiância (fluxo radiante que deixa o objeto em direção ao sensor) medidos pelos detectores, em cada faixa ou banda espectral atuante pelo sensor. A radiância registrada pelo sensor depende, basicamente, das características específicas do mesmo, das propriedades físico-químicas dos objetos contidos dentro do pixel e da interferência atmosférica. A reflectância de um objeto expressa uma quantidade relativa de radiação eletromagnética que é refletida por esse objeto, de modo a analisar o comportamento espectral de cada material. Sendo assim, um objeto que apresenta valores elevados de reflectância em uma determinada faixa espectral, deverá apresentar níveis de cinza igualmente elevados em uma imagem adquirida por um sensor colocado a bordo de um avião e/ou satélite na banda espectral correspondente (PONZONI, F; SHIMABUKURO, Y, 2010).

De acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2010), em se tratando do processo específico do estudo da vegetação, a interação da radiação eletromagnética com os vegetais é altamente dependente da fotossíntese, processo no qual as plantas absorvem a radiação eletromagnética, na região do espectro eletromagnético visível, por meio de pigmentos fotossintetizantes. Essa interação depende de fatores químicos e estruturais, organização dos tecidos da folha,

podendo ser analisado pela absorção, transmissão e reflexão de radiação. O conjunto de análise desses três fenômenos pode ser chamado de estudo do Comportamento Espectral da Vegetação, que constitui a influência de fatores na reflexão da radiação por folhas isoladas ou dosséis vegetais. A Figura 6 mostra a curva espectral média da vegetação sadia.

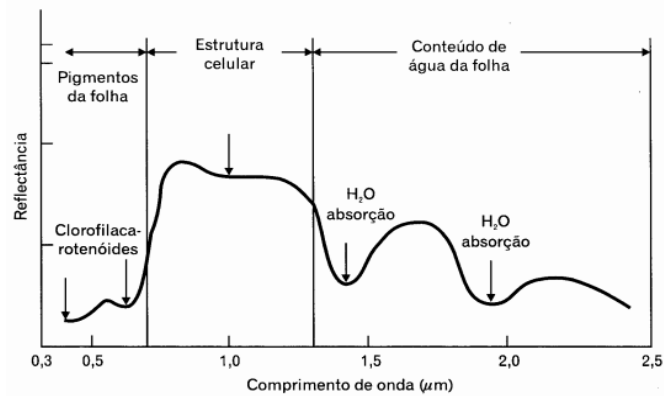


Figura 6: Assinatura espectral (média) da folha verde. Fonte: IBGE, 2001.

As plantas adaptaram sua estrutura interna e externa para realizar a fotossíntese, e suas interações com a energia eletromagnética têm impacto direto na forma como as folhas e os dosséis vegetais respondem espectralmente (JENSEN, 2009). A distribuição espacial da vegetação, assim como as suas densidades e orientações exercem grandes influências na dinâmica de reflectância de um dossel. Por isso, a largura das regiões no espectro eletromagnético deve ser compreendida a fim de reconhecer as características e padrões de absorção ou reflexão da vegetação.

Dentro da faixa do visível (até 0,7 μm) a reflectância é baixa e a absorção é intensa, em razão da atividade fotossintética causada pelos pigmentos, com um pequeno aumento na faixa do verde (0,56 μm). No infravermelho próximo (0,7 μm a 1,3 μm) a reflectância é elevada por conta da estrutura interna das folhas. Já no infravermelho de ondas curtas (1,3 μm a 2,5 μm) a quantidade de água nas folhas aumenta a absorção, como pode ser observado na Figura 6 (IBGE, 2001).

4.2. Extração de Informações e Processamento Digital de Imagens

A extração de informações em imagens pode ser realizada por meio de técnicas de interpretação visual ou através de técnicas de classificação estatística de imagens (ROSA, 2009). A identificação de objetos em imagens produzidas por sensores remotos através de interpretação visual é eficiente quando o interesse é acessar as características geométricas e a aparência geral desses objetos. No entanto, essa interpretação é limitada, pois a visão humana

permite somente a análise de vários pixels em conjunto, e não de forma isolada. Por outro lado, o uso do processamento digital permite a análise de pixels e bandas em conjunto, com várias rotinas para melhorar a qualidade visual da imagem, tendo em vista facilitar a extração de informações e posterior classificação.

A partir da aquisição de dados, as imagens podem ser disponibilizadas em formato digital, as quais são interpretadas visualmente ou submetidas às rotinas de processamento digital. Para tanto, é necessário considerar algumas questões importantes, tal qual o objetivo que se pretende atingir com a análise da imagem, a definição de uma escala de trabalho, o período de aquisição das imagens, de acordo com a variação das condições fenológicas dos alvos, e das condições atmosféricas e de iluminação da cena.

4.2.1. Interpretação Visual

As técnicas de interpretação visual de imagens de satélite ou de fotointerpretação fazem parte do sistema de análise de dados em sensoriamento remoto. Segundo Fitz (2008), a fotointerpretação é a técnica que realiza o estudo das imagens fotográficas para a identificação, interpretação e obtenção de informações sobre os objetos nela contidos. Para a realização da interpretação visual, cuja finalidade é examinar a imagem com o propósito de identificar objetos, o intérprete tem como principal tarefa identificar precisamente os objetos, além de buscar regiões que apresentem uniformidade quanto à sua composição e aparência. Dessa forma, o fotointerpretador busca a generalização para definir unidades espaciais que compõe a interpretação, por meio de etapas que permitem este processo. São elas, realizadas após a obtenção das fotografias aéreas e/ou imagens de satélite, a foto-leitura, foto-análise e a fotointerpretação propriamente dita.

Segundo Rosa (2009) a foto-leitura consiste basicamente no reconhecimento das feições ou objetos sobre imagens fotográficas, ou seja, é uma interpretação superficial e simples que leva em consideração o aspecto qualitativo. Dessa forma, permite a identificação dos elementos que compõe o alvo em análise e é mais eficiente de acordo com a experiência do intérprete. A foto-análise constitui-se em estudar as feições ou objetos presentes na fotografia ou imagem, baseada em uma interpretação mais precisa do que a foto-leitura, com escolha das características a serem analisadas. Nesta etapa, o foto-intérprete passa a utilizar o seu conhecimento técnico vinculado à experiência prática do conhecimento de campo, como auxílio para resolver dúvidas acerca da fase de foto-análise. Já a fotointerpretação baseia-se no uso do raciocínio lógico, dedutivo e indutivo, para a descrição da imagem, de forma a compreender e explicar os objetos e as feições estudadas nas fases anteriores.

A base para elaboração do mapa consiste na interpretação visual, procedimento que se fundamenta nos elementos de interpretação de imagens que permite ao foto-intérprete identificar as características mais importantes. Um intérprete bem treinado utiliza de forma integrada os elementos de interpretação de imagem e, a partir da análise desses elementos, é elaborada a chave de interpretação, a qual se fundamenta como guia para identificação de alvos presentes nas imagens.

As chaves para a identificação das formas de utilização agrícola da terra são compostas por vários elementos, que por sua vez, dependem da época do ano em que as fotografias foram tomadas e das técnicas agrícolas que foram empregadas na área estudada (CERON e DINIZ, 1966). Em suma, as características mais importantes que compõem o conjunto das chaves de interpretação são:

Tonalidade e cor - A tonalidade está relacionada com a intensidade da radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos, ou pela feição da superfície terrestre captada pelo sensor. Isto é, corresponde às diversas gradações de cinza, que variam do preto ao branco, sendo estas, respectivamente, baixa intensidade de energia refletida ou emitida, e alta intensidade de energia refletida ou emitida. As gradações de cinza dependem das características do processamento fotográfico, propriedades físico-químicas dos objetos fotografados ou imageados, além das condições da topografia e condições atmosféricas (ROSA, 2009).

A cor, por sua vez, é mais vantajosa para o olho humano, pois ele é capaz de distinguir mais cores do que tons de cinza. Assim, a cor deriva do comprimento de onda de radiação eletromagnética e da sensibilidade do filme, para as fotografias aéreas, e das bandas usadas para gerar a composição colorida, no caso das imagens de satélite (ROSA, 2009). No caso das culturas, a cor é uma das características que apresenta maior variação nas fotografias aéreas, tanto entre duas culturas diferentes quanto dentro de um mesmo cultivo. A variação da cor na mesma cultura procede, em sua grande maioria, do estágio de desenvolvimento e das técnicas agrícolas utilizadas. Outro fator relevante que influencia na variação da coloração é a própria cor do solo e a maior ou menor superfície de solo exposto. Sendo assim, nos canaviais, por exemplo, as fotografias revelam a cor da cobertura vegetal porque as plantas apresentam cobertura mais homogênea, enquanto as culturas arbóreas mostram a cor do vegetal e do solo exposto, devido ao maior espaçamento (CERON e DINIZ, 1966).

Textura - Está relacionada ao padrão de arranjo espacial dos elementos texturais que se repetem em uma imagem (JENSEN, 2009). De acordo com Rosa (2009), os elementos texturais representam a menor feição contínua e homogênea que é distinguida em uma

fotografia aérea e/ou imagem de satélite suscetível a repetições. A textura pode ser definida como a frequência da variação de tons em uma imagem, o que depende, principalmente, da escala e da resolução espacial do sistema sensor. Dessa forma, demonstra a impressão visual de rugosidade ou da suavidade de acordo com as características dos alvos, causada pela variabilidade tonal dessas porções da imagem. Sendo assim, a textura refere-se a determinadas porções e não aos objetos individuais.

Ainda, segundo Ceron e Diniz (1966), a conceituação e a classificação de textura são subjetivas e imprecisas. A tonalidade e a textura são conceitos visuais que estão inter-relacionados e auxiliam na percepção e o reconhecimento de características de superfície.

Forma - este elemento refere-se às características morfológicas do objeto, ou seja, sua configuração geométrica. De maneira geral, as feições naturais apresentam formas irregulares como rios, rochas e vegetação, enquanto as formas regulares estão associadas às obras artificiais criadas pelo homem, como as estradas, edificações, culturas, reflorestamentos etc., apresentando formas geométricas definidas. Segundo Ceron e Diniz (1966) é muito importante a observação da forma da parcela para a identificação dos diferentes tipos de utilização da terra. A diferença entre a forma da silvicultura e das matas é nítida, pois a primeira apresenta formas geométricas mais regulares.

Tamanho - O tamanho de um objeto é uma de suas características mais distintivas e um dos elementos mais importantes de interpretação de imagem (JENSEN, 2009). O tamanho de um objeto ou de uma feição deve ser considerado em função da escala utilizada e da resolução da imagem. Assim, um objeto ou feição pode ser distinguido pelo seu tamanho em relação aos objetos vizinhos, podendo indicar o tipo de ocupação, tipo de uso, tamanho da propriedade etc. Quanto maior a resolução espacial do sensor, maior será a capacidade de registrar apenas uma categoria de uso e cobertura da terra (ROSA, 2009).

Sombra - As sombras são fenômenos comuns em imagens e resultam da ausência de energia refletida ou emitida pelos objetos e feições da superfície. Em fotografia e imagens de grande escala, a sombra pode ser favorável para o reconhecimento e aferição da altura dos objetos como edifícios, árvores e formas topográficas. Por outro lado, muitas vezes o efeito da sombra obscurece ou mascara detalhes importantes de pequenas dimensões, como por exemplo, campos de cultivos agrícolas e construções localizadas em encostas sombreadas (ROSA, 2009).

Padrão - Este elemento é caracterizado pelo arranjo espacial entre os objetos representados em uma imagem e é uma característica bastante diagnóstica de muitas feições (JENSEN, 2009). Assim, a repetitividade de certas formas é característica de determinadas

paisagens e revela que os objetos e elementos apresentam relações entre si. Ceron e Diniz (1966) afirmam que a diferenciação de uma cultura nas fotografias aéreas pode ser auxiliada pela posição que ela ocupa em relação às áreas vizinhas. Dessa maneira, os talhões de cana recém-cortada dificilmente poderão ser confundidos com as pastagens, pois aqueles se encontram sempre ao lado dos talhões ainda não cortados.

Além das características descritas acima, Ceron e Diniz (1966) incluem o espaçamento como elemento importante para a identificação de culturas permanentes, especialmente pelo fato de ser constante. Desse modo, este elemento permite a diferenciação entre duas culturas diferentes, como por exemplo, as plantações de café, cujo espaçamento é menor e de laranja, com espaçamento intermediário.

A partir da análise destes elementos de fotointerpretação presentes na fotografia aérea e/ou imagem de satélite, pode-se agrupá-los e elaborar a chave de interpretação das categorias ou classes de uso que se pretende identificar e mapear. Um fator importante para ser levado em consideração é a época da tomada das fotografias/imagens para o bom desempenho do trabalho, pois estará diretamente relacionada ao calendário agrícola da região e às variações sazonais que ocorrem com as culturas (ROSA, 2009).

4.2.2. Processamento Digital de Imagem

As técnicas de processamento de imagem iniciaram-se com a manipulação de fotos aéreas obtidas por balões e evoluíram velozmente, a partir de sua migração para sistemas de computação digital (CRÓSTA, 1992). Segundo Jensen (1996), o Processamento Digital de Imagens (PDI) pode ser compreendido como um conjunto de procedimentos voltados à manipulação e análise de imagens através de sensores remotos, por meio do uso do computador.

Para Crósta (1992) a classificação digital é definida como um processo de reconhecimento de padrões e de objetos homogêneos que se aplica, geralmente, ao mapeamento de áreas consideradas pertencentes a uma única classe de objetos que constituem a legenda do mapeamento pretendido. Meneses et. al., (2012) afirmam que o processamento digital de imagens tem o objetivo de melhorar o aspecto visual de determinadas feições estruturais que serão analisadas e interpretadas.

A função principal do processamento digital é facilitar a identificação e extração de informação contida nas imagens, melhorando o aspecto visual do alvo para uma posterior interpretação. A informação de interesse caracteriza-se pelas propriedades dos objetos ou padrões que compõe a imagem (CRÓSTA, 1992). Desse modo, a imagem digital é formada

pela conversão do sinal analógico medido pelo sensor em uma representação digital passível de ser armazenada, para posterior processamento em computadores. Esta forma corresponde a uma representação numérica quantizada dos valores de radiância do pixel, isto é, a cada pequena área unitária imageada no terreno. Sendo assim, estes valores digitais normalmente são referidos como níveis de cinza ou número digital (ND), no qual apenas valores inteiros e discretos são assumidos (ROSA, 2009).

O processamento de imagens permite a aplicação de uma enorme variedade de técnicas e análises de processamentos por computadores, pertinentes ao tratamento de um grande volume de dados que estão contidos em uma imagem. (ROSA, 2009; MENESES et. al., 2012).

Como o sistema visual humano é limitado para reconhecer e processar as grandes quantidades de informações contidas em uma imagem, o processamento veio com o objetivo de romper essa barreira. Sendo assim, são estabelecidas rotinas para correções e ajustes nas imagens, melhora da qualidade visual e rotinas de classificação de padrões. De acordo com Rosa (2009) as principais técnicas de processamento digital de imagens são: correção de imagens, realce de imagens, classificação de imagens e transformação de imagens. Essas técnicas são comumente agrupadas em três fases de análise conhecidas como pré-processamento, realce e classificação.

4.2.2.1. Pré-processamento

As rotinas de pré-processamento são aplicadas para corrigir distorções geométricas e radiométricas contidas nas imagens no momento em que foram obtidas.

As imagens geradas por sensores remotos sejam elas fotográficas ou imagens de satélite, estão sujeitas a uma série de distorções espaciais, que interferem na precisão cartográfica e no posicionamento dos objetos. Além disso, as imagens precisam, na maioria das vezes, ser integradas com outros tipos de informação representadas na forma de mapas. Para que a precisão cartográfica seja introduzida em imagens de sensoriamento remoto, é necessário que essas imagens digitais sejam corrigidas, segundo algum sistema de coordenadas. Para isso, é adotado um conjunto de rotinas que possibilita o ajuste da imagem a uma base cartográfica convencional, denominada de correção geométrica (CRÓSTA, 1992).

A possibilidade de ocorrência de erros associados a ruídos na imagem, gerados pelo próprio sensor, como por exemplo, os erros de detecção ou de transmissão dos dados, e/ou condições atmosféricas adversas, faz com que seja necessária a realização da correção atmosférica. Portanto, quando adquirimos uma imagem, é preciso verificar a degradação que

pode ter sido causada pelo espalhamento atmosférico, avaliando quanto de radiação foi adicionada ao pixel e que sabemos não ser proveniente do alvo (MENESES et. al., 2012).

De acordo com Meneses et. al., (2012) a técnica mais simples para a correção atmosférica é pelo uso do limite inferior dos valores digitais do histograma de cada banda, isto é, o método de subtração do escuro (*dark subtraction*). Tal método subtrai os valores digitais mais baixos de uma determinada banda ou imagem dos valores digitais dos outros pixels que a compõem.

4.2.2.2.1. Rotinas de realce em imagens

A melhora da qualidade visual da imagem é obtida pela aplicação das rotinas de realce. Neste conjunto de rotinas incluem-se aquelas destinadas a manipulação de contraste, a aplicação de filtros para o realce de certas feições ou mesmo atenuá-las, possibilitando o seu delineamento com maior precisão, e até mesmo a possibilidade de gerar composições coloridas pela combinação de uma banda espectral a uma cor primária (azul, verde ou vermelha), visualizando as três bandas simultaneamente. Esse conjunto de operações melhora a qualidade visual das imagens possibilitando o intérprete a trabalhar com as imagens de modo analógico ou digital (CRÓSTA, 1992; LUCHIARI et al., 2001).

O contraste de uma imagem refere-se à distribuição dos níveis de cinza no intervalo radiométrico, isto é, o contraste depende da assinatura espectral dos objetos imageados e varia com o comprimento de onda. Uma imagem de satélite vista da forma como é adquirida pelo sensor aparece visualmente com baixo contraste. Dessa forma, para que as informações possam ser extraídas por um analista humano, o histograma comprimido da imagem precisa ser expandido, de modo a ocupar todo o intervalo disponível, pois quanto mais espalhado, maior o contraste da imagem e vice-versa. O contraste é diretamente proporcional ao espalhamento dos níveis de cinza, dado pela largura da base do histograma (CRÓSTA, 1992).

Já a utilização de composições coloridas parte do princípio de que o olho humano é capaz de distinguir mais facilmente cores do que tons de cinza. As imagens de sensoriamento remoto em processamento digital são compostas por diversas bandas, compondo cores de conjuntos de três bandas (tripletes), que constituem uma ótima maneira de sintetizar, em uma única imagem, uma grande quantidade de informação, além de representar essa informação em diferentes cores, facilitando sua interpretação. Um intérprete experiente em imagens de sensoriamento remoto utiliza normalmente três propriedades básicas das superfícies representadas nas imagens, para interpretá-las: tonalidade, textura e contexto. Porém, é preciso ter cuidado ao manipular as cores em imagens, pois um exagero pode causar uma

saturação demasiada e consequentemente, prejudicar a percepção das mudanças texturais (CRÓSTA, 1992).

Por último, as rotinas de filtragens de imagens são utilizadas para realçar ou suavizar bordas, feições lineares de determinadas direções e padrões de textura alterando os valores digitais originais dos pixels que compõe uma imagem, levando em consideração os valores digitais dos pixels vizinhos.

De acordo com Crósta (1992) pode-se observar em uma imagem que a intensidade de cinza (brilho) representada pelos níveis de cinza varia bastante em razão da distância, sendo essa variação de brilho é denominada de frequência espacial. Os limites entre os diferentes materiais podem ser bruscos ou suaves e são representados graficamente por gradientes. A filtragem espacial de frequência consiste, portanto, de operações que buscam suavizar os efeitos da imagem, tornando-a homogênea (filtro de passa baixa ou *low pass filter*) ou realçar as diversidades (filtro de passa alta ou *high pass filter*).

4.2.2.3. Classificação de padrões

A classificação de padrões pode ser entendida como o processo de atribuição, a cada unidade da imagem ou pixel, um atributo qualitativo de classe ou categoria em um determinado conjunto de classes que descrevem certa característica ou objeto do mundo real (LILLESAND et al., 2004). O sistema visual humano possui a capacidade de reconhecer padrões, mas ele dificilmente é capaz de processar o enorme volume de informações presentes numa imagem (CRÓSTA, 1992).

Diante disso, foram desenvolvidos sistemas para processamento de dados de forma automática, denominada classificação automática de imagens, no qual o pixel de cada imagem recebe um rótulo que descreve o objeto no mundo real, também chamado de classe, definida pelo analista que irá realizar o procedimento, inicialmente, extraindo as informações por meio da inspeção visual da imagem. A classificação de padrões baseia-se em cálculos estatísticos de análise de agrupamento, e tais rotinas computacionais permitem associar cada nível de cinza de uma imagem a uma categoria de interesse (CRÓSTA, 1992).

As técnicas de classificação aplicadas às várias bandas são conhecidas como classificação multiespectral, no qual o critério utilizado para a decisão está de acordo com a distribuição dos níveis de cinza nas bandas espectrais. Existem duas abordagens essenciais na classificação de imagens multiespectrais em sensoriamento remoto (CRÓSTA, 1992).

A primeira é chamada de classificação não supervisionada, na qual “o computador decide” quais as classes a serem separadas e quais os pixels pertencentes a cada uma delas,

designando um conjunto de classes em função de parâmetros estatísticos das propriedades espectrais da imagem. A aplicação de algoritmos de análise de agrupamento considera os níveis de cinza de praticamente toda a imagem e atribuem características qualitativas às regiões agrupadas. O programa é capaz de identificar por si só as classes dentro de um conjunto de dados, consultando o espaço de atributos de todos os pixels que compõe a imagem, organizando-os em agrupamentos denominados de *clusters*. Exemplos de algoritmos: método ISODATA e método K-médias (CRÓSTA, 1992).

A vantagem dos procedimentos de classificação não supervisionada é não exigir do analista um conhecimento prévio acerca do objeto de estudo e nem das classes existentes na imagem, apesar de exigir dele o conhecimento do comportamento espectral dos alvos. Por outro lado, a desvantagem está na pouca possibilidade de controle por parte do analista no que se refere ao processo de agrupamento de regiões.

A segunda abordagem denomina-se classificação supervisionada na qual o usuário identifica alguns pixels pertencentes às classes e deixa a cargo do computador localizar os demais pixels pertencentes àquelas classes, tendo como base alguma regra estatística pré-estabelecida. Nesse tipo de classificação incluem-se as operações que utilizam a informação derivada de poucas áreas da superfície, por sinal muito conhecidas pelo intérprete ou por inferências, para classificar os dados remanescentes da imagem. Ou seja, é necessário que o usuário tenha conhecimento prévio da área a ser classificada antes de dar início ao processo, pois o operador deve localizar na imagem as áreas que representam categorias conhecidas no terreno (CRÓSTA, 1992).

O reconhecimento das parcelas pode ser obtido por meio do trabalho de campo, de mapas e de outras imagens como as fotografias aéreas. Esse tipo de observação é conhecido como verdade terrestre (“*ground truth*”). Dessa forma, as áreas podem ser usadas como padrão de comparação, sendo que os pixels desconhecidos da imagem serão comparados para se decidir a qual classe pertence. Uma área da imagem que o usuário identifica como representante de uma das classes é denominada de área de treinamento (CRÓSTA, 1992). Exemplos de algoritmos: método da mínima distância, do paralelepípedo e máxima verossimilhança (MAXVER).

4.3. Aplicações do sensoriamento remoto no uso da terra

Ao longo dos anos, vários estudos têm mostrado o potencial do sensoriamento remoto aplicado à análise e mapeamento da cobertura vegetal em diferentes escalas espaciais e temporais, fazendo uso de diversos métodos de interpretação.

Aguiar et al. (1993) realizaram um mapeamento da cobertura vegetal das escarpas da Serra do Mar, em Cubatão, para fornecer um diagnóstico do desenvolvimento da vegetação em áreas atingidas por poluição atmosférica, a fim de avaliar os processos de degradação, reabilitação da cobertura vegetal e compará-las com mapeamentos anteriores. Um desses mapeamentos é o da vegetação das escarpas da Serra do Mar, no ano de 1989, que integra o projeto "Recuperação e Monitoramento da Cobertura Vegetal da Serra do Mar em Áreas Degradadas pela Poluição Atmosférica de Cubatão", desenvolvido na CETESB.

O mapeamento foi realizado a partir da interpretação de fotografias aéreas obtidas em escala de 1:25.000, utilizando filme infravermelho falsa cor, em aerolevantamento executado em 1989 pela TERRAFOTO S.A. A fotointerpretação se deu com base na metodologia que consiste em quatro etapas: 1) interpretação preliminar, identificando os diversos padrões fotográficos apresentados pela cobertura vegetal; 2) verificação em campo para a avaliação e caracterização das unidades de vegetação; 3) análise dos dados de campo para definir a legenda e uma chave de interpretação; 4) fotointerpretação definitiva e confecção cartográfica. Os resultados obtidos a partir da análise da cartografia final mostraram níveis elevados de degradação em 1989, e não foram localizadas ocorrências de vegetação não afetadas pela poluição.

Mattos et al. (1996) buscaram caracterizar, localizar e quantificar os tipos de uso atual das terras nas áreas de proteção ambiental de Sousas e Joaquim Egídio, Campinas, SP, fornecendo subsídios para a elaboração de propostas para o seu desenvolvimento. Conforme observaram, nos últimos anos, a região tem sido alvo de diversas propostas de preservação e desenvolvimento muito contraditórias, visto que a Prefeitura de Campinas, sustentada pela comunidade científica, ambientalistas e turistas, visam à construção de condomínios residenciais e a implantação de duas Áreas de Proteção Ambiental para a conservação das paisagens preservadas e a beleza cênica do local. Mattos et al. (1966) destacam, ainda, que enquanto não for gerada uma base científica rigorosa, quantitativa e espacialmente representada, as decisões serão tomadas em prol de critérios individuais, corporativos, políticos e econômicos.

A partir disso, com o objetivo de contribuir para o desenvolvimento de uma área particular do Município de Campinas, de grande interesse histórico, ecológico e cultural, foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas. Para a identificação e caracterização dos diferentes usos da terra empregaram imagens Landsat/TM em produto fotográfico, composição colorida, bandas 3/4/5, de 18/09/90, escala 1:50.000, órbita 219/ponto076; 53 aerofotografias verticais pancromáticas, escala 1:25.000,

de junho/1994. O equipamento para a fotointerpretação, restituição cartográfica e processamento dos dados incluiu: estereoscópio de espelho D.F Vasconcelos, estereoscópio zoom Wild Aviopret APT1, Kartoflex e epidiascópio Carl Ziess Jena, PC 486, mesa digitalizadora A0, traçador gráfico eletrostático, além do sistema de informações geográficas SGI-versão 2.5 (desenvolvido pelo INPE). A base cartográfica conta com folhas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000; Campinas (SF-23-Y-A-V-4), Valinhos (SF-23-Y-A-VI-3), Amparo (SF-23-Y-A-V-2) e Cosmópolis (SF-23 -Y-A-V I-1).

A metodologia, constituiu-se na interpretação analógica das imagens Landsat e da análise da carta de uso da terra existente para o município, em escala 1:100.000, elaborada pelo Núcleo de Monitoramento Ambiental em 1991, esta contemplando uma legenda preliminar com 16 classes de uso da terra. A partir da legenda inicial foram interpretadas e checadas em campo algumas áreas-piloto das fotografias aéreas, o que permitiu um detalhamento da legenda inicial. A elaboração da legenda definitiva contou com uma chave de interpretação e os resultados destes procedimentos foram corrigidos em checagem de campo. O produto da fotointerpretação foi colocado em uma base cartográfica e digitalizado com o SIG. Nos resultados foram identificados, mapeados e quantificados 41 tipos de uso da terra, mostrando que a área de estudo é tipicamente rural, com poucos espaços urbanos importantes; possibilitando aos agentes interessados na região, uma base de dados atual da distribuição das terras.

Novaes Júnior et al. (1996) desenvolveram estudos para o estabelecimento de metodologias de monitoramento da cobertura vegetal em áreas litorâneas, especificamente das áreas inseridas no Parque Estadual da Serra do Mar. Foram utilizados recursos de fotografias aéreas, imagens obtidas em nível orbital através dos satélites do programa Landsat, processamento digital e geoprocessamento. A área de estudo situa-se no município de Ubatuba, na bacia do Rio Grande, sendo que o estudo foi restringido somente a área da bacia a montante, com a finalidade de avaliar a alteração da Mata Atlântica. Para esta análise multitemporal da alteração foi usado como verdade terrestre a interpretação visual das fotos aéreas não convencionais obtidas em 1992, na escala de 1:10.000.

A partir da interpretação visual das fotografias, foi gerado um "*overlay*" contendo classes do uso da terra e o cálculo da cobertura vegetal, permitindo a comparação com a da cartografia de 1978, possibilitando a avaliação no período de 15 anos. Os resultados apresentados por este trabalho mostraram a atualização do uso da terra e a cobertura vegetal da bacia hidrográfica estudada, indicando um crescimento intenso da área antropizada, com aceleradas e evidentes perdas de áreas de Mata Atlântica.

Disperati et al. (2001) relatam os resultados iniciais de um projeto de pesquisa sobre o mapeamento florestal do Município de Irati, PR. A pesquisa visa elaborar o mapeamento da vegetação existente na região através da análise de fotografias aéreas e imagens de satélite da série Landsat TM, pretendendo identificar os tipos de uso do solo predominantes no município, onde estão localizados e quais as respectivas porcentagens de ocupação. Para isto, os resultados foram disponibilizados na forma digital para a utilização em um SIG, sendo as atividades efetuadas no ambiente do SPRING 3.4.

Aragão et al. (2001) desenvolveram estudos com o objetivo de explorar técnicas convencionais de classificação digital, mapeando áreas com padrão espectral associado ao corte seletivo de madeira. A área de estudo utilizada para a realização do trabalho está localizada na parte baixa da bacia do Rio Capim, no município de Paragominas, Pará; na qual foram consideradas, apenas, áreas de floresta de terra firme (áreas de várzea). Empregaram imagem TM-Landsat, com resolução espacial de 30 metros, que foi processada no Sistema de Informação Geográfico SPRING 3.4 e georreferenciada a partir da seleção de pontos de controle identificados na carta topográfica do Rio Capim, SA-23-Y-A-103, na escala 1:250.000 (IBGE,1993). Técnicas de classificação supervisionadas (Máxima Verossimilhança) e não supervisionadas (ISOSEG) em composição colorida das bandas 3(R), 4(G) e 5(B) também foram utilizadas.

Os autores ressaltam que a classificação não supervisionada apresentou uma grande confusão entre as classes consideradas no estudo, tendo em vista que não realçou os padrões de corte seletivo. Portanto, estes dados não foram considerados na análise dos resultados. Já a classificação supervisionada, sobre a composição colorida, apresentou um bom potencial para o mapeamento de áreas afetadas por atividades de corte seletivo de madeira.

Bispo e Valeriano (2009) com o objetivo de avaliar métodos clássicos de classificação de imagens, de forma a evidenciar essas relações locais em dois biomas distintos, um na Caatinga e o outro na Amazônia, estabeleceram metas específicas para este trabalho. Tais metas compreendem o uso de três técnicas de classificação, sendo elas *Cluster*, Máxima Verossimilhança e Fatiamento; e outra técnica baseada em análise estatística tabular multivariada (discriminante). Para tal estudo, selecionaram áreas com diversidade topográfica e regional que dispusessem de mapeamento da vegetação; as áreas selecionadas nos biomas Amazônia e Caatinga correspondem, respectivamente, ao Interflúvio Madeira-Purus e a Reserva Particular do Patrimônio Natural de Serra das Almas (Piauí/Ceará). Os dados de vegetação referem-se aos mapeamentos da Reserva Particular do Patrimônio Natural da Serra das Almas (RPPNSA), mapa da vegetação na escala de 1:100.000, de Carvalho e Pinheiro-

Júnior (2004) obtido através da identificação de cada classe vegetacional nas imagens orbitais TM/Landsat, por uma abordagem integrada, usando classificação e interpretação visual de imagem, seguida da classificação florístico-fisionômica em campo; Interflúvio Madeira Purus, mapa de vegetação obtido em escala de 1:250.000 do RADAMBRASIL, digitalizados pelo SIPAM (Sistema de Proteção da Amazônia). Os dados geomorfométricos foram provenientes do TOPODATA.

Este trabalho permitiu concluir que a classificação realizada com base na análise discriminante mostrou-se mais eficaz para associar classes de vegetação mapeadas aos padrões de distribuição de geomorfometria local. Demonstrou, também, que a compatibilidade entre as feições da vegetação e as variáveis morfométricas são dependentes da escala, e as suas características variam quando medidas ao longo de diferentes extensões ou resoluções espaciais com diferentes níveis de detalhe. Concluíram, também, que os dados morfométricos locais derivados da altimetria SRTM mostraram variação detalhada incompatível com o grau de generalização dos mapas de vegetação fornecidos pelo RADAM.

Visando analisar o uso e cobertura da terra, alguns autores promoveram estudos com base em ferramentas de geoprocessamento, capazes de ajudar na gestão e gerenciamento dos recursos naturais, bem como mostrar e monitorar as áreas de APPs (Áreas de Preservação Permanente). Tais tecnologias tornaram possível o surgimento de novas ferramentas que ajudam na fiscalização e cumprimento do Código Florestal.

Piroli et al. (2012) analisaram o uso e cobertura da terra das Áreas de Preservação Permanente (APP) ao longo do canal principal do baixo curso do Rio Paranapanema, com ênfase nos municípios que apresentam, em sua extensão territorial, Unidades de Conservação e propriedades privadas. Sendo assim, são discutidos os municípios de Teodoro Sampaio, Euclides da Cunha Paulista e Rosana, São Paulo; e o município de Diamante do Norte, Paraná. O Rio Paranapanema, de domínio da União, é um importante divisor político-administrativo e também constitui como fonte de energia para o desenvolvimento da região e do país, devido a dez usinas hidroelétricas ao longo do seu curso.

A área estudada situa-se em um tipo de vegetação integrante do grupo de fisionomias do Domínio da Mata Atlântica, Floresta Tropical Subcaducifólia, segundo o mapa de vegetação do Brasil do IBGE (1993), na qual se encontram três Unidades de Conservação: na vertente paulista o Parque Estadual Morro do Diabo com 33.845,33 ha no município de Teodoro Sampaio e a Reserva Estadual Pontal do Paranapanema com 247.000 ha, incluindo os municípios de Teodoro Sampaio, Euclides da Cunha Paulista e Rosana. Na vertente

paranaense, a Estação Ecológica do Caiuá com 1.449,48 ha no município de Diamante do Norte.

Para este estudo foram utilizadas duas imagens de satélite Landsat-5-TM (data de 02/11/2009) e o software SPRING 5.1.3 e SCARTA 5.1.3, adquiridos junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A classificação de cada tipo de uso e cobertura da terra contou com a interpretação das características espectrais das imagens de satélite, trabalhos de campo e publicações científicas sobre a região.

Tal estudo teve como intuito formar uma base científica que colabore na tomada de decisão por parte de agentes públicos (Estaduais e Municipais) e privados, de maneira a contribuir para a gestão e gerenciamento ao longo do Rio Paranapanema, bem como mostrar que a preservação das APPs passa a ter maior eficiência quando estas encontram-se em Unidades de Conservação bem consolidadas. Coube a este trabalho, também, elucidar por meio de dados obtidos, que há pouco respeito à Lei sobre o Código Florestal em relação à preservação das APPs de canais fluviais e reservatório artificial.

Apesar de existir uma legislação, esta se mostra muito ampla, deixando lacunas para que haja negligência por parte daqueles que ocupam de forma incorreta. Outro problema destacado é a dificuldade de fiscalização destes espaços de preservação, uma vez que há grande deficiência em meios e materiais para identificar as agressões ao meio ambiente.

Piroli et al., (2012), com o objetivo de realizar o monitoramento das características das Áreas de Preservação Permanentes (APP) da margem paulista da calha principal do Médio Paranapanema, buscaram obter informações sobre riscos potenciais da área de estudo. Dessa forma, elaboraram o Modelo Digital do Terreno e o mapa de declividade abrangendo as APPs localizadas na região centro-sudoeste do estado de São Paulo pertencentes à URGHI-17. Para a realização do monitoramento da qualidade do meio físico foram determinados locais de avaliação, nos quais coletaram as coordenadas UTM e avaliaram as condições do solo, vegetação, água e da fauna silvestres.

As informações obtidas foram manipuladas e armazenadas em bancos de dados dentro do sistema de informações geográficas Idrisi-Taiga. Os resultados desta pesquisa demonstraram que 3,04% das APPs encontram-se em áreas de risco, sendo que apenas 1,20% destas estão cobertas por florestas ou apresentam regeneração natural. No entanto, essas áreas deveriam estar todas cobertas por mata ciliar característica do ecossistema original local, tendo em vista a legislação ambiental vigente, que salienta APPs, previstas pelo Código Florestal (Lei 4.771/1965), como faixas de terra ocupadas ou não por vegetação nas margens de nascentes, córregos, rios, lagos, represas, no topo de morros, em dunas, encostas,

manguezais, restingas e veredas. Essas áreas são protegidas por lei federal, inclusive em áreas urbanas.

Pirolí et al, (2012), contribuíram para o planejamento ambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão do Rebojo analisando de forma detalhada os aspectos do uso da terra e as transformações causadas na paisagem. Procurou-se analisar os usos e cobertura da terra considerando os dados de declive e classes de solos. Para isso, foi utilizado o *software* Idrisi Taiga, no qual imagens do satélite ALOS sensor AVNIR-2 foram importadas para mapear as classes de uso e cobertura da terra através de vetorização. Os resultados encontrados mostraram uma nítida expansão da cultura canavieira, bastante mecanizada em áreas de baixa declividade, principalmente no baixo curso da bacia; porém, essa cultura também é encontrada em algumas manchas, onde a declividade é superior a 12%, o que não deveria ocorrer, de acordo com a legislação. Outro ponto a ser considerado são os problemas ambientais encontrados ao longo da bacia, com inúmeros focos de processos erosivos verificados.

Trombetta. (2014) elaboraram uma pesquisa cujo objetivo foi a elaboração do Mapa de Fragilidade Potencial e Emergente do Relevo da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Pontal do Paranapanema (UGRHI-22). Esse mapeamento visa o estudo integrado com o meio físico e, através dele, contribuir para o planejamento da UGRHI-22, de forma a atender à legislação específica. A metodologia proposta baseia-se na interpretação individual dos componentes do Estrato Geográfico como o relevo, solo, clima e ocupação da terra, bem como da integração destes elementos com a atribuição de valores, tendo em vista o grau de fragilidade.

Segundo Trombetta et al. (2014), diagnosticar a fragilidade ambiental é um tema de suma importância para o planejamento ambiental, pois mostra as reações de um determinado ambiente e dá suporte na escolha de ações para a preservação ou melhoria ambiental da área estudada. Assim, o autor concorda com ROSS (1994), que argumenta que os estudos relativos à fragilidade são de extrema importância ao planejamento ambiental, tendo como foco principal a preocupação para um desenvolvimento sustentado, no qual a conservação e recuperação ambiental estejam caminhando junto com o desenvolvimento tecnológico, econômico e social.

Como resultado deste trabalho, diagnosticaram que a maior parte da UGRHI-22 contém média e alta fragilidade de instabilidade emergente aos processos erosivos, com ocorrência de ravinas e voçorocas; o que provoca a alteração das formas do relevo e gera desagregação do solo, contribuindo, portanto, para o assoreamento dos cursos fluviais.

O avanço das tecnologias tem possibilitado o surgimento de novas ferramentas capazes de apoiar na fiscalização e no cumprimento do Código Florestal, destacando como uma das principais, o Geoprocessamento. Estas ferramentas são de processamento rápido e eficiente, sendo cada vez mais utilizadas nas análises ambientais. De acordo com Piroli (2012), o geoprocessamento é um ramo da ciência que trabalha com informações georreferenciadas a partir dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) que proporcionam a manipulação, avaliação e geração de produtos cartográficos ou não, de maneira a criar uma relação com a sua localização na superfície terrestre.

Romagnoli et al (2012), realizaram um estudo na Microbacia do Rio da Prata, cuja área encontra-se inserida na região do Médio Paranapanema (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema- URGHI-17), no estado de São Paulo, visando a utilização de técnicas do geoprocessamento para identificar, delimitar, analisar e mapear o uso e a ocupação da terra nas Áreas de Preservação Permanente (APP), de modo a verificar se há cumprimento do Código Florestal Brasileiro na área estudada. A partir disso, foram utilizados como base de dados, produtos do sensoriamento remoto com as imagens orbitais do satélite ALOS, por meio do seu sensor PRISM, cuja resolução espacial é de 2,5 metros, em uma banda pancromática com intervalo de registro entre 0,52 μm e 0,77 μm , de março de 2007. Carta topográfica digitalizada na escala de 1:50.000 do Município de Pratânia, SP (Folha SF 22 Z B V 4) publicada pelo IBGE, empregada para demarcar o limite da Microbacia do Rio da Prata, assim como para a vetorização da rede de drenagem. Os Sistemas de informações geográficas usados para o processamento das imagens foram o ArcGis 9.3.1 e o Idrisi Taiga.

As técnicas do geoprocessamento permitiram uma análise detalhada do uso da terra das APPs da microbacia hidrográfica do rio da Prata, onde foi possível detectar degradações de origem antrópicas em algumas áreas. No entanto, os resultados mostraram que grandes extensões de APP se revelaram ainda conservadas, evidenciando que na maior parte da bacia a legislação ambiental em vigor é cumprida.

5. Metodologia

5.1. Materiais e método

No intuito de atingir os objetivos, o trabalho divide-se em duas etapas principais. A primeira consiste na elaboração do mapa de uso e cobertura vegetal baseando-se na análise

visual de fotografias aéreas, e a segunda contempla a verificação das transformações ocorridas no uso da terra por meio do processamento de imagens orbitais.

Para tanto, foram selecionados e analisados textos básicos pesquisados junto a bibliotecas e com o auxílio da rede mundial de computadores. Os textos abrangem livros de referência, artigos em periódicos especializados e artigos publicados em anais de reuniões científicas que tratam das aplicações das técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica.

5.1.1. Elaboração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal: Interpretação Visual

Os elementos contidos em cartas topográficas, como curvas de nível, rede hidrográfica, pontos cotados e rede viária foram implantados em um sistema de informação geográfica e utilizados como dados auxiliares para a interpretação visual. Esses dados estão contidos nas cartas topográficas: Guaná (S F 22 Y A III 4), Euclides da Cunha Paulista (S F 22 Y A VI 2), Ribeirão das Pedras (S F 22 Y B I 3) e Santo Antônio do Caiuá (S F 22 Y B IV I), todas em escala 1:50 000, publicadas pelo IBGE.

Esta base serviu de apoio para a interpretação de fotografias aéreas em formato digital. Sendo assim, foi elaborada a chave de interpretação para aplicação nas ortofotografias aéreas digitais cedidas pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano (EMPLASA). Essas fotografias estão em três bandas, representadas por uma composição colorida normal, e abrangem quadrantes das cartas topográficas correspondentes a escala de 1:25 000. (SF-22-Y-A-III-4 quadrantes NO, NE, SO e SE, SF-22-Y-B-IV-1 quadrantes NO, NE, SO e SE, SF-22-Y-A-VI-2 quadrantes NO, NE, SO e SE, e SF-22-Y-B-I-3, quadrantes NO, NE, SO e SE).

As ortofotografias possibilitaram a confecção do mapa de uso da terra e cobertura vegetal referente ao mês de julho do ano de 2010. A base para elaboração do mapa consistiu na interpretação visual, procedimento que se fundamentou nos elementos de interpretação de imagens: cor/tonalidade, textura, padrão, localização, tamanho, forma, sombra e aspectos associados. A partir da análise desses elementos foi elaborada a chave de interpretação e se procedeu a interpretação propriamente dita. A interpretação contou com o auxílio do sistema de informação geográfica *ArcGIS* 10.1®, pois foram elaborados os polígonos das categorias, diretamente, sobre a tela do computador. O mapa de uso da terra contou com a divisão de vinte e duas categorias de uso, sendo que as cores utilizadas na legenda seguiram o padrão adotado pelo manual técnico de uso da terra do IBGE. Este mapa serviu de suporte para análise das imagens orbitais do *RapidEye*, estas cedidas pelo Ministério do Meio Ambiente.

5.1.2. Elaboração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal: Processamento Digital de Imagem

As imagens do sistema sensor *RapidEye*, fornecidas, gratuitamente, pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA Geo Catálogo), foram importadas para serem processadas no programa *ENVI* 5.1 ®. As imagens são disponíveis em cinco bandas espectrais correspondendo às faixas do azul, do verde, do vermelho, *red edge*, e do infravermelho próximo, possuindo resolução espacial de 5 metros. Segundo o MMA os códigos das imagens são 2228608, 2228609, 2228708, 2228709, 2228808 e 2228809 para recobrir a área de estudo. Quanto às datas de passagem, selecionou-se para o estudo as de setembro de 2013.

Para a realização deste trabalho, foi selecionada, apenas, uma imagem da área de estudo a qual foi submetida aos procedimentos de processamento digital, sendo ela correspondendo ao código 2228708. Após a transferência, foram aplicadas as rotinas de pré-processamento digital.

Esta primeira etapa teve como objetivo de corrigir e/ou eliminar a ocorrência de ruídos ou remoção de frequências espaciais de forma a melhorar a visualização de determinadas feições presentes na imagem. Para tanto, foi utilizado o submenu “*Filter*” do programa *ENVI* 5.1 ®, especialmente dedicado à aplicação de diferentes técnicas de filtragem. Para a remoção de ruídos na imagem, preservando as baixas frequências, utilizou-se o filtro passa baixa (*low-pass*), provocando um efeito de suavização (*smoothing*). Não foi necessário aplicar correção atmosférica na imagem, pois esta foi adquirida em condições atmosféricas de céu limpo. A composição colorida padrão utilizada para analisar visualmente os diferentes tipos de uso da terra e cobertura vegetal foi 5 (R) -3(G) -2(B). É importante esclarecer que todas as cinco bandas espectrais do *RapidEye* foram selecionadas para a realização da classificação.

Baseando-se nos procedimentos de classificação supervisionada, com o algoritmo clássico de *Spectral Angle Mapper* (SAM), foi elaborado um mapa de uso da terra referente ao período posterior a 2010 (ano da obtenção das ortofotografias). O método da classificação supervisionada contou com a ferramenta *Classification Workflow* oferecida pelo painel da *Toolbox*. A opção selecionada foi *Use Training Data*, a qual guiou os próximos passos para a classificação, no painel *Supervised Classification*.

Após acessar o painel para a classificação supervisionada, sob a aba *Algorithm*, foi selecionado o *Spectral Angle Mapper* (SAM), cujo método utiliza uma técnica de classificação espectral que usa um diagrama de ângulos para os pixels da imagem às amostras de treinamento. Isto é, este método determina o quanto há de similaridade espectral entre dois espectros para o cálculo do ângulo existente entre eles, tratando-os como vetores no espaço

com dimensão igual ao número de bandas. Dessa forma, os pixels são associados à classe que apresentar menos ângulo espectral (quanto menor for o ângulo, maior será a similaridade com relação a amostra de treinamento).

Como relação aos procedimentos de amostragem para a classificação, estas foram realizadas por meio da ferramenta *Polygon Annotation*, adicionando mais uma camada (*layer*) para a definição das classes. Tal procedimento revelou a necessidade de conhecimento prévio das características da área de estudo para que a seleção das amostras de treinamento fosse compreendida de maneira correta pelo *software*. Por isso, foi fundamental a realização prévia da fotointerpretação para conhecimento do uso da terra e cobertura vegetal da região.

Sendo assim, com a finalidade de assegurar que os *pixels* selecionados nas amostras fossem representativos, foram identificadas e selecionadas diferentes áreas na imagem para posterior coleta de amostras de treinamentos para cada classe, sendo elas: água, área úmida, cana adulta, cana cortada, pasto limpo e floresta.

Para a obtenção de maior precisão durante a classificação, na tentativa de reduzir a confusão entre as classes, foram coletadas amostras homogêneas, por meio de polígonos, para cada classe desejada. Dessa forma, as classificações da legenda denominadas cana adulta, cana cortada e pasto limpo foram subdivididas em cana adulta 1, 2 e 3; cana cortada 1, 2, 3 e 4; pasto limpo 1 e 2, de acordo com as diferentes respostas espectrais encontradas para a mesma classe, dependendo da idade do cultivo.

Ao todo foram coletadas 189 amostras, sendo elas 17 para a classe água, 8 para a área úmida, 35 para a cana adulta 1, 13 para a cana adulta 2, 9 para a cana adulta 3, 17 para a cana cortada 1, 16 para a cana cortada 2, 5 para a cana cortada 3, 17 para a cana cortada 4, 20 para a floresta, 14 para o pasto limpo 1, e 18 para o pasto limpo 2, como mostra a Figura 7.

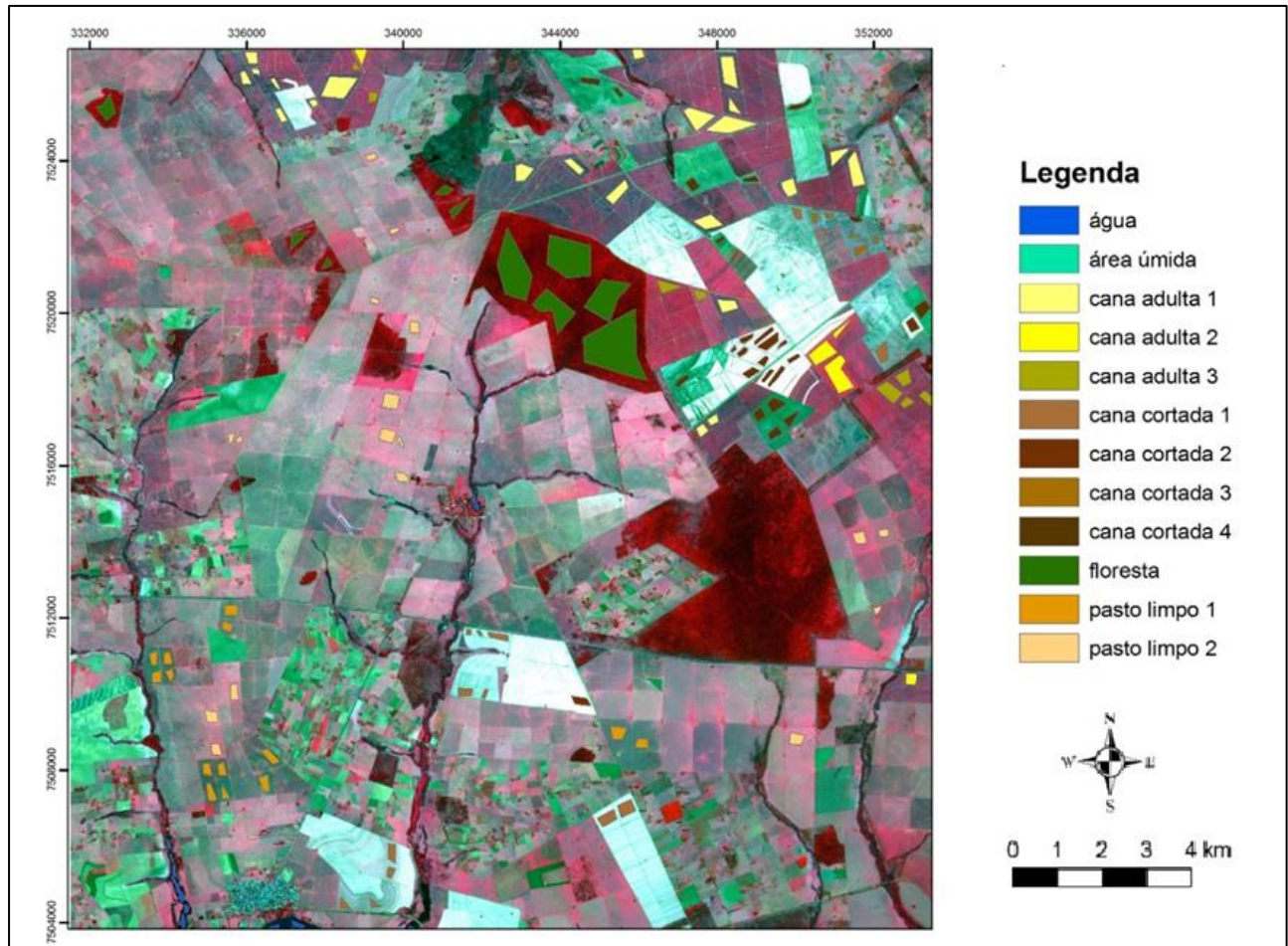


Figura 7: Mapa de uso da Terra - amostras.

O resultado foi carregado automaticamente e o painel *Cleanup*, processo de limpeza pós-classificação, foi utilizado para melhorar o aspecto da imagem após a classificação supervisionada. Dessa forma, a utilização dos recursos como *smoothing*, para a remoção de ruídos e o *aggregation*, para agregar as pequenas regiões adjacentes a uma região maior, permitiram a elaboração do mapa de uso da terra cobertura e vegetal para o ano de 2013.

5.1.3. Detecção de Mudanças

O sensoriamento remoto é especialmente útil para monitorar a atividade do homem em um determinado período de tempo, uma vez que o estudo das mudanças aumenta o nosso entendimento sobre os processos que atuam sobre a paisagem. O método mais comum utilizado para avaliar quantitativamente as mudanças entre uma ou mais datas é o da comparação das classificações geradas. Neste método os mapas são comparados por meio de uma tabulação de base *pixel-a-pixel*.

Quando a avaliação sobre as dinâmicas espaciais dos fenômenos ocorre apenas em duas datas, muitas vezes a comparação das classificações ocorre a partir de uma tabela chamada de matriz de detecção de mudanças (MDM) (JENSEN, 1996). A MDM é construída equiparando um mapa com as suas respectivas classes na linha da matriz, e outro mapa na coluna da matriz. Os valores da diagonal principal desta matriz representam as áreas que não sofreram alterações, enquanto que os valores fora da diagonal principal representam as áreas de mudança.

Segundo Jensen (1996), o método de pós-classificação é bastante importante para avaliar as transformações no uso da terra e cobertura vegetal, pois fornece informações detalhadas sobre as alterações ocorridas ao longo do tempo e as suas respectivas estimativas de área.

Para realizar a análise das mudanças por meio da matriz de detecção de mudanças, é fundamental que os dois mapas estejam compatíveis em termos de exatidão de mapeamento. Para isto, uma etapa importante adotada foi a correção manual dos erros existentes no mapa derivados da classificação digital. Isto evitou que erros oriundos da classificação fossem incorporados na análise das mudanças e assegurou, por outro lado, que os valores registrados na matriz retratassem a realidade da dinâmica da paisagem.

6. Resultados

6.1. Chave de interpretação

O desenvolvimento desta fase compreende a interpretação visual, que consiste nas fases de leitura e análise de imagens, gerando, como resultado, a chave de interpretação.

A chave de interpretação consiste num conjunto de descrições para reconhecer nas imagens as categorias de uso da terra e cobertura vegetal. A confecção dessas chaves baseia-se nos elementos de interpretação de imagens, descritos anteriormente (BAKER et al., 1979).

A legenda adotada para a interpretação visual dos mosaicos é sugerida por Keller (1969), sendo abordada, neste trabalho, a subdivisão das categorias em áreas antrópicas não agrícolas e áreas antrópicas agrícolas. A classificação do uso da terra e cobertura vegetal foi dividida em classe e subclasse (níveis I e II), com as seguintes áreas mapeadas: cana adulta, cana cortada, pasto limpo, assentamento, floresta, área úmida, água e solo exposto. Neste trabalho, a definição das cores da legenda teve como base a tipologia da cobertura e do uso da terra proposta pelo IBGE (2013), como pode ser observado na Figura 8.

NÍVEL I	NÍVEL II	
1. Áreas Antrópicas Não Agrícolas	1.1	Área Urbanizada
	1.2	Área de Mineração
2. Áreas Antrópicas Agrícolas	2.1	Cultura Temporária
	2.2	Cultura Permanente
	2.3	Pastagem
	2.4	Silvicultura
	2.5	Uso Não Identificado
3. Áreas de Vegetação Natural	3.1	Florestal
	3.2	Campestre
4. Água	4.1	Corpo d'Água Continental
	4.2	Corpo d'Água Costeiro
5. Outras Áreas	5.1	Área Descoberta

Figura 8: Classes da cobertura e do uso da terra níveis I e II. Fonte IBGE, 2013.

6.1.1. Áreas Antrópicas Não Agrícolas

6.1.1.1. Áreas Urbanas

Como situação urbana foi considerada as áreas correspondentes às cidades (sedes municipais), às vilas (sedes distritais) e às áreas urbanas isoladas conforme classificação do IBGE. Compreendem áreas de uso intensivo, estruturadas por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não agrícolas. Estão incluídas nesta categoria as metrópoles, cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços e transporte, energia, comunicações e terrenos associados, áreas ocupadas por indústrias, complexos industriais e comerciais e instituições que podem em alguns casos encontrar-se isolados das áreas urbanas. As áreas urbanizadas podem ser contínuas, onde as áreas não lineares de vegetação são excepcionais, ou descontínuas, onde as áreas vegetadas ocupam superfícies mais significativas. (CENSO DEMOGRÁFICO 2010, 2011).

6.1.1.1.1. Área Urbana Isolada

Essa categoria pode ser definida como sendo uma área separada da sede municipal ou distrital por uma área rural. Apresenta padrão quadriculado formado pelas ruas e avenidas com cores e tonalidades diversas (Figura 9).



Figura 9: Amostra de área urbana isolada.

6.1.1.1.2. Indústria

Categoria definida como sendo uma área onde se instalam indústrias (Figura 10), podendo manter vínculos com o setor agropecuário ou algum parque tecnológico, ou até mesmo estar em contato com áreas urbanas. As edificações são grandes, sendo possível medir as suas áreas.



Figura 10: Amostra de indústria.

6.1.2. Áreas Antrópicas Agrícolas

Em um sentido mais abrangente, a terra agrícola pode ser definida como terra utilizada para a produção de alimentos, fibras e commodities do agronegócio. Todas as terras cultivadas estão incluídas, caracterizadas pelo delineamento de áreas cultivadas ou em descanso, podendo também compreender áreas alagadas. Podem ser também zonas agrícolas heterogêneas ou representar extensas áreas de “plantations”. Encontram-se inseridas nesta categoria as lavouras temporárias, lavouras permanentes, silvicultura e áreas comprovadamente agrícolas cujo uso não foi identificado no período do mapeamento.

6.1.2.1. Cultura temporária

Caracteriza-se como o cultivo de plantas de curta ou média duração, em que é necessário um novo ciclo de crescimento de vegetação após a colheita para a continuidade da produção. As lavouras semipermanentes como, por exemplo, a cana-de-açúcar também está incluída nessa categoria. Essa categoria demonstrou ser de fácil identificação, pois vários elementos da fotointerpretação contribuíram para isso.

6.1.2.1.1. Cana-de-açúcar adulta

São áreas que apresentam cultivo de cana tratada em grandes talhões, cuja textura é homogênea e aveludada, com aspecto suave e coloração verde claro. Na maioria das vezes, ocupa grandes parcelas de cultivo e grandes áreas. São culturas dispostas em talhões bem definidos, subdivididos por carregadores com formatos que variam de acordo com a topografia da região. Em áreas planas, os talhões e carregadores têm formato de trapézio, enquanto em áreas mais onduladas, os talhões seguem mesmo formato. Isto é, apresentam formas geométricas regulares, separados por caminhos ou estradas e ocupando grandes áreas.

“Por vezes podem ser vistas linhas paralelas sobre os canaviais, provocadas pela aração mecânica do solo, e principalmente, pelo tipo de corte em faixas longitudinais” (CERON e DINIZ, 1966) (Figura 11).



Figura 11: Amostra de cana adulta.

6.1.2.1.2. Cana-de-açúcar cortada

São áreas onde a cana encontra-se cortada ou em fase de preparação, diferindo no tipo e cor do solo. É possível identificar carregadores (estradas estreitas) que divide os talhões, de coloração mais escura, tornando-se o arranjo espacial um elemento fundamental para a identificação. Sua textura é homogênea, porém a cor muda de verde para marrom, de tonalidade clara (Figura 12).



Figura 12: Amostra de cana cortada.

6.1.2.1.3. Cana-de-açúcar queimada

São áreas de cultivo de cana no estágio de queimada, caracterizadas por coloração escura e textura homogênea, sendo que o solo subjacente não é identificável; percebe-se os carregadores e talhões. A cor das áreas queimadas varia de acordo com o tempo: quanto mais escura a área, mais recente foi o uso do fogo (Figura 13).

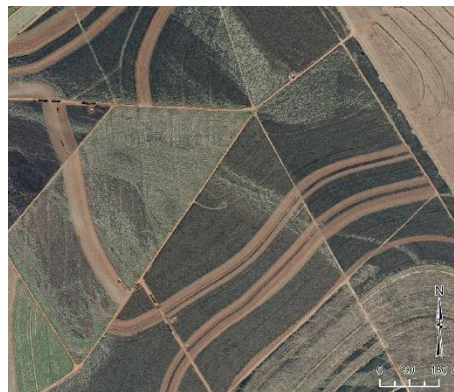


Figura 13: Amostra de cana queimada.

6.1.2.2. Cultura permanente

Compreende o cultivo de plantas perenes, isto é, de ciclo vegetativo de longa duração. Essas plantas produzem por vários anos sucessivos sem a necessidade de novos plantios após colheita, sendo utilizadas técnicas de cultivo tradicional, orgânico, assim como o cultivo de plantas modificadas geneticamente.

6.1.2.2.1. Café

Áreas nas quais é possível observar os corredores bem definidos com forma regular das mudas de café, apresentando aspecto granular e em tonalidades de marrom.

Nos cafezais a distância entre as plantas é pequena, permitindo que a copa dos cafeeiros se toque e se confunda, não havendo possibilidade de distinguir os indivíduos isoladamente

com clareza. Quando os cafezais são novos, em geral apresentam cor mais escura e a disposição das mudas são mais ordenadas (CERON e DINIZ, 1966, p. 166) (Figura 14).



Figura 14: Amostra de café.

6.1.2.3. Pastagens

As pastagens podem aparecer com aspectos diversos decorrentes das variações de cor, textura, altura do capim, do maior ou menor número de árvores espalhadas no pasto e da existência, ou não, de sinais de cultura.

São áreas destinadas ao pastoreio do gado, formadas mediante plantio de forragens perenes ou aproveitamento e melhoria de pastagens naturais. Nestas áreas, o solo está coberto por vegetação de gramíneas e/ou leguminosas, ou encontra-se abandonado. Partindo desse pressuposto, esta categoria pode ser subdividida em:

6.1.2.3.1. Pasto limpo

Corresponde às áreas cujas pastagens são tratadas, apresentando textura homogênea e lisa, com pouca presença de arbustos, gramíneas rasteiras e formato regular dos polígonos. Em algumas áreas é possível notar curvas de nível, traçadas com arado para diminuir os efeitos da erosão, e linhas divisórias (cercas) entre talhões ou propriedades. Também é possível distinguir pontos mais escuros nas extremidades dos talhões, o que indica locais em que os animais se reúnem (Figura 15).



Figura 15: Amostra de pasto limpo.

6.1.2.3.2. Pasto sujo

Corresponde às áreas de pastagens abandonadas, formadas por estágios mais intensos de degradação, com predominância de plantas invasoras e presença de árvores e arbustos esparsos. Seus segmentos não possuem forma regular e a textura mostra-se mais rugosa (Figura 16).



Figura 16: Amostra de pasto sujo.

6.1.2.4. Silvicultura

Caracteriza-se como atividade ligada a ações de composição, trato e cultivo de povoamentos florestais, assegurando proteção, estruturando e conservando a floresta como fornecedora de matéria-prima para a indústria madeireira, de papel e celulose ou para o consumo familiar. A silvicultura também desempenha papel de agente protetor, benfeitor e embelezador da paisagem (IBGE, 2002). Apresenta textura rugosa e uniforme, geralmente polígonos com formas bem definidas, e coloração verde escura.

Quando as árvores são adultas, os eucaliptos apresentam cor verde escura e uniforme, e as copas se juntam, pois, estão desenvolvidas (Figura 17).

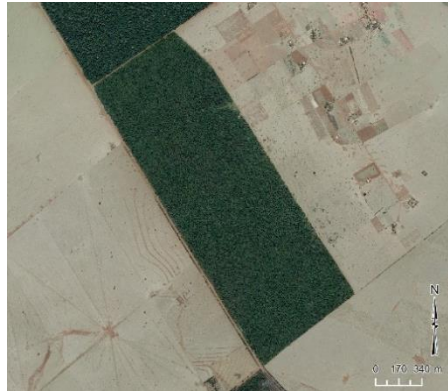


Figura 17: Amostra de silvicultura.

6.1.2.4.1. Silvicultura Antiga

São áreas que se encontram abandonadas ou foram cortadas. Sua textura não aparece tão homogênea, notando-se áreas que não recobrem o terreno, deixando-o aparecer sob as árvores, deixando entrever linhas paralelas que correspondem ao solo descoberto no espaçamento entre os troncos (Figura 18).



Figura 18: Amostra de silvicultura antiga.

6.1.2.5. Áreas de Vegetação Natural

6.1.2.5.1. Floresta

Na área de estudo podem ser encontrados dois tipos de cobertura florestal, as florestas naturais e as áreas destinadas aos remanescentes florestais, como o Morro do Diabo. Essas classes e subclasses foram caracterizadas no processo de mapeamento.

A identificação das florestas se faz por quatro elementos distintos: cor, textura, altura e forma. A textura mostra-se bastante rugosa, o que caracteriza a densidade do dossel da vegetação em virtude da variedade de espécies vegetais, com dimensão e alturas diversas. A coloração verde escura mais intensa decorre do verde vivo das folhas (Figura 19).



Figura 19: Amostra de floresta.

6.1.2.5.2. Floresta Degradada

Representam áreas florestais em degradação, com menor densidade do dossel e com textura menos rugosa que a florestal. As formas são irregulares e as bordas apresentam grande variação de textura e tonalidades decorrentes da maior variação da cobertura vegetal (Figura 20).



Figura 20: Amostra de floresta degradada.

6.1.2.5.3. Área de Preservação Permanente ou Floresta Ciliar

São áreas possuidoras de cobertura vegetal que ocorre ao longo dos cursos de água e estão sempre associadas às áreas úmidas. Geralmente apresentam formato alongado, devido aos cursos d'água e muitas vezes ocorrem no entorno das lagoas (Figura 21).



Figura 21: Amostra de floresta ciliar.

6.1.2.6. Águas

Incluem todas as classes de águas interiores e costeiras, como cursos de água e canais (rios, riachos, canais e outros corpos de água lineares), corpos d'água naturalmente fechados, sem movimento (lagos naturais regulados) e reservatórios artificiais (represamentos artificiais d'água construídos para irrigação, controle de enchentes, fornecimento de água e geração de energia elétrica), além das lagoas costeiras ou lagunas, estuários e baías.

6.1.2.6.1. Áreas de Preservação Permanente não Florestada ou Áreas Úmidas

São áreas que ocorrem em locais sujeitos à inundação periódica, geralmente em planícies fluviais, ou protegendo áreas de nascentes. Essas áreas também aparecem às margens dos reservatórios e está associada à floresta ciliar. A tonalidade é mais escura nestas áreas em decorrência da maior umidade (Figura 22).



Figura 22: Amostra de APP não florestada ou área úmida.

6.1.2.6.2. Voçoroca

Ocorre em áreas de cabeceiras de drenagem, em solos com vegetação escassa, onde o processo erosivo foi muito intenso. Apresenta coloração marrom, devido à exposição do solo e sombra, proveniente da dissecação provocada pela erosão (Figura 23).



Figura 23: Amostra de voçoroca.

6.1.2.6.3. Açude

Áreas destinadas à construção de lagos e represas artificiais utilizadas para diversos fins. Percebe-se a presença de barragens (Figura 24).



Figura 24: Amostra de açude.

6.1.2.6.4. Aquicultura

Atividade que consiste da introdução e da manipulação de energia pelo homem num ecossistema aquático, visando obter maior taxa de extração das espécies aquáticas. São pequenos lagos, reservatórios retangulares dispostos um ao lado do outro e com tonalidades variadas (Figura 25).



Figura 25: Amostra de aquicultura.

6.1.2.6.5. Lago

Corpo d'água com coloração escura (frequentemente próxima do preto), textura lisa e forma irregular (Figura 26).



Figura 26: Amostra de lago.

6.1.2.6.6. Canal em processo de assoreamento

Corpo d'água com forma irregular, textura lisa e coloração marrom. A cor barrenta caracteriza grande quantidade de sedimentos depositados no lado devido aos processos erosivos (Figura 27).



Figura 27: Amostra de canal em processo de assoreamento.

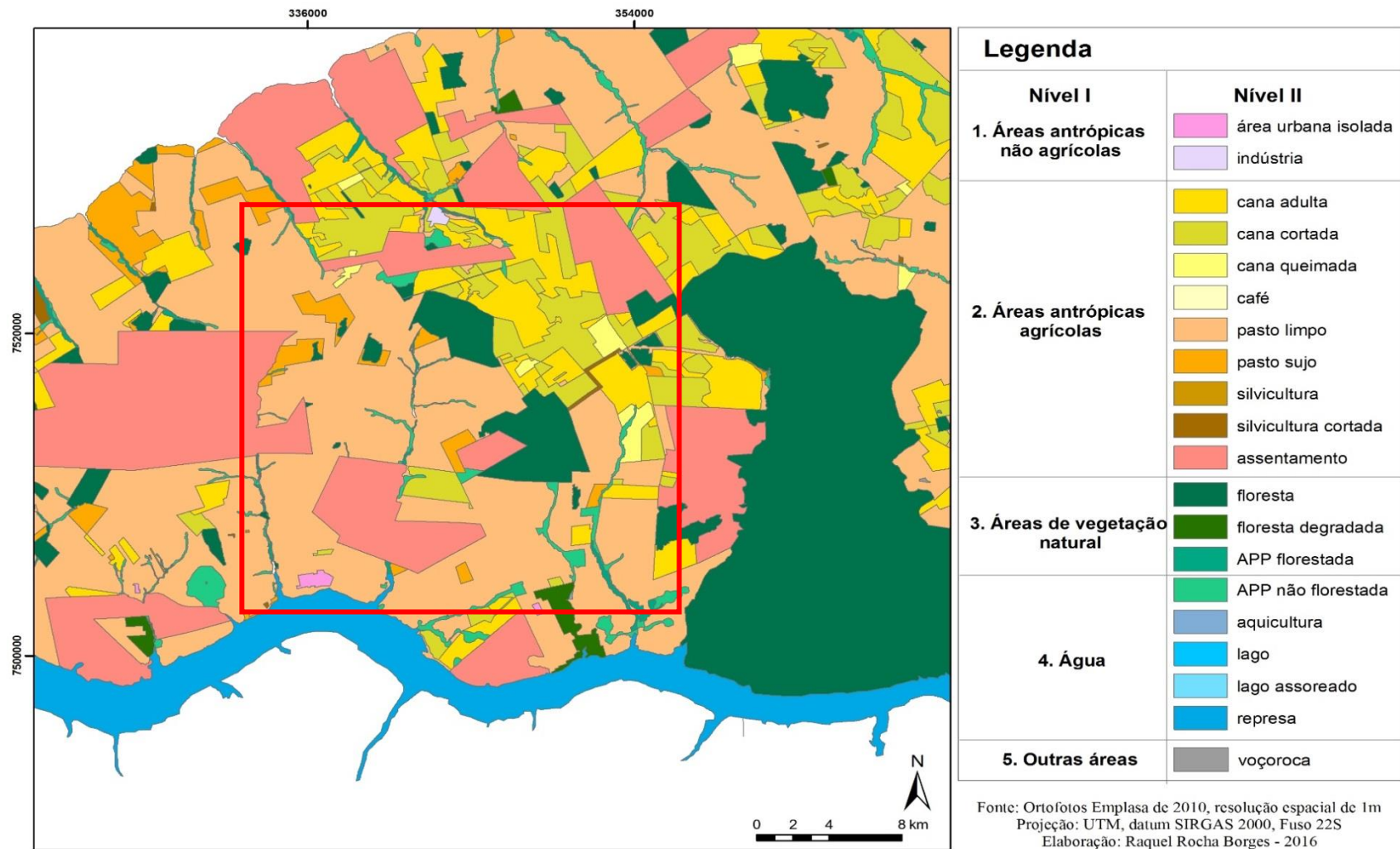
6.1.2.6.7. Represa

Corpo d'água represado artificialmente para utilização de energia elétrica (Figura 28).

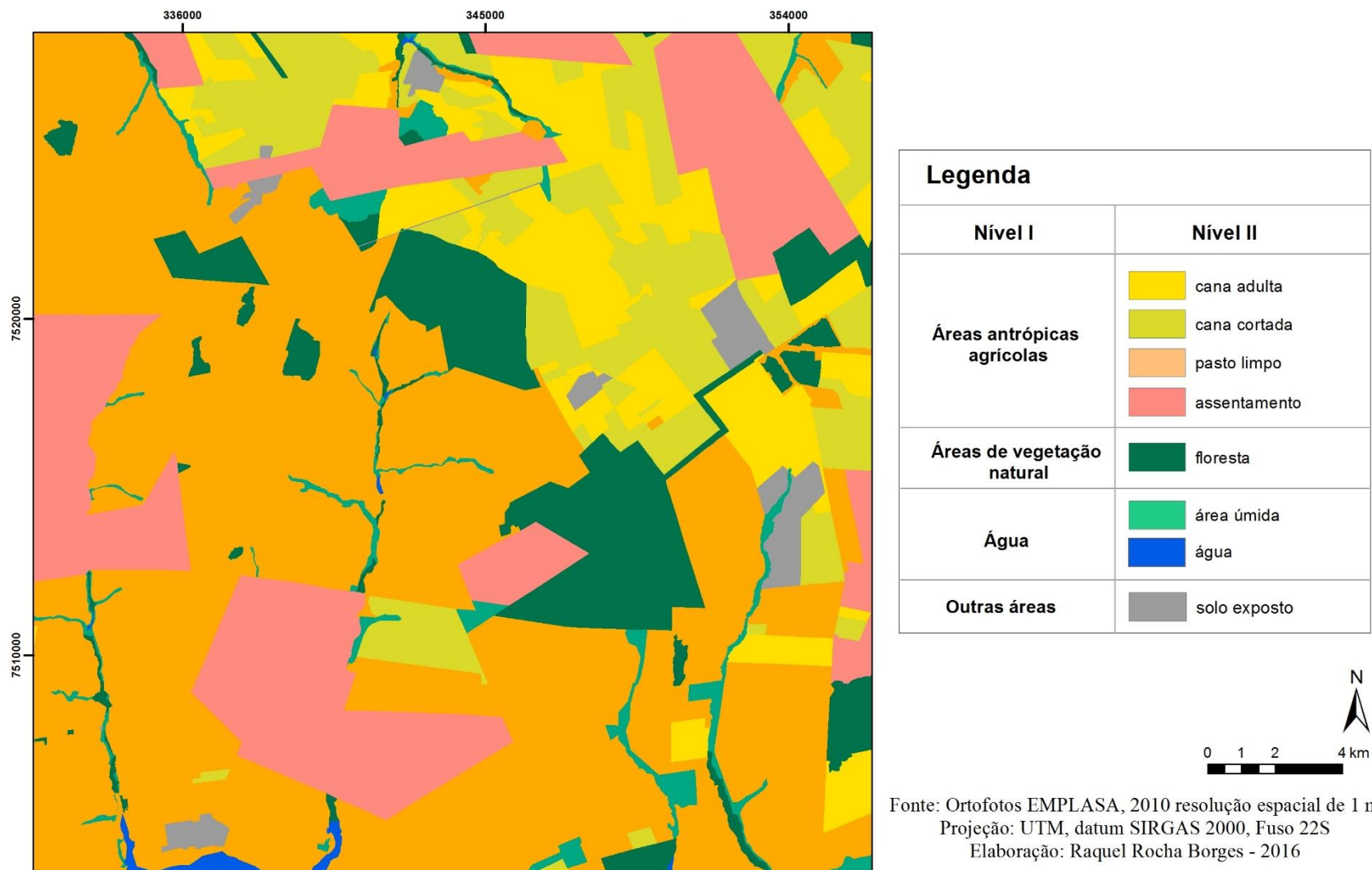


Figura 28: Amostra de represa.

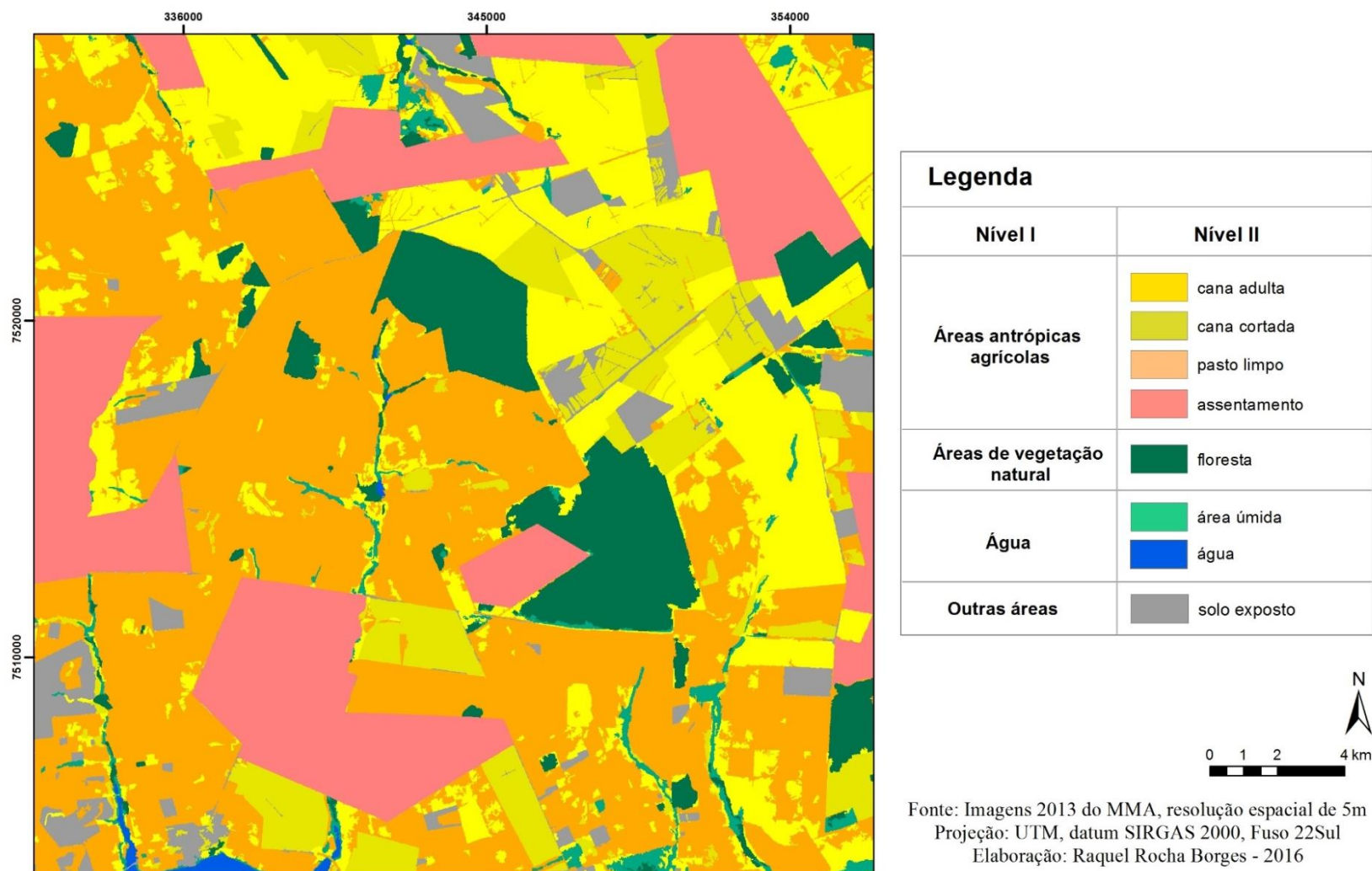
6.2. Uso da terra e cobertura vegetal



Mapa 1: Uso da terra e cobertura vegetal da área de estudo com base na interpretação visual.



Mapa 2: Uso da terra e cobertura vegetal com base na interpretação visual – área amostral.



Mapa 3: Uso da terra e cobertura vegetal com base na classificação supervisionada - área amostral.

Visando uma análise mais detalhada da detecção de mudanças do uso da terra e cobertura vegetal, optou-se pelo processamento digital de imagem de uma área menor do que a estabelecida ao mapeamento proposto pelo projeto temático citado anteriormente. Das seis imagens disponíveis, foi selecionada aquela que apresentou melhores condições atmosféricas, ou seja, cuja cena apresentou menor cobertura de nuvens na área amostral, correspondendo parte do município de Euclides da Cunha Paulista e Teodoro Sampaio. Dessa forma os dois mapeamentos foram compatibilizados para uma mesma área de abrangência, correspondendo a 62.263,83 ha, com as mesmas categorias de uso da terra e cobertura vegetal na legenda.

A Tabela 1 mostra as áreas dos dois mapeamentos, em hectares, de cada uso da terra e cobertura vegetal correspondente às datas de 2010 e 2013, bem como a evolução dos usos no decorrer dos três anos que separam a obtenção das fotografias aéreas e as imagens de satélite.

Tabela 1: Área e evolução dos usos em 2010 e 2013.

Uso	Área em 2010 (ha)	Área em 2013 (ha)	Evolução dos usos 2010-2013 (ha)
Água	243,98	213,48	-30,5
Área Úmida	1.438,52	1.123,23	-315,29
Assentamento	10.828,12	10.828,12	0
Cana adulta	6.210,86	12.420,82	6.244,87
Cana cortada	7.485,45	5.519,49	-1.965,96
Floresta	5.755,15	5.197,37	-557,78
Pasto Limpo	29.167,84	23.916,33	-5.251,51
Solo exposto	1.133,91	3.045,00	1.911,09
Total	62.263,83	62.263,84	-

A técnica empregada para a confecção do mapa de uso da terra e cobertura vegetal por meio da utilização de chaves de interpretação (Mapa 1) possibilitou verificar a correspondência entre a resposta dos alvos na imagem e as possíveis classes de uso que deveriam estar a elas associadas. Esse procedimento auxiliou na padronização da interpretação da imagem, dando mais objetividade à interpretação, tendo em vista que a interpretação visual se mostrou eficiente e adequada. O mapa gerado pela interpretação visual (Mapa 2) apresenta aspecto homogêneo em sua visualização e revela a predominância de pastagem, representada pela classe “pasto limpo”, contabilizando uma área correspondente a 29.167,84 ha, que está associado à pecuária que se configura como uma importante atividade

econômica. Pode-se notar que boa parte dessa categoria vem sendo substituída e ocupada por outra atividade econômica, representada pelas categorias de cana-de-açúcar.

Com menor expressão, aparece o uso Água, com o total de 243,98 ha. No entanto, apesar de seu aspecto homogêneo, o processo de interpretação visual é bastante detalhado, e depende da experiência do fotointérprete. Por conta disso, trata-se de um processo considerado preciso e com pequena margem de erro.

A elaboração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal utilizando a classificação supervisionada (Mapa 3), gerou resultados bastante semelhantes ao mapa elaborado a partir da interpretação visual, porém obtidos com maior eficiência no tempo de execução do que em relação a técnica convencional baseada na fotointerpretação. Para conferência e validação do mapa produzido pela técnica da classificação supervisionada (Mapa 3), utilizou-se o mapa da fotointerpretação (Mapa 2) como base.

Como resultado, a classificação supervisionada (Mapa 3) se mostrou útil e eficiente, visto que se pode observar um predomínio de pastagens distribuídas por todo o mapa, bem como o avanço da cana-de-açúcar nas proximidades dos remanescentes florestais. As áreas úmidas também foram bem representadas, localizadas no entorno das redes de drenagem. O uso Pasto limpo também ocorre com predominância, ganhando maior representatividade por ocupar 2.3916,33 ha da área classificada. Já a classe com menor relevância continua sendo a Água com 213,48 ha. Esta classificação apresenta maiores detalhes devido a técnica de classificação espectral que utiliza os pixels da imagem para identificar as categorias de uso da terra e cobertura vegetal, diferente daquela gerada por interpretação visual.

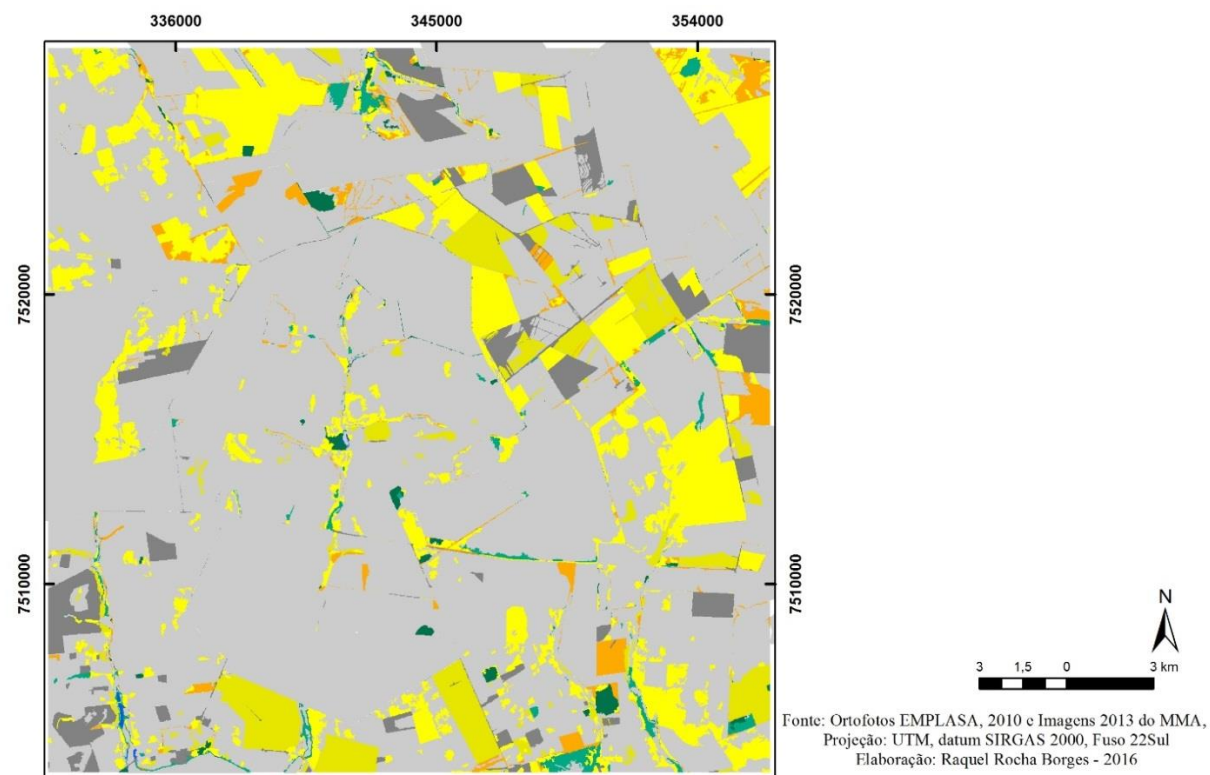
A análise da evolução dos usos entre 2010 e 2013 evidencia que as classes correspondentes a Água, Área úmida, Cana cortada, Floresta e Pasto limpo tiveram redução em área. Já a Cana adulta e Solo exposto tiveram um aumento. A redução de parte das categorias Água e Área úmida podem ser explicadas pelo avanço das plantações de cana-de-açúcar e de pastoreio de gado sobre os cursos d'água, que comprometem a estabilidade das vertentes e contaminam o lençol freático por agrotóxicos. Dessa forma, o processo de erosão intensifica-se, aumentando o risco de formação de voçorocas e assoreamentos dos cursos d'água.

Além do avanço da cana-de-açúcar e do pasto limpo sobre as áreas ocupadas por florestas até o ano de 2010, há também mudanças da Cana cortada para Cana adulta e Solo exposto, assim como o Solo exposto virando Cana adulta e Cana cortada. Nota-se também o avanço dos cultivos de cana adulta e pasto limpo sobre as áreas úmidas originalmente preservadas, mostrando seu avanço sobre os assentamentos e remanescentes florestais.

A categoria Floresta, encontrada nas reservas florestais e nas porções limitadas ao entorno das áreas úmidas, apesar da redução, ainda assim mostra um aspecto de conservação ambiental relevante na região.

De modo geral o mapeamento da classificação supervisionada apresentou resultados satisfatórios comparados aos resultados da fotointerpretação. Porém, mesmo com todo o cuidado de selecionar amostras de treinamento homogêneas, a assinatura espectral de alguns usos foi confundida em diversas áreas, por isso foi fundamental adotar a etapa de correção manual dos erros existentes no mapa derivados da classificação digital. Uma vantagem que a classificação supervisionada apresenta é a rapidez com que obtém os resultados, sendo bastante útil para mapeamento de áreas muito grandes, em que a interpretação visual levaria muito tempo, podendo até ser considerada inviável.

O mapa 4, matriz de detecção de mudança, é capaz de identificar as alterações no padrão de uso da terra e cobertura vegetal em função do tempo, como resultado de alterações da vegetação ou da intervenção humana. Dessa maneira, permite mostrar o cruzamento de dados qualitativos para comparar as duas técnicas distintas e as mudanças de categorias utilizando dados multitemporais, ocorridas entre 2010 e 2013. Isto possibilita identificar se as áreas, em hectares, continuaram com a mesma categoria de uso, correspondentes ao valor da diagonal principal, ou se elas mudaram para uma nova classe. A última coluna e linha descreve a porcentagem de mudança ocorrida para cada classe analisada.



Classificação		2013								Mudanças (%)
		Água	Floresta	Cana adulta	Cana cortada	Pasto limpo	Solo exposto	Assentamento	Área úmida	
2010	Água	191,3	1,6	7,5	0	4,9	1,6	0	37	21,6
	Floresta	0	4846,6	443,33	14,02	179,58	6,3	0	265,3	15,8
	Cana adulta	0	0	4338	938,2	303,7	526,7	0	104	30,2
	Cana cortada	0	0	3323,9	2637,3	528,1	926,1	0	69,9	64,8
	Pasto limpo	0	0	3476,5	1545,2	22680,1	1355,8	0	109,9	22,2
	Solo exposto	0	0	423,3	362,4	106	232,7	0	9,3	79,5
	Assentamento	0	0	0	0	0	0	10828,1	0	0,0
	Área úmida	1,2	159	426,8	42,7	263,9	17,2	0	527,6	63,3
Mudanças (%)		0,6	3,2	65,1	52,4	5,8	92,4	0,0	53,0	

Mapa 4: Mapa de detecção de mudanças entre os anos de 2010 e 2013 na área amostral.

A área de estudo apresentou algumas mudanças quanto ao uso da terra e cobertura vegetal na paisagem, que podem ser descritas de acordo com a resposta espectral de cada alvo. As classes que apresentaram maiores mudanças foram a Cana cortada, o Solo exposto e a Área úmida. Tal fato se deve à expansão da monocultura canavieira na região. Nestas áreas, onde a cultura canavieira está se expandindo, está associado o aumento físico das queimadas, representado pela categoria Solo exposto, que mostra a mudança dos estágios da Cana adulta para Cana cortada e Solo exposto. Podem também englobar diferentes tipos de solo, desde aqueles que estão em repouso ou preparo para cultivo da cana-de-açúcar, quanto outros que podem estar expostos por simples retirada da cobertura vegetal e pela busca de incorporação legal e ilegal de novas terras para o uso extensivo.

As mudanças da categoria de uso Água para Cana adulta e Pasto limpo podem estar associadas a possíveis erros residuais existentes que não foram corrigidos na etapa de pós-classificação. Ainda, a classe Área úmida tornando-se Água também pode estar relacionada às mudanças sazonais da largura dos rios e de outros corpos d'água (período de estiagem e de chuvas). Isto é, os rios e outros corpos d'água tendem a aumentar sua área de abrangência nos períodos chuvosos (primavera e verão) em relação aos períodos de estiagem (inverno), visto que a imagem *RapidEye* utilizada é de setembro de 2013 (primavera) e a ortofoto foi tomada em julho de 2010 (inverno).

As mudanças da categoria Água para Floresta e Área úmida para Floresta, podem ser explicadas pelas áreas alagáveis terem resposta espectral parecida com as sombras projetadas pelas florestas. As categorias de uso denominadas Floresta e Área úmida fazem parte integrante do tipo de vegetação do grupo de fisionomias do Domínio Mata Atlântica, Floresta Tropical Subcaducifólia, na qual se encontra Unidades de Conservação, como é o caso do Morro do Diabo. Pode-se notar que algumas áreas úmidas se situam em áreas degradadas e outras estão cobertas por florestas ou apresentam regeneração natural e estão razoavelmente protegidas, muito provavelmente em razão da legislação que prevê sanções contra violações de áreas de preservação permanente (APPs). No entanto, essas áreas deveriam estar todas cobertas por mata ciliar, o que não ocorre, visto que problemas ambientais foram encontrados ao longo dos canais fluviais, com focos de processos erosivos, representados pelos canais em processo de assoreamento e das grandes voçorocas.

No que se referem às culturas temporárias, os resultados encontrados mostram a significativa expansão da cultura canavieira, ocorrendo a conversão das áreas originalmente usadas como Pasto limpo em Cana adulta e Cana cortada. Esse fato vem demonstrando a importante mudança que está acontecendo na área, que segue uma tendência em todo o Pontal

do Paranapanema, onde a cana-de-açúcar tem sido implantada com grande intensidade e em um número significativo de propriedades rurais, tornando-se um dos principais produtos agrícolas da região (THOMAZ JUNIOR, 2010). Pode-se notar que há predomínio de assentamentos rurais, que ganham grande destaque na região do Pontal do Paranapanema, no entanto, essa categoria não sofreu mudança em área, mantendo 10.828,12 ha, pois não tiveram novos assentamentos na área amostral durante o período analisado (2010-2013).

Assim sendo, a matriz de detecção de mudanças mostra que, de maneira geral, ocorreu um aumento da área utilizada por cultivos de cana-de-açúcar (cana adulta, cana cortada e solo exposto – estágio de pousio da cana) em relação aos outros tipos de usos da terra e cobertura vegetal, como: pasto limpo, as florestas e áreas úmidas, evidenciando uma tendência de ampliação desses cultivos na área analisada.

7. Discussão e conclusão

Os resultados obtidos pela interpretação visual e pela classificação supervisionada mostram a expansão do agronegócio sobre as porções de terra no Pontal do Paranapanema. Vimos ao longo do trabalho que o histórico de povoamento da região traz como marca os interesses dos diversos atores sociais, através das políticas implantadas, em sua maioria, para beneficiar e regularizar as ações ilícitas dos grandes latifundiários, especuladores imobiliários, políticos, entre outros, principalmente no que diz respeito à ocupação fundiária e à destruição das grandes reservas florestais que ali existiam. Por outro lado, os movimentos sociais de luta pela terra que ali resistem, muitas vezes acabam sendo absorvidos pelo agronegócio, seja como forma de mão de obra explorada ou por terem a saúde afetada.

O aumento significativo na área plantada de cana-de-açúcar se deve ao modelo do agronegócio, caracterizado por monoculturas em extensas áreas de terra, antecedidas pelo desmatamento, que compromete a biodiversidade, e pelo consumo intensivo de fertilizantes e agrotóxicos para atingir as metas elevadas da produtividade, que irá transformar a cana em biocombustível e açúcar (BOMBARDI, 2011, 2012, 2013). Esse processo de expansão, o qual se consolida em praticamente todos os biomas brasileiros, se fortalece com intensidade no Cerrado e na Mata Atlântica. Essa superexploração dos recursos naturais fica evidente, principalmente, nas áreas onde se encontram remanescentes florestais, como o Parque Estadual Morro do Diabo e vem crescendo no entorno dos assentamentos rurais, que representam um número expressivo na região.

Conforme foi observado, onde a cultura canavieira está se expandindo, concilia interesses agroquímicos, alimentares e financeiros, que visam a produção para exportação,

trazendo sérias consequências associadas à contaminação ambiental, à presença de resíduos contaminantes nos alimentos ingeridos pela população e às formas de exposição dos trabalhadores canavieiros. O manejo inadequado do solo traz consequências ambientais que foram evidentes durante o mapeamento da paisagem regional, mostrando pequenos córregos e rios totalmente assoreados, pastagens degradadas, erosões e voçorocas, devido a não preservação dos cursos d'água, que deveriam estar protegidos por matas ciliares. Frente às práticas predatórias de ocupação da terra e de exploração dos recursos naturais fica evidente a importância do manejo adequado, de medidas de educação ambiental, da preservação dos remanescentes florestais e de legislações que busquem a conservação da natureza e que responsabilizem os causadores de danos ao meio ambiente.

Ainda, as práticas de desmatamento relacionadas aos estágios diferentes do cultivo da cana-de-açúcar e a busca de incorporação legal e ilegal de novas terras para a produção de mercadorias oriundas da commoditização da agropecuária fundamentada na utilização de agroquímicos, contribuem para a degradação ambiental (THOMAZ JUNIOR, 2010). O uso das queimadas e da pulverização de agrotóxicos na agricultura devasta a cobertura vegetal e a fauna nativa, altera as composições físicas, químicas e biológicas do solo, aumentando cada vez mais a dependência por fertilizantes químicos e a demanda por uma maior aplicação de agrotóxicos para o controle das novas pragas e doenças nas lavouras. Além disso, contaminam os solos, os rios, o lençol freático, os mananciais e as represas que abastecem a população; assim como os alimentos produzidos nos diversos assentamentos rurais, compostos por famílias de agricultores tradicionais que empreendem policulturas, muitas vezes destinadas ao suprimento de alimentos para o mercado interno (TEUBAL, 2008).

Segundo o Dossiê ABRASCO (CARNEIRO et al., 2015), 70% dos alimentos in natura consumidos no Brasil estão contaminados por agrotóxicos, sendo que, em 28% dos casos diagnosticados, contêm substâncias não autorizadas. Além de contaminar os alimentos por agroquímicos, de acordo com Franco (1998) o agronegócio envolve os pequenos sítiantes no circuito de produção capitalista, caracterizando-os como o produto mais cruel da expansão do capital, ao inseri-los nas relações sociais de produção, mesmo que de forma marginalizada. A existência desses grupos socialmente organizados ocorre em função do desenvolvimento da exploração lucrativa da terra. O pequeno lavrador independente desaparece e surge o sítiante proprietário e o morador de terras alheias, caracterizando a agricultura familiar de maneira recriada e adaptada sob novas condições econômicas.

Dessa maneira, a agricultura familiar sofre influências diretas da expansão da pecuária e da cultura canavieira, que provocam grande pressão sobre o modo de uso do solo,

configurando o abandono da agricultura familiar em detrimento das práticas extensivas de uso da terra e cobertura vegetal, resultando na falta de alternativas econômicas. Como consequência, as comunidades locais passam a ser dependentes da agroindústria, uma vez que as empresas mantêm o controle econômico sobre a região. Além disso, o trabalho humano vem sendo cada vez mais mitigado pelo agronegócio, configurando relações de trabalho de superexploração estabelecidas na produção agropecuária, tanto pela exposição a jornadas excessivas de trabalho, como por exemplo, o corte de cana, quanto pelo manejo de produtos químicos nocivos à saúde.

Diante destas observações, já amplamente denunciadas e discutidas pela literatura (TEUBAL, 2008; THOMAZ JUNIOR, 2002; 2010; THOMAZ JUNIOR, et al, 2012; TROMBETA et al.,2014; OLIVEIRA, 2009; PIROLI et al., 2012), o uso de técnicas de sensoriamento remoto para a identificação e quantificação da ocorrência deste processo, sobre a perspectiva multitemporal, se mostra como sendo especialmente útil. Não apenas para um alerta da ocorrência deste processo nos meios acadêmicos, científicos, políticos, nacionais e internacionais etc., como também para o seu diagnóstico e mobilização da sociedade civil na proposição de possíveis soluções voltadas a mitigação e/ou eliminação dos seus efeitos nestes locais de interesse para toda a sociedade, pois são nessas regiões que os principais gêneros alimentícios consumidos pela população brasileira, especialmente a paulista, são produzidos; revelando-se, portanto, como um fator de ameaça à segurança alimentar do próprio país.

Por fim, a comparação dos mapas de uso da terra e cobertura vegetal permitiu verificar uma grande semelhança na distribuição das categorias de uso. Apesar da técnica de fotointerpretação oferecer mais recursos de análise do que a classificação supervisionada, a utilização desta última também se mostrou bastante satisfatória e eficiente, pois tornou todo o processo mais rápido.

Este trabalho teve como objetivo verificar a capacidade de identificação das diferentes classes de uso, através de diferentes técnicas aplicadas nos dois tipos de imagens disponíveis, com a finalidade de identificar as mudanças, principalmente sobre o avanço da cultura canavieira, mesmo sendo em um intervalo de tempo relativamente pequeno, de três anos. Vale salientar que ambas as técnicas não são necessariamente excludentes, visto que elas podem ser utilizadas de maneira conjunta para validação, conferência e refinamento dos mapas gerados.

8. Bibliografia

AGUIAR, L. S; SANTOS, R. P; MODESTO, R.P. Carta da cobertura vegetal das escarpas da Serra do Mar atingidas por poluentes atmosféricos na Região de Cubatão- SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7, 1993, Curitiba. Anais. Curitiba: 2001. p. 01-05.

ARAGÃO, L. E; GRAÇA, P. M; LOMBARDI, R. J; KRUG, T. Utilização de técnicas de classificação digital de imagens Landsat TM-5 na identificação de áreas florestais afetadas pela extração seletiva de madeira: Parte baixa do Rio Capim, PA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, 2001, Foz do Iguaçu. Anais. Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 1509-1512.

BAKER, R. D.; DESTEIGUER, J. E.; GRANT, D. E.; NEWTON, M. J. Land-use/Land Cover mapping from aerial photographs. *Photogrammetric Engineering and remote sensing*, 45 (5): 661-668, 1979.

BARRETO, M. J. Territorialização das agroindústrias canavieiras no Pontal do Paranapanema e os desdobramentos para o trabalho. 2012. 244 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

BARONE, L. A; MELAZZO, E. S; SILVA, A. A. Célula do Pontal do Paranapanema – SP. Acompanhamento e Informação para o desenvolvimento rural. Ministério do Desenvolvimento Agrário. Presidente Prudente, n 5, p. 1-116, 2011.

BISPO, P. C; VALERIANO, M. M. Efeitos de métodos de classificação e de escalas de mapeamento na percepção das relações entre geomorfometria local e classes de vegetação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. Anais. Natal: INPE, 2009. p. 2587-2594.

BOMBARDI, L. M. Violência Silenciosa: o uso de Agrotóxicos no Brasil. Anais do VI Simpósio Internacional de Geografia Agrária: Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2013.

BOMBARDI, L. M. Agrotóxicos e agronegócio: arcaico e moderno se fundem no campo brasileiro. Direitos humanos no Brasil 2012: Relatório da Rede Social de Justiça e Direitos Humanos. São Paulo: Expressão Popular, 2012.

BOMBARDI, L. M. Intoxicação e morte por agrotóxicos no Brasil: a nova versão do capitalismo oligopolizado. In: Boletim Dataluta. NERA – Núcleo de Estudos, Pesquisas e Projetos de Reforma Agrária. Presidente Prudente, Setembro de 2011, p. 1 – 21. Disponível em: http://www2.fct.unesp.br/grupos/nera/artigodomes/9artigodomes_2011.pdf.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base de Informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário. Brasília: IBGE, 2011.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de Uso da Terra, 3ª Edição. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013. 171p.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico em Geociências, nº9 - Introdução ao Processamento Digital de Imagens. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2001. 91p.

CARNEIRO, F. F.; AUGUSTO, L. G. da S.; RIGOTTO, R. M.; FRIEDRICH, K.; BÚRIGO, A. C. Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Rio de Janeiro: EPSJ/São Paulo: Expressão Popular, 2015.

CERON, A.O.; DINIZ, J.A.F. O Uso de Fotografias Aéreas na Identificação das Formas de Utilização Agrícola da Terra. Revista Brasileira de Geografia. Rio de Janeiro, n.2, ano XXVIII, junho/1966. p.161-172.

CRÓSTA, A. P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1993, 1992. 170p.

DISPERATI, A. A; DLUGOSZ, F. L; BOBROWSKI, R; SLOMA, D. C. Mapeamento florestal do município de Irati- PR: aspectos iniciais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10, 2001, Foz do Iguaçu. Anais. Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 935-937.

FITZ, P. R. Geoprocessamento sem Complicação. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160p.

FLORENZANO, T. G. (2005). Geotecnologias na Geografia Aplicada: Difusão e Acesso. Revista do Departamento de Geografia, n. 17, p. 24-29.

FRANCO, M. S. C. Homens livres na ordem escravocrata. 4ª ed. São Paulo: Fundação Editora UNESP, 1998.

GENOVEZ, P. C. et al. Indicadores territoriais de exclusão/inclusão social: Geoinformação como suporte ao planejamento de políticas sociais. In: ALMEIDA, C. M de; CÂMARA, G; MONTEIRO, A. M. V. (Org). Geoinformação em urbanismos: cidade real x cidade virtual. São Paulo: Oficina de Texto, 2007. P. 64-85.

GIRARDI, E. P. GIRARDI; SILVEIRA, M. F. B. da. Mapeamento da territorialização do cultivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo no período 2000-2011. In: XVII Encontro Nacional de Geógrafos, 2012, Belo Horizonte. Anais do XVII Encontro Nacional de Geógrafos. Belo Horizonte: Associação dos Geógrafos Brasileiros, 2012.

JENSEN, J. R. Introductory Digital Image Processing: A Remote sensing perspective. New Jersey: Prentice-Hall, 1996.

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 2. ed. São José dos Campo, SP: Parêntese Editora, 2009. 587 p.

KELLER, E. C. de S. Projeto do Mapeamento da Utilização da Terra. Aerofotogeografia, __ (3): 1 – 16, 1969.

LEITE, J, F. A Ocupação do Pontal do Paranapanema. São Paulo: Hucitec, 1998.

LILLESAND, T. M; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J.W. Remote Sensing and Image Interpretation. 5a ed. Madison: Wiley, 2004.

LUCHIARI, A.; KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G. Aplicações de Sensoriamento Remoto na Geografia In: VENTURI, L. A. B. Org. Geografia: Praticando Geografia: técnicas de campo e de laboratório. São Paulo: Editora Oficina de Textos, p. 33-54, p. 2005.

MATTOS, C; MIRANDA, J. R; ZONTA, M; COUTINHO, A. C. Cartografia do uso atual das terras nas áreas de proteção ambiental de Sousas e Joaquim Egídio, Campinas, SP, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador. Anais. Salvador: INPE, 1996. P 521-522.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. 1. ed Brasília: UnB, 2012. p. 276.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 3. ed. Viçosa: UFV, 2005. 320 p.

NOVAES JÚNIOR, R. A; SIMI JÚNIOR, R.; VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S. A. F. Monitoramento da cobertura vegetal em áreas litorâneas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, 1996, Salvador. Anais. Salvador: INPE, 1996. P 541-542.

OLIVEIRA, A. U. Os agrocombustíveis e a produção de alimentos. Anais do XII EGAL, 2009. Disponível em: http://egal2009.easyplanners.info/area06/6194_OLIVEIRA_Arivaldo_Umbelino.doc.

PIROLI, E. L; LEAL, A. C; ZANATTA, F, A. Análise do uso e cobertura da terra das áreas de preservação permanente ao longo do canal principal do baixo curso do rio Paranapanema. Ciência Geográfica - Bauru - XVI - Vol. XVI (1). p. 62-70. Janeiro/ Dezembro - 2012.

PIROLI, E. L; SANTOS dos, E, P. Análise do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Ribeirão do Rebojo usando geoprocessamento: uma contribuição ao planejamento ambiental- URGHI Pontal do Paranapanema (SP) - Brasil. Revista Geonorte, Edição Especial. V.2, N.4. p. 1244-1261, 2012.

PIROLI, E. L; SANTOS dos, V. R. Monitoramento das áreas de preservação permanentes (APPs) da calha principal do médio paranapanema, apoiado em ferramentas de geoprocessamento. Revista Geonorte, Edição Especial, V. 2, N.4. p. 1602-1611, 2012.

PONZONI, F; SHIMABUKURO, Y. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. São José dos Campos: Parênteses, 2010. 127p.

ROMAGNOLI, I; PIROLI, E.L; ZANATA, J.M; GIMENES, G.R. Geoprocessamento aplicado na análise do uso da terra das áreas de preservação permanente dos corpos d'água da microbacia do Rio da Prata- SP. Revista Geonorte, Edição especial, V.2, N.4. p. 1519- 1527, 2012.

ROSA, R. Introdução ao sensoriamento remoto. 7. ed. Uberlândia: EDUFU, 2009. 264 p.

ROSS, J, L. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. Revista do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas/USP. n°8, 1994.

SCHOWENGERDT, R. A. Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing. 3. ed. San Francisco, CA: Academic Press, 2007. 560 p.

TEUBAL, M. O campesinato frente à expansão dos agronegócios na América Latina. In: PAULINO, E. T.; FABRINI, J. E. (Orgs). Campesinato e territórios em disputa. São Paulo: Expressão Popular, 2008.

THOMAS JÚNIOR, A. O Agrohídronegócio no centro das disputas territoriais e de classe no Brasil do século XXI. CAMPO-TERRITÓRIO: revista de geografia agrária, v.5, n.10, p. 92-122, ago. 2010.

TROMBETA, L. R; GARCIA, R. M; NUNES, R; GOUVEIA, I. C; LEAL, A. C. Análise da fragilidade potencial e emergente do relevo da unidade de gerenciamento de recursos hídricos do Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil. Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n36, Volume Especial. p. 159-173, 2014.

WELCH, C. A.; FERNANDES, B. M. Agricultura e mercado: campesinato e agronegócio da laranja nos EUA e no Brasil. In: PAULINO, E. T.; FABRINI, J. E. Campesinato e territórios em disputa. São Paulo: Expressão Popular, 2008. p. 161-190.