



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/03.15.17.50-TDI

TRANSIÇÃO FLORESTAL E DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA NO CENTRO-SUL PAULISTA

Alindomar Lacerda Silva

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto, orientada
pelos Drs. Diógenes Sala Alves,
e Matheus Pinheiro Ferreira,
aprovada em 18 de abril de 2018.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3QNAT3P>>

INPE
São José dos Campos
2018

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

E-mail: pubtc@inpe.br

**COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO
DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):****Presidente:**

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

Membros:

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

Dr. André de Castro Milone - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (CGETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT)

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/03.15.17.50-TDI

TRANSIÇÃO FLORESTAL E DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA NO CENTRO-SUL PAULISTA

Alindomar Lacerda Silva

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto, orientada
pelos Drs. Diógenes Sala Alves,
e Matheus Pinheiro Ferreira,
aprovada em 18 de abril de 2018.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3QNAT3P>>

INPE
São José dos Campos
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Silva, Alindomar Lacerda.

Si38t Transição florestal e dinâmica de uso e cobertura da terra no centro-sul paulista / Alindomar Lacerda Silva. – São José dos Campos : INPE, 2018.

xxiv + 98 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/03.15.17.50-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018.

Orientadores : Drs. Diógenes Sala Alves, e Matheus Pinheiro Ferreira.

1. Mudanças de uso e cobertura da terra (MUCT).
2. Transição Florestal. 3. Métricas de piscinagem. 4. Regeneração.
5. Reflorestamento. I.Título.

CDU 528.8:332.3(815.6)



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

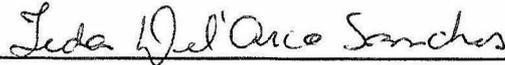
Aluno (a): **Alindomar Lacorda Silva**

Título: "TRANSIÇÃO FLORESTAL E DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA NO CENTRO-SUL PAULISTA".

Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Mestre** em

Sensoriamento Remoto

Dra. Ieda Del'Arco Sanches



Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

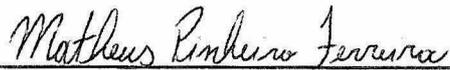
Dr. Diógenes Salas Alves



Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

Dr. Matheus Pinheiro Ferreira



Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

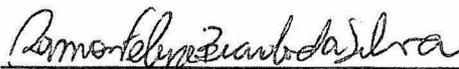
Dr. Thales Sehn Körting



Membro da Banca / INPE / São José dos Campos - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

Dr. Ramon Felipe Bicudo da Silva



Convidado(a) / NEPAM/UNICAMP / Campinas - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

unanimidade

São José dos Campos, 18 de abril de 2018

“When you least expect it, nature has cunning ways of finding our weakest spot”.

André Aciman

Aos meus sobrinhos Luiz e Jorge

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Diógenes Salas Alves e ao Dr. Matheus Pinheiro Ferreira, pela paciência, orientação, sugestões, ajuda e apoio na realização deste trabalho. Em especial pela liberdade de testar e errar, pois contribuiu muito para o amadurecimento profissional.

À Fundação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo auxílio Financeiro.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações. Aqui aprendi muito sobre o poder da paciência, resiliência e autocontrole.

À minha família, pelo incentivo, apoio e suporte durante esses anos. Em especial à minha mãe, por sempre acreditar em meu potencial.

Aos amigos de república (Bruno e Erone), pela experiência de vida, momentos de descontração e companheirismo.

Aos amigos de turma (Jéssica, Natália, Mikhaela, Maria, Renata, Thales, Raquel, Téhrrie, Clarissa, Lidiane, Hilton, Paula, Priscila, Renan, Anderson, Bárbara, Catherine, Camile e Celso), com os quais pude passar ótimos momentos – seremos sempre 2ª C.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho,

Muito Obrigado!

RESUMO

Mudanças de uso e cobertura da terra são processos complexos, dos quais a perda e eventual recuperação da cobertura florestal são dois elementos de reconhecida importância. O Sensoriamento Remoto, neste sentido, se caracteriza como importante ferramenta para investigar processos como esses, e quando combinado com estatísticas demográficas e agrícolas tem sido utilizado para examinar associações entre a variação da cobertura florestal e outros processos. A teoria de transição florestal tem por objeto essas variações quando ocorrem aumentos da cobertura florestal em regiões que passaram por processos de desflorestamento persistentes. O bioma Mata Atlântica, que foi submetido à conversão de florestas para a agricultura resultando na perda da quase totalidade de sua cobertura florestal original, atualmente apresenta indícios de recuperação florestal em algumas áreas. Nesse contexto, os objetivos deste estudo foram (1) examinar a hipótese de transição florestal em uma área da região centro-sul do estado de São Paulo, em que é observada uma expressiva expansão de cana-de-açúcar e silvicultura; e (2) investigar a associação das mudanças de uso e cobertura da terra na região e transformações de larga escala da paisagem com base na combinação de imagens de satélites, dados censitários e métricas de paisagem. Foram utilizadas 21 imagens dos satélites Landsat entre 1973 e 2017 e desenvolvida uma metodologia para identificar e quantificar perdas e ganhos de áreas de fisionomia florestal, discriminando-se também fragmentos remanescentes, de florestas secundárias (regeneração) e plantadas comerciais (silvicultura ou reflorestamento) e calculando-se métricas de paisagem para fragmentos de florestas remanescentes e secundárias. Dados dos censos agrícolas de 1995 e 2006 foram analisados para identificar os principais usos agrícolas e investigar mudanças em áreas de pastagens, cana-de-açúcar, produtos da silvicultura e culturas permanentes. Os resultados do trabalho revelaram que a cobertura florestal total (incluindo as florestas remanescentes, as florestas secundárias e as florestas plantadas) correspondeu a 19.9% da área de estudo no período de 1995-2005 (período I) e 23.6% em 2006-2013 (período II); a série temporal de imagens cobrindo o período de 1973 a 2017 foi utilizada para elucidar dúvidas na discriminação das áreas de floresta. As florestas plantadas contribuíram com a maior parte dos ganhos de cobertura florestal, com aumento de 180% entre 1995 e 2013, alcançando 195.300 ha ou 7.8% da área de estudo em 2013. A análise da distribuição espacial dos fragmentos revelou que cerca de metade dos fragmentos remanescentes e de regeneração eram observados a menos de 50 m dos corpos d'água, sugerindo que a preservação e recuperação das matas de galeria pode melhorar a conectividade entre fragmentos. A análise dos censos mostrou que a área de cana-de-açúcar cresceu em 26,5% nos municípios da área de estudo e sua produção (quantidade de toneladas moídas) 29%, enquanto a de pastagens diminuiu em 23% e a de culturas permanentes, como laranja, tangerina e lima, em 32,4%. A

combinação de dados de sensoriamento remoto e de Censos mostrou que as transformações da paisagem apresentaram um padrão de expansão da silvicultura na porção sul e centro sul da área de estudo, principalmente nos municípios de Pardinho, Paranapanema e São Miguel Arcanjo, onde se concentrou o crescimento de áreas de cobertura florestal, e um padrão de expansão de áreas de cana de açúcar no norte e centro-norte da área de estudo, onde processos de regeneração e reflorestamento foram marginais.

Palavras-chave: Mudanças de uso e cobertura da terra (MUCT). Transição florestal. Métricas de paisagem. Regeneração. Reflorestamento.

FOREST TRANSITION AND LAND USE/COVER DYNAMICS IN SOUTH-CENTRAL SÃO PAULO

ABSTRACT

Land use and land cover changes are complex processes, among which loss and recovery of forest cover represent two aspects of recognized importance. Remote Sensing, in this sense, remote sensing make up an important set of tool to investigate such changes, which, in combination with demographic and agricultural statistics has been used to examine associations between forest cover variation and other processes. The Forest Transition Theory has as its object such variations in the case of net increases in Forest cover in regions of previously persistent deforestation. The Brazilian Atlantic Forest biome, which has been subjected to continuous forest conversion to agriculture resulting in the loss of nearly all of its original forest cover, is presently showing evidence of forest recovery in some areas. In this context, the objectives of this study were (1) to examine the hypothesis of forest transition in an area in south-central São Paulo State, where significant expansion of sugarcane and also silviculture has been observed; and (2) to investigate the association of changes in land use and land cover in the region and large scale landscape transformations based on the combination of satellite images, census data and landscape metrics. A series of 21 Landsat images from 1973 to 2017 were used and a methodology was developed to identify and quantify areas presenting forest physiognomy, and to differentiate Atlantic Forest (AF) remnants, fragments of secondary forests (regeneration), and commercial forest plantations (silviculture). In addition, landscape metrics for fragments of remaining and secondary forests were calculated. Data from the 1995 and 2006 agricultural censuses were analyzed to single out main agricultural uses and investigate changes in pasture, sugarcane, forestry products and permanent crops. Results show that total forest cover accounted for 19.9% of the study area in 1995-2005 (period I) and 23.6% in 2006-2013 (period II), including AF remnants, forest regeneration and commercial forest plantations; the image time-series from 1973 to 2017 was used to elucidate doubts in the discrimination of forest areas. Commercial forest plantations contributed to the greatest share of forest cover gains, with a 180% increase between 1995 and 2013, reaching 195,300 ha or 7.8% of the study area in 2013. The analysis of forest fragments spatial distribution revealed that about half of remnant and regeneration fragments occurred within 50 m of the water bodies, suggesting that the preservation and recovery of riparian vegetation can improve connectivity among fragments. Analysis of Census data showed that sugarcane areas grew by 26.5% in the municipalities of the study area and total sugarcane production increased by 29%, while pasture areas decreased by 23% and permanent crops, such as orange, mandarin and lime, by 32.4%. The combination of remotely sensing and census data showed that the landscape transformations presented a pattern of silviculture expansion in the south and southwestern portions of the study area, mainly in the

municipalities of Pardinho, Paranapanema and São Miguel Arcanjo, and a pattern of sugarcane expansion in the north and northeast portion of the study area, where processes of regeneration and reforestation were marginal.

Keywords: Land use and land cover change (LULCC). Forest transition. Landscape metrics. Regeneration. Reforestation.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 3.1: Mapa das principais fitofisionomias do Bioma da Mata Atlântica. ...	18
Figura 3.2: Curva de variação da cobertura florestal mostrando ponto de inflexão na curva de desmatamento, quando uma região passa a registrar aumento na cobertura florestal.....	22
Figura 4.1: Mapa de Localização da área de estudo.....	30
Figura 4.2: Metodologia de trabalho.....	35
Figura 4.3: Etapas do Processamento de Imagens.....	36
Figura 4.4: Mapa do roteiro percorridos em campo em setembro de 2017. Trajeto de viagem é mostrado em vermelho; pontos de coleta de dados validação, em verde; pontos de tomada das fotografias representados como triângulos amarelos	41
Figura 4.5: Etapas da análise de fragmentos.....	42
Figura 4.6: Análise dos dados do Censo.....	45
Figura 5.1: Matrizes de confusão	48
Figura 5.2: (a) Mapa das áreas de fisionomia florestal segundo as classes de transição de cobertura florestal para o período 1995-2005; mostrando (b) áreas de manutenção do estado de cobertura de floresta primária ou remanescentes florestais (REM), (c) áreas de transição de cobertura não florestal para floresta secundária (REG), (d) áreas de transição de cobertura não florestal para floresta plantada (NF-FP e (e) áreas de manutenção do estado de Floresta Plantada (FP-FP).. A variação do comportamento espectral durante o período de estudo foi validada usando as imagens de 1996-2004, conforme Tabela 4.1.....	49
Figura 5.3: (a) Mapa das áreas de fisionomia florestal segundo as classes de transição de cobertura florestal para o período 2006-2013; mostrando (b) áreas de manutenção do estado de cobertura de floresta primária ou remanescentes florestais (REM), (c) áreas de transição de cobertura não florestal para floresta secundária (REG), (d) áreas de manutenção do estado de Floresta Plantada (FP-FP) e (e) áreas de transição de cobertura não florestal para floresta plantada (NF-FP). A figura inclui exemplos dessas transições. A variação do comportamento espectral durante o período de estudo foi validada usando as imagens de 2007-2011, conforme Tabela 4.1.	50
Figura 5.4: Quantidade de polígonos por classe de tamanho de fragmento. ...	52
Figura 5.5: Área total (ha) por classe de tamanho de fragmento.	53

Figura 5.6: Mascaras de limite de biomas, da máscara utilizada e das imagens utilizadas para verificar a ocorrência de fragmentos.	55
Figura 5.7: Imagens da região da Colônia dos Pescadores: exemplo de remanescente florestal presente desde 1973. As imagens de 1973 e 1981 estão em composição R4, G2 e B1; e as imagens dos anos seguintes em R4, G5 e B3. Os polígonos em amarelo representam perda florestal em 1981 (2 km ²) e degradação por fogo em 2013 (5 km ²).	56
Figura 5.8: Número de fragmentos de remanescentes por classe de tamanho do fragmento.	58
Figura 5.9: Área de remanescentes por classe de tamanho de Fragmento.	59
Figura 5.10: Número de fragmentos em relação à distância à borda do fragmento mais próximo.	59
Figura 5.11: Número de fragmentos em relação à distância do rio mais próximo.	60
Figura 5.12: Número de fragmentos de regeneração em relação à distância ao rio mais próximo.	61
Figura 5.13: Área de regeneração por classe de tamanho de fragmento.	62
Figura 5.14: Evolução da área plantada de cana-de-açúcar na área de estudo.	64
Figura 5.15: Mapa de evolução da área plantada de cana-de-açúcar e florestas comerciais plantadas na região de estudo.	65

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 3.1: Características dos Sensores Landsat.	26
Tabela 4.1: Imagens utilizadas no processamento.	32
Tabela 4.2: Erro Médio Quadrático do Registro de Imagens.	37
Tabela 4.3: Descrição dos índices de métricas de Paisagens utilizados de acordo com Evans (2017).	44
Tabela 5.1: Área ocupada das classes de transição nos períodos I e II.	47
Tabela 5.2: Comparação entre os mapeamentos: quantidade de polígonos por classe de tamanho do fragmento.	51
Tabela 5.3: Área total da cobertura florestal por faixa de tamanho de fragmento para o período de 1995-2005.	53
Tabela 5.6: Resultados dos Índices de Métricas de Paisagem.	57
Tabela 5.7: Cobertura Florestal dentro dos buffers de 30 e 50 m.	63
Tabela 5.8: Produtos da Silvicultura entre 1995-2006.	66
Tabela 5.9: Correlação entre os principais usos da terra: silvicultura e cana-de-açúcar e suas variáveis.	67
Tabela 5.10: Área colhida de produtos da citricultura.	68

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
CANASAT	Mapeamento de Cana via Imagens de Satélites e Observação da Terra
CBERS	<i>China-Brazil Earth-Resources Satellite</i>
CEPAGRI	Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura
CFB	Código Florestal Brasileiro
CO2	<i>Carbon Dioxide</i>
COPLACANA	Cooperativa dos Plantadores de Cana do Estado de São Paulo
CPA	Coordenação do Planejamento Ambiental
ENVI	<i>Environment for Visualizing Images</i>
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper</i>
EVI	<i>Enhanced Vegetation Index</i>
FLONA	Floresta Nacional de Ipanema
FUNCATE	Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais
GloVis	<i>Global Visualization Viewer</i>
HJ	<i>Huan Jing Satellite</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	Instituto de Economia Agrícola
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEF	Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais
IRS	<i>Indian Remote Sensing Satellite</i>
MAXVER	Máxima Verossimilhança
MDE	Modelo de Elevação Digital
MLME	Modelo Linear de Mistura Espectral
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MODIS	<i>Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer</i>

MUCT	Mudança de uso e cobertura da terra
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NDVI	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
PAM	Pesquisa Agrícola Municipal
PIB	Produto Interno Bruto
PRODES	Projeto de Estimativa do Desflorestamento da Amazônia/Inpe
RSME	Erro Médio Quadrático
SIG's	<i>Sistemas de Informações Geográficas</i>
SPOT	<i>Satellite Pour l'Observation de la Terre</i>
SUDAM	Superintendência para o Desenvolvimento da Amazônia
SVM	<i>Support Vector Machine</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
WGS-84	<i>World Geodetic System 1984</i>
WRS	<i>World Reference System</i>

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	5
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
3.1. Estudos de Mudança do Uso e Cobertura da Terra	7
3.1.1. Conceituando mudança de uso e cobertura da terra	7
3.1.2. Estudos de Mudanças do uso e cobertura em diferentes regiões do globo.....	9
3.1.3. Estudos de Mudança de uso e cobertura da terra no Brasil	12
3.2. O Bioma da Mata Atlântica.....	16
3.3. Teoria de Transição Florestal.....	19
3.4. Regeneração Florestal	23
3.5. Sensoriamento Remoto como ferramenta de detecção de mudanças de uso e cobertura da terra.....	25
3.5.1. Sensores e Plataformas orbitais	25
3.5.2. Sensoriamento Remoto da Vegetação	26
4 METODOLOGIA.....	29
4.1. Área de estudo	29
4.2. Materiais.....	32
4.2.1. Série Temporal	32
4.2.2. Dados de Censo	33
4.2.3. Máscara SOS Mata Atlântica	33
4.2.4. Dados Auxiliares	33
4.3. Métodos.....	34
4.3.1. Processamento de imagens	35
4.3.2. Análise dos Fragmentos Florestais Produzidos pelo Processamento de Imagens.....	41
4.3.3. Análise dos dados dos Censos.....	44
5 RESULTADOS	47
5.1. Mapas de Transição de Cobertura florestal.....	47

5.2. Comparação entre os Mapeamentos da Fundação SOS Mata Atlântica, Interpretação Visual e Classificador Automático	51
5.3. Análise dos Remanescentes Florestais entre 1973-2013	54
5.4. Métricas de paisagem e isolamento de fragmentos	56
5.5. Mudanças de uso e cobertura da terra de acordo com análises do Censo.....	63
6 DISCUSSÕES	69
7 CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
APÊNDICE	90
A. Narrativa do Trabalho de Campo	90
ANEXOS.....	98

1 INTRODUÇÃO

O estudo das mudanças de uso e cobertura da terra (MUCT, *do inglês Land Use and Land Cover Change-LULCC*) é considerado um importante campo de pesquisa, em particular, por refletirem a organização socioeconômica, política, e cultural das diferentes regiões do planeta e serem elementos importantes para entender mudanças ambientais globais (GEIST; LAMBIN, 2001). Esse campo de estudos se constitui em relação a fenômenos como desmatamento e regeneração florestal, padrões e processos da paisagem, e outros, que são também objetos de estudo de uma variedade de disciplinas como as geografias econômica e agrária, a ecologia da paisagem e a economia. Sua natureza, portanto, é multidisciplinar e complexa e sua investigação normalmente envolve a combinação de dados de fontes muito diversas (e.g. GEIST; LAMBIN, 2001; LAMBIN; GEIST, 2006).

No caso do Brasil, os estudos das mudanças de uso e cobertura da terra também se justificam pela importância que essas mudanças têm para explicar a formação e transformação do território brasileiro. Os diferentes ciclos econômicos contribuíram para a transformação da paisagem nos vários biomas brasileiros, com destaque para o ciclo da cana-de-açúcar no Nordeste (a partir do século XVI), do café no Rio de Janeiro, em Minas Gerais e em São Paulo (a partir do século XIX), da borracha na Amazônia (a partir do século XIX), a mineração (XVIII-XIX) e também a pecuária, ocorrendo em paralelo a estes ciclos (MACHADO, 1992; MORAES, 2001). Durante o ciclo do café (XIX-XX), se fundamentaram as bases para a industrialização nacional, principalmente no Sudeste (MORAES, 2001). Cada ciclo resultou em diferentes mudanças nas regiões em que ocorreram, e influenciou a vida dos habitantes que ali viviam e no modo como trabalhavam a terra (DE HOLANDA, 1995).

Mais recentemente, um processo de importância macroeconômica que passou a afetar a dinâmica de uso e cobertura da terra em escala regional é o da expansão das plantações de cana-de-açúcar na região sudeste do país para a produção do etanol biocombustível, principalmente a partir

de 2003. Essa expansão ocorreu majoritariamente sobre áreas de pastagem e terras agricultáveis (ADAMI et al., 2012), estimulando debates sobre como a produção de alimentos é impactada pela de biocombustíveis (CAMARA; CALDARELLI, 2016).

A dinâmica de uso e cobertura da terra mostra variações importantes entre as regiões do país. Se, por um lado, a Amazônia Legal do país concentra os maiores processos de desmatamento - 428600 km² desde 1988 (PRODES, 2017) - por conta da expansão da fronteira agrícola na região (MACHADO, 1992), por outro, alguns autores sugerem que podem estar ocorrendo crescimento de florestas nas regiões sul e sudeste, por conta de processos como regeneração florestal e reflorestamento ou silvicultura (LIRA et al., 2012; WALKER, 2012; Ferreira et al., 2015; SILVA et al.; 2016). Nesse contexto, a regeneração se refere à recuperação de áreas de florestas que podem levar à recomposição das espécies e da estrutura do bioma original devido a processos de sucessão (BROWN e LUGO, 1991; FINEGAN, 1996), e o reflorestamento a plantações de espécies de árvores comerciais (FARINACI et al., 2013) como o eucalipto e o pinus. A recuperação em larga escala de florestas tem sido observada em outras regiões no globo e levou alguns autores a conceber esses processos como parte de um ponto de inflexão na conversão contínua de florestas e a postular a teoria de transição florestal (MATHER, 1992; MATHER; NEEDLE, 1998; RUDEL et al., 2009). Dessa forma, trabalhos como os de Ehlers (2003), Lira et al. (2012), Walker (2012), Ferreira et al. (2015) e Silva et al. (2016) citados acima têm discutido a possibilidade da ocorrência de transição florestal em regiões do Brasil.

Diversas técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo aplicadas em estudos em MUCT para investigar processos relacionados ao desmatamento, regeneração florestal, serviços ecossistêmicos e biodiversidade (ALVES et al., 2003; ESPINDOLA et al., 2012; DE FREITAS et al., 2013; FERREIRA et al, 2015; GROOM et al., 2006; NEWTON et al., 2009; WU, 2013), alguns focando, em particular, na hipótese de transição florestal (FARINACI et al., 2013; FERREIRA et al., 2015; SILVA et al., 2017).

Tendo em vista o exposto acima, este trabalho propõe a investigação da dinâmica da cobertura florestal numa porção da região centro-sul do estado de São Paulo, a qual está inserida nas lógicas da produção de cana-de-açúcar e da silvicultura, partindo da premissa de que dados de sensoriamento remoto vêm contribuindo para o entendimento da dinâmica de uso e cobertura da terra na região centro-sul Paulista, em particular, quando combinados com estatísticas agrícolas.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é analisar a variação espaço-temporal da cobertura florestal e as mudanças de uso e cobertura da terra em larga escala em uma região de importante expansão da cana de açúcar e da silvicultura na porção centro-sul do Estado de São Paulo (cena WRS-2 220/76), por meio de séries temporais dos sensores MSS, TM e OLI dos satélites Landsat 1, 2, 5 e 8, no período de 1995 a 2013 e em dados dos Censos Agropecuários de 1995/96 e 2006. Os objetivos específicos foram:

1. Identificar e quantificar áreas de fisionomia florestal (florestas secundárias/regeneração, florestas plantadas comerciais e remanescentes) e sua distribuição espacial e temporal;
2. Investigar as mudanças de uso e cobertura da terra, principalmente aquelas relacionadas às culturas agrícolas de maior importância da área de estudo.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Estudos de Mudança do Uso e Cobertura da Terra

3.1.1. Conceituando mudança de uso e cobertura da terra

De acordo com Lawrence et al. (2016), a cobertura da terra se refere aos atributos imediatos da superfície e subsuperfície terrestre, incluindo a biota, o solo, a topografia, água de superfície e subterrânea, além das construções humanas. O uso da terra, por outro lado, está relacionado aos propósitos de exploração dos tipos de cobertura da terra. A relação entre uso e cobertura da terra acontece por meio do manejo destas, que constitui os métodos pelos quais os seres humanos cultivam e utilizam os recursos naturais.

Geist e Lambin (2001) apontam que as atividades humanas que interferem no uso e cobertura da terra são reflexos de fatores sociais e econômicos (o crescimento dos mercados, efeitos do processo de urbanização e industrialização), tecnológicos (mecanização do campo, e aumento da produtividade), culturais (valores, crenças, simbolismos), políticos (regimes políticos dos países, se estes exercem políticas formais ou informais, como corrupção e demográficos (pressão do aumento, densidade, ciclo de vida da população, etc).

Os impactos e o caráter multifacetado das mudanças têm motivado inúmeras pesquisas, em diversas áreas, como na produção de alimentos e na biodiversidade global, alterações locais, regionais e globais do clima, degradação do solo e resiliência de ecossistemas, bem como da capacidade destes em prover serviços ambientais (LAMBIN et al., 2001; WALKER, 2004).

De modo geral, existe um conjunto de atores influenciando as mudanças de uso e cobertura da terra no espaço e no tempo, que se intensificam no mundo globalizado (LAMBIN et al., 2001). Exemplos de políticas territoriais promovidas pelos agentes estado/governo podem ser encontrados em diversas regiões do planeta. Na Amazônia, por exemplo,

o governo brasileiro, por meio da Superintendência para o Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) e a criação de incentivos fiscais, impulsionou a migração de pessoas e o desenvolvimento da agropecuária (BECKER, 1974; BROWDER et al., 2008; WALKER et al., 2009; WALKER, 2012; TRITSCH e TOURNEAU, 2016;). Na Rússia pós União Soviética, a transição entre a economia centralizada e a economia de mercado afetou fortemente o setor florestal e agropecuário (SIEBER et al., 2013).

O produtor/proprietário é um exemplo de agente na escala local. Para entender seu papel nas mudanças de uso e cobertura da terra, é preciso compreender que a atividade agropecuária é um dos principais canais pelo qual o produtor usa a terra. As atividades agropecuárias são refletidas nas ações do produtor/proprietário em vistas às demandas de mercado. Matter e Needle (1998) e Walker (2003) apresentam uma ideia geral sobre a relação entre proprietário-terra.

A análise proposta por Matter e Needle (1998) parte da seguinte proposição. Considere-se que a produção de uma cultura em uma dada região aumente e que a renda das famílias produtoras também aumente. Esse aumento da demanda por tal produto poderia incentivar os produtores a aumentar a área plantada, o que, em seguida, geraria grande oferta do produto. Os preços provavelmente cairiam, fazendo com que os produtores procurassem culturas mais rentáveis. Os proprietários, com o tempo, conseguiriam compreender e identificar as áreas dentro de suas fazendas propícias ao desenvolvimento de culturas agrícolas. Como resultado, áreas que não serviriam para a prática agrícola seriam deixadas de lado, criando possibilidades para a floresta regenerar e a transição florestal acontecer (ver detalhes em seção 3.3).

Em suas análises sobre os agentes das mudanças de cobertura da terra na Amazônia, Walker (2003) afirma que as mudanças se iniciam com a chegada da família na região de fronteira. Sem experiência e com pouco capital, a família começa a produzir em um sistema rotativo, alternando entre diversas culturas. Com o tempo, entretanto, a estrutura familiar se

altera, as crianças passam a entrar na força de trabalho e já com experiência no manejo da terra, a família passa a investir em culturas perenes e lucrativas. À medida que a fronteira agrícola se expande, e se seus filhos não se interessarem pela atividade agrícola, a produção tende a diminuir e a terra a ser abandonada.

O conceito de agente de mudança de uso da terra, portanto, envolve uma infinidade de processos e entidades, e variam de acordo com a região. Essas entidades podem ser órgãos governamentais, fazendeiros, madeireiras, planejadores urbanos, etc. (WALKER; SOLECKI, 2003).

3.1.2. Estudos de Mudanças do uso e cobertura em diferentes regiões do globo

Estudos de mudanças de uso e cobertura da terra em diferentes regiões do globo têm usado diferentes fontes de dados, como censos agropecuários e demográficos, entrevistas e dados de sensoriamento remoto. A seguir serão apresentados trabalhos que utilizam uma ou mais das fontes de dados mencionadas.

Hansen e Loveland (2012) fizeram uma revisão das principais metodologias adotadas no tratamento de dados adquiridos com os diferentes sensores abordo da plataforma Landsat para fins de mapeamento de MUCT. Os autores reportam que o método mais comum é a detecção de mudanças usando no mínimo duas imagens adquiridas em datas diferentes. As mudanças são quantificadas por meio da caracterização espectral dos alvos presentes nas imagens e também por comparações visuais. Os exemplos a seguir fazem uso de imagens obtidas com os sensores nas plataformas orbitais do programa Landsat.

Baumann et al. (2012) utilizaram imagens dos sensores Thematic Mapper (TM) e Enhanced Thematic Mapper (ETM+) Landsat para identificar mudanças na cobertura florestal na Rússia temperada. Eles aplicaram o classificador Support Vector Machine (SVM), seguido de procedimentos de pós-classificação. Os resultados encontrados demonstraram que, entre 1985 e 2010, houve um aumento de 4,5% das áreas de florestas.

Metodologia similar para a mesma região russa foi adotada por Sieber et al. (2013), e resultados semelhantes foram encontrados. Entretanto, ambos os estudos não apresentam claramente a questão do erro associado ao mapeamento. Ganhos ou perdas relativamente pequenos podem estar relacionados a erros de classificações ou ruídos, o que pode prejudicar a qualidade do trabalho.

Em um estudo feito para Portugal, Austrália e Suécia, Beilin et al. (2014) avaliaram como o abandono de terra influenciou na biodiversidade das regiões estudadas utilizando entrevistas com moradores locais e mapeamento de MUCT. O estudo foi dividido em três partes: i) caracterização biogeográfica da região; ii) classificação realizada sobre as imagens mais recentes; e iii) análise sobre as principais causas do abandono da terra. Os autores concluíram que fatores como a Segunda Guerra Mundial, a idade dos donos da terra, e as características geomorfológicas do terreno influenciaram no abandono da terra na Suécia e Portugal, diferindo da Austrália, que apresentou pouco abandono de terras. Nas áreas onde houve o aumento das áreas abandonadas a regeneração aumentou, contribuindo para o crescimento e proteção de espécies.

Ainda no continente europeu, Kanianska et al. (2014) analisaram as principais MUCT na Eslováquia em três períodos históricos: i) durante o período monárquico (século XVI – 1918), ii) o período entre guerras (1918-1945) e iii) o pós-guerra (1948 – presente). Para realizar suas análises nos períodos monárquicos e entre guerras, os autores utilizaram mapas históricos feitos pelo Império Austro-Húngaro, pelo exército Checoslovaco e pela Monarquia de Habsburg. Para análises mais recentes (pós-guerra), os autores usaram imagens dos sensores TM, ETM + e SPOT 5 e IRS-P6. As análises apontam que houveram duas mudanças principais: a diminuição das áreas de pradarias de 52,7% em 1782 para apenas 0,7% em 2006 e o aumento das áreas de florestas de 67,7% em 1782 para 83,7% em 2006. O uso de mapas históricos para reconstrução histórico-geográfica dos elementos da paisagem foram ferramentas importantes para identificar as principais MUCT, ainda que a

exatidão relacionada ao mapeamento possa ter problemas relacionados a mudanças de nomes dos elementos da paisagem e posicionamento geodésico.

Hassan et al. (2016) analisaram os principais fatores que influenciaram nas transformações da paisagem, utilizando duas imagens Landsat TM entre 1992 e 2012 e procedimentos de classificação de imagens na cidade de Islamabad, Paquistão. Os autores concluíram que as variáveis que mais influenciaram nos processos de MUCT foram as mudanças climáticas, urbanização e o crescimento populacional. Os autores apontaram que o rápido processo de urbanização associado ao desflorestamento acarretou em diminuição da qualidade de vida dos habitantes.

A China passou, nas últimas décadas, por intensas transformações de ordem econômica, social e estrutural (MORISON, 2015). Essas mudanças certamente refletem na paisagem e nos processos de mudança do uso e cobertura da terra. Para entender essas transformações, o governo chinês tem investido na detecção destas mudanças para melhor administrar o território. Zhang et al. (2014) fizeram mapeamento para os anos de 1980, 1995, 2000, 2005 e 2008 utilizando imagens dos satélites Landsat TM, CBERS e HJ-1A. Mudanças foram observadas em todas as províncias, porém com maior intensidade nas regiões a leste e sudeste do país. As áreas cultiváveis, por exemplo, aumentaram no noroeste e diminuíram no leste chinês.

Na província de Yunnan, sudeste Chinês, Zhang et al. (2014) utilizaram imagens Landsat TM e ETM+ para quantificar as mudanças predominantes na cobertura da terra em quatro municípios fronteiriços, que abrigam dezenas de milhares de indivíduos de grupos étnicos minoritários, entre 1990 e 2010. Os autores encontraram um aumento na área florestal total de 3% ao longo de 20 anos, enquanto houve ligeira diminuição das terras cultivadas (0,1%). No entanto, essas mudanças variaram em períodos específicos: a área florestal diminuiu entre 1990 e

2000 e depois aumentou entre 2000 e 2010. Em contraste, as terras cultivadas aumentaram e depois diminuíram.

Zhu et al. (2016) avaliaram as tendências de verdejamento da vegetação usando índices, como o Enhanced Vegetation Index (EVI) e o Normalized Differences Index (NDVI), na região de Guangzhou, sul da China, entre 2000 e 2014, usando imagens TM, ETM+ e OLI. Esta região passou por intensas transformações, em especial econômicas, e.g., o PIB de U\$\$ 32 bilhões em 1990 para U\$\$1,7 trilhões em 2014. Os autores indicaram que 34% da área de estudo passaram por mudanças, sendo que 71% mudaram mais de uma vez. Áreas de floresta nativa têm diminuído e estão sendo substituídas principalmente por florestas secundárias que não possuem a mesma estrutura florestal. A maioria das mudanças ocorreu entre 2003 e 2004 e entre 2012 e 2013. O crescimento urbano foi excepcional, substituindo áreas de floresta, ao passo que áreas industriais e comerciais cresceram sobre corpos de água.

Nos estudos acima, o uso de dados de imagens de satélite, dados de censo e entrevistas ajudaram na detecção das mudanças de uso e cobertura da terra. É possível constatar também pelas leituras, que mudanças políticas, econômicas e naturais são fatores preponderantes nos processos de mudança do uso e cobertura da terra.

3.1.3. Estudos de Mudança de uso e cobertura da terra no Brasil

No Brasil, os estudos de mudança de uso e cobertura da terra também se apoiam nos dados de sensoriamento remoto, em dados censitários e em narrativas históricas. As políticas territoriais e agrícolas exercem forte influência na dinâmica de uso e cobertura da terra (BECKER, 1974, 2007; MACHADO, 1992).

Machado (1992) apresenta uma análise histórica do processo de expansão da fronteira agrícola no Brasil, com especial atenção para a Amazônia. A fronteira seria um organismo vivo, moldada pelas ações dos proprietários e produtores, assim como das ações do estado que facilitam o acesso à terra e impulsionam fluxos migratórios.

Neste sentido, o Brasil passou por várias frentes de expansão. A primeira delas ocorreu nas regiões próximas ao litoral, principalmente, em áreas do sudeste, com o avanço da cultura do café em fins do século XIX e primeira metade do século XX para atender a demanda internacional. A frente pioneira do café e de agricultura de alimentos, ao escolher as áreas de florestas, parecia confirmar o padrão tradicional de desmatamento (MACHADO, 1992).

Na Amazônia brasileira, a tentativa de integração à economia nacional iniciada pelo governo nos anos 60, associada ao atendimento à demanda internacional por produtos agrícolas, provocou intenso desmatamento na região (MACHADO, 1992; ALVES et al., 2009; PRODES, 2017). Entre os anos 70 e 80, a criação de gado e o aumento do número de pastagens foram os responsáveis por grande parte do desmatamento, enquanto que nos anos 90 o cultivo da soja passou a ser um fator preponderante nas taxas de desmatamento (MARGULIS, 2004; TRITSCH; TOURNEAU, 2016). Atualmente, a expansão de pastagens e o avanço de monoculturas como a soja contribuem para derrubada da floresta (ALVES, 2002; MORTON et al., 2006; WALKER et al., 2009; ALVES, 2010).

Espindola et al. (2012) utilizaram dados de censo e sensoriamento remoto para toda a região amazônica entre 1997 e 2007, a fim de identificar os processos resultantes em mudança do uso e cobertura da terra. Eles analisaram regiões do Mato Grosso, Pará e Rondônia. Imagens Landsat/TM foram empregadas para as classificações e análises de regressão foram feitas para identificar as principais variáveis que influenciaram nos processos de MUCT. Os autores apontaram que a distância em relação à estrada e o número de famílias assentadas entre 1997 e 2007 foram fatores determinantes nos processos de MUCT. Resultados similares em relação à proximidade com rodovias foram encontrados em Alves (2002). O autor aponta que 90% do desmatamento entre 1991 e 1997 ocorreu em um raio de distância de 100 km em relação às estradas.

No cerrado brasileiro, um estudo feito pela empresa Agrosatélite Geotecnologia Aplicada (2015), utilizou cerca de 800 imagens LANDSAT e MODIS por ano-safra para as safras de 2000/01, 2006/07 e 2013/14; para identificar e mapear soja, milho, algodão e as MUCT's causadas pela expansão ou diminuição da área cultivada com estas culturas. O estudo revelou que entre 2000 e 2014 mais de 5.6 milhões de hectares de pastagem foram convertidos em soja, e que o rebanho de gado aumentou 15%, indicando intensificação da pecuária em diferentes regiões do cerrado. Ademais, o bioma possui cerca de 50.5% ou 101.3 milhões de hectares de vegetação nativa, dos quais 15.5 milhões possuem alta aptidão agrícola para a produção de soja.

No estado de São Paulo, estudos sobre mudança do uso e cobertura da terra vêm sendo realizados sobre as transformações causadas pela produção de etanol e consequente alteração da paisagem. Alguns desses estudos tratam inclusive da possibilidade de regeneração florestal. A fundação SOS Mata Atlântica e o INPE, por exemplo, vêm realizando o mapeamento dos remanescentes da floresta atlântica desde 1990, utilizando imagens LANDSAT. Entre 1985 e 2016, o bioma perdeu 19166.71 km² de área.

Rudorff et al. (2010), investigaram a expansão da produção de açúcar no estado de São Paulo usando imagens TM/Landsat. O objetivo do trabalho era mapear a área e identificar os tipos de uso da terra anteriores à expansão da colheita de 2008-2009. Os resultados apresentados demonstraram que 56,5% da expansão de cana-de-açúcar ocorreu sobre áreas de pastagem e 40,2% sobre áreas de uso agrícola.

A produção desta cultura aumentou significativamente a partir do ano de 2003, quando a frota de veículos adaptados para o uso de etanol foi anunciada pela indústria automobilística. No estado de São Paulo, por exemplo, a área colhida aumentou de 2.258 milhões de hectares para 5.4 milhões, um aumento de 139% (UNICA, 2017). As plantações avançaram inclusive sobre regiões tradicionalmente dedicadas à pecuária, como em Araçatuba e Presidente Prudente (Rudorff et al., 2010).

Adami et al. (2012) buscaram observar os impactos diretos na mudança do uso e cobertura da terra provocado pela expansão da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, utilizando séries multi-temporais de imagens do sensor MODIS entre 2000 e 2009. Foram identificados três períodos de mudanças: o primeiro referente ao ano de 2000 - 2005, quando 1,3% da expansão de cana-de-açúcar ocorreram sobre áreas de citrus. O segundo aconteceu entre a colheita de 2005 e a de 2007, quando a maior parte das plantações de cana-de-açúcar eram pastagem ou culturas anuais, 69,7% e 25%, respectivamente. No terceiro período, entre as colheitas de 2006-2007 e 2008-2009, ocorreu um aumento de 51% da cana-de-açúcar sobre áreas de pastagem e 48% sobre áreas de cultivos anuais.

Esse trabalho também discutiu sobre o impacto da expansão da cultura de cana-de-açúcar sobre a atividade agropecuária e nas taxas de desflorestamento. Eles apontam que o aumento da produtividade na pecuária teoricamente deixaria terras livres para a expansão da cana-de-açúcar, e o desflorestamento não seria mais necessário.

Camara e Caldarelli (2016) discutem a expansão da cana-de-açúcar entre 1995 e 2013, também no estado de São Paulo, analisando dados da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM-IBGE) e dados do Instituto de Economia Agrícola de São Paulo (IEA/SP). Os autores concluíram que o aumento do cultivo desta cultura entre 1995 e 2013, apesar de gerar empregos, afetou tanto a área de pastagem, quanto a de lavouras temporárias e permanentes. Os autores ainda recomendaram observar como essas mudanças interferem na produção de comunidades locais (agricultura familiar), ponderando a influência da expansão sobre o preço da terra, concentração fundiária e preço dos alimentos.

Ferreira et. al. (2015) investigaram a dinâmica florestal em função de mudanças na agricultura na região de Presidente Prudente entre 1986 e 2009. Os autores combinaram dados de censo e imagens do sensor Landsat/TM e encontraram 4,5% de regeneração florestal. A expansão de cana-de-açúcar em larga escala sobre áreas de pastagem provocou mudanças de uso da terra, como a diminuição da produção de leite, do

número de cabeças de gado e também queda na área total de florestas plantadas.

Freitas et al. (2012) analisaram os processos de mudança do uso e cobertura da terra na alta bacia do Rio Uruguai entre 2002 e 2008 usando imagens Landsat/TM e variáveis socioeconômicas. Os resultados desse trabalho mostraram que, em 2002, a área era coberta por 40,08% de florestas e 25,54% de pastagens naturais, porém em 2008 esses percentuais caíram para 28,75% e 19,34%, respectivamente.

Os estudos acima citados auxiliam no entendimento dos processos de MUCT no Brasil. As mudanças estão associadas aos interesses da pauta econômica, que visam atender às demandas do mercado interno e externo. A relação entre fatores econômicos, ligados à ação do produtor em escala local é sintetizada na modificação do uso e cobertura da terra.

3.2. O Bioma Mata Atlântica

O bioma Mata Atlântica é composto por um conjunto de formações florestais: Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Mista, também denominada de Mata de Araucárias; Floresta Ombrófila Aberta; Floresta Estacional Semi-decidual; Floresta Estacional Decidual; campos de altitude; áreas das formações pioneiras, conhecidas como manguezais, restingas, campos salinos e áreas aluviais; refúgios vegetacionais; áreas de tensão ecológica; brejos interioranos e enclaves florestais, representados por disjunções de Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semi-decidual e Floresta Estacional Decidual; áreas de estepe, savana e savana-estépica; e vegetação nativa das ilhas costeiras e oceânicas (BRASIL, 2006; VAZ et al., 2012; MMA, 2017).

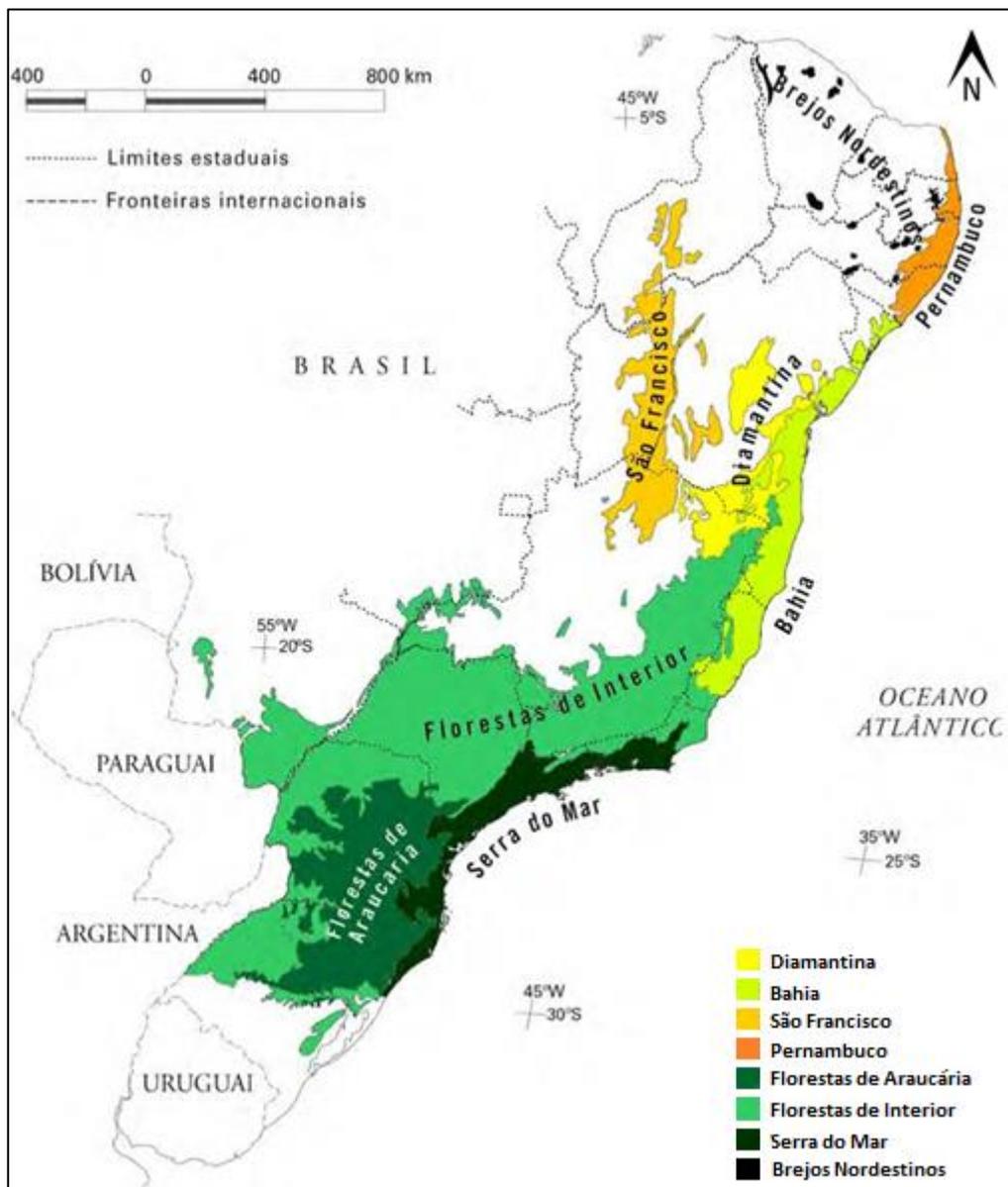
Segundo a Fundação SOS Mata Atlântica, o bioma cobria originalmente mais de 1,3 milhões de quilômetros quadrados, distribuídos pela faixa litorânea de norte a sul do país e pelo interior de alguns estados, como São Paulo, Paraná, Bahia, Minas Gerais (SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2015; SILVA; CASTELLI, 2005). Atualmente, apenas 7% encontram-se

preservados em fragmentos acima de 100 ha (MMA, 2017). Esse valor varia conforme a metodologia adotada no mapeamento. A fundação SOS Mata Atlântica e INPE, por exemplo, estimam que existam 8,5% do total original em fragmentos com mais de 100 ha.

Apresentando grande biodiversidade, a Mata Atlântica é considerada um *hotspot* que precisa ser preservado (MYERS et al., 2000). Mesmo com menos de 10% da área original, o número de espécies de plantas e animais é considerado grande e estimado em 15700 espécies de plantas, das quais 8000 são endêmicas, 2208 espécies de vertebrados identificados, 298 espécies de mamíferos conhecidos, 992 espécies de aves, 370 de anfíbios, 200 de répteis, e 350 de peixes (SOS Mata Atlântica e INPE, 2015).

A Figura 3.1 apresenta as subdivisões fitofisionômicas do bioma Mata Atlântica propostas por Silva e Castelli (2005). As florestas de interior são caracterizadas por serem semi-decíduas, apresentarem campos rupestres e áreas de transição. Na região da Serra do Mar predomina a floresta ombrófila densa. No sul, a floresta ombrófila mista, composta pela floresta de Araucárias. As regiões da Bahia, Pernambuco, e brejos nordestinos são compostos principalmente por campos abertos, e florestas ombrófilas densas, abertas e semi-decíduas.

Figura 3.1: Mapa das principais fitofisionomias do Bioma da Mata Atlântica.



Fonte: Adaptado de Ferreira (2005).

A ocupação do bioma da Mata Atlântica está atrelada à colonização das áreas litorâneas e aos ciclos econômicos desenvolvidos ao longo da história nacional desde o tempo da Colônia. A exploração do pau-brasil e o avanço das bandeiras em direção ao interior do país provocaram a ocupação e conseqüente desmatamento. O ciclo da cana-de-açúcar no nordeste contribuiu para a devastação deste bioma localmente, ao passo que em Minas Gerais foi a mineração e em São Paulo e Rio de Janeiro, o

avanço das regiões cafeeiras provocaram perdas consideráveis da área original (MACHADO, 1992; SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2015).

Machado (1992) afirma que as zonas pioneiras do século XIX, em especial as áreas de expansão das “marchas pioneiras” correspondiam ao deslocamento espacial das fronteiras de café e foram responsáveis pela ocupação das áreas de floresta tropicais na região do bioma da Mata Atlântica, especialmente as regiões do Vale do Paraíba, Campinas, São Carlos, Ribeirão Preto e Botucatu, onde predominou a monocultura cafeeira. Nas zonas pioneiras da primeira metade do século XX, no oeste de São Paulo, norte do Paraná, oeste de Santa Catarina e norte do Rio Doce predominava a monocultura do café em consórcio com a produção de alimentos básicos, além da policultura desenvolvida em pequenas e médias propriedades.

Atualmente, a região do bioma é ocupada por cerca de 145 milhões de brasileiros, e produz cerca de 70% do PIB Brasileiro (MMA, 2017). Esses fatores exercem pressões sobre o bioma, tais como, poluição, expansão urbana desordenada, avanço da agropecuária e agricultura (SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2015). Portanto, estudos sobre a dinâmica da paisagem nestas regiões são importantes, pois oferecem aporte teórico e técnico para o monitoramento das áreas remanescentes.

3.3. Teoria de Transição Florestal

O termo “transição florestal” está relacionado ao aumento das áreas de floresta. Matter (1992) aponta que as tendências no crescimento da população e no consumo de recursos naturais são provavelmente os fatores que mais influenciam na transição florestal. O desmatamento das florestas para agricultura tem sido, historicamente, a causa mais usual para a diminuição das áreas de florestas. O crescimento da população tem sido associado com a expansão da área agrícola cultivada. Quando as taxas de crescimento da população desaceleram e revoluções técnicas na agricultura acontecem, a produtividade aumenta e a pressão para o aumento de áreas agrícolas diminui. Consequentemente, áreas que antes

seriam destinadas à agricultura podem ceder espaço para o processo de regeneração (MATTER; NEEDLE, 1998).

Para compreender o processo de transição florestal, é necessário entender a relação entre o desenvolvimento econômico e a degradação ambiental. Em um primeiro estágio, a degradação ambiental aumenta à medida que ocorre o desenvolvimento econômico de um país e em seguida diminui com o aumento da renda dos habitantes daquele país ou região. Apesar de não existir um valor exato que determine o momento em que ocorra a transição entre degradação dos serviços ambientais e restauração dos mesmos, Chowdhury e Moran (2012) sugerem o valor aproximado em termos de Produto Interno Bruto (PIB) per capita de U\$\$ 8.000. Entretanto, esse valor varia conforme a região geográfica, por exemplo, alguns países da África e América Latina passaram a registrar ganhos ambientais com rendas de U\$\$ 4.760 e U\$\$ 5.420, respectivamente. A partir do momento em que a população passa a ter acesso a serviços de qualidade, por exemplo, educação e cultura, a conscientização sobre os problemas ambientais teoricamente aumenta, o que se refletiria na criação de políticas que preservam a natureza.

Além disso, a teoria assume que o desenvolvimento econômico e industrial pode provocar mudanças estruturais profundas em alguns países, a ponto destes mudarem a pauta de exportações de mercadorias. A mudança de uma matriz exportadora para uma de importação apenas externa os custos ambientais. Conseqüentemente, em países que externalizaram seus custos ambientais, o processo de transição florestal pode acontecer.

Rudel et al. (2005) apresentam duas razões principais para a ocorrência de transição florestal: a primeira, a via do desenvolvimento econômico, ocorre em regiões ou países onde a oferta de trabalho em centros urbanos é mais atraente que os trabalhos do campo, levando à migração rural-urbano e abandono das terras. A segunda vertente, denominada 'escassez de produtos florestais', está associada ao desmatamento acelerado que irá provocar a perda de áreas de floresta. Se a região

possuir dificuldade em importar produtos da indústria madeireira, será obrigada a investir em silvicultura.

Lambin e Meyfroidt (2010) também abordam as duas vias pontadas por Rudel et al. (2005) e apresentam outras vias para a transição florestal. A primeira delas é denominada 'Política de Florestas Nacionais', relacionada ao conjunto de leis e ações que um país adota em relação às áreas de floresta. Nesta via, a cobertura florestal aumenta a partir do momento que o país investe na criação de parques estaduais para turismo, na criação de uma imagem de país ecológico e na integração de pequenas comunidades que dependem dos recursos da floresta.

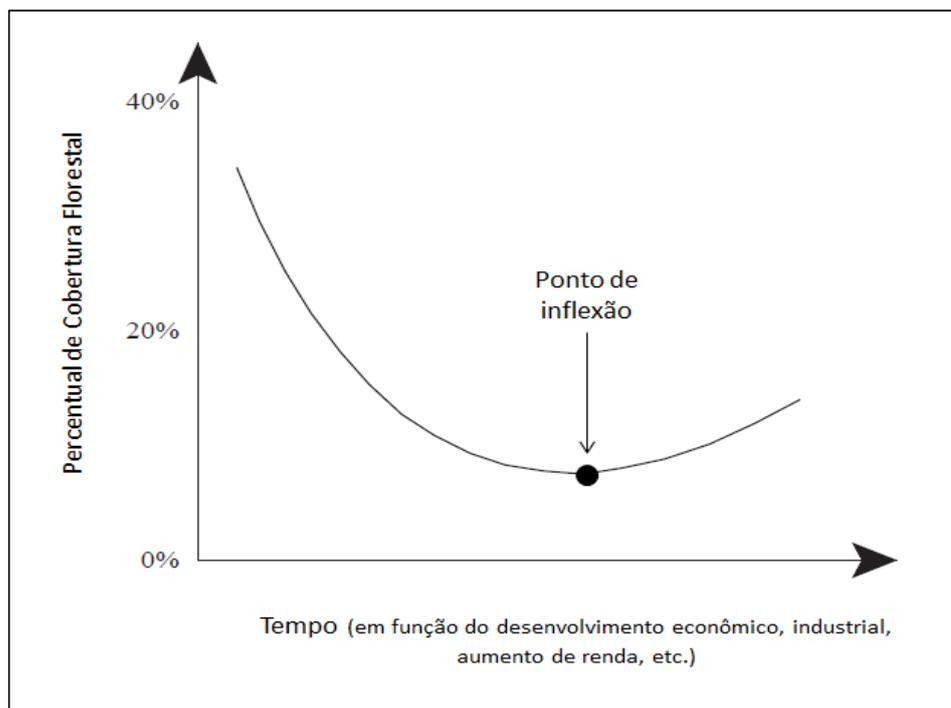
A segunda via é denominada 'Globalização', e está relacionada a quatro fatores principais: a migração de indivíduos para procurar trabalho em outras regiões/países; a adoção de políticas neoliberais; a crescente conscientização das pessoas em relação aos problemas ambientais e o crescimento do turismo. Os diferentes movimentos migratórios estão se tornando mais complexos e abrangem fluxos em diferentes escalas, por exemplo, entre cidades vizinhas e até entre países. As regiões rurais exportam cada vez mais produtos florestais e agrícolas para mercados globalizados e oferecem serviços ambientais relacionados a estética da paisagem para um número crescente de turistas estrangeiros que têm um ideal romantizado sobre como uma paisagem natural deve ser. Como resultado dos investimentos privados, privatização e expansão do turismo global, o ativismo em relação a conservação florestal em propriedades privadas ganha espaço.

O terceiro caminho é denominado 'Intensificação do uso da terra em pequenas propriedades através da criação de florestas'. Em regiões dominadas pela agricultura familiar, um aumento significativo da cobertura arbórea pode estar associado à expansão pomares de frutas, reserva florestal, sistemas agroflorestais, jardins, sebes e sucessões secundárias em pastagens abandonadas ou pousios que às vezes são enriquecidos com espécies valiosas. Próximo a essas áreas, a formação de florestas marginais tende a se desenvolver, interligando florestas plantadas e

naturais. O objetivo dos proprietários em investir nesse modelo seria se tornar menos vulneráveis aos choques econômicos e ambientais e garantir a autossuficiência da propriedade.

Farinacci e Batistella (2012) discutem a transição florestal à luz dos conceitos propostos no trabalho de Rudel et al. (2005). De acordo com os autores, a partir do momento que a industrialização e urbanização se intensificam, “mudanças nas forças sociais e econômicas estimulam o abandono de terras com baixa aptidão agrícola”. Algumas áreas são convertidas em florestas por meio de processos naturais de regeneração ou plantio. Conseqüentemente, a região atinge o ponto de inflexão (RUDEL et al. 2005), quando os ganhos provenientes do aumento da área de florestas secundárias passam a ser maiores que o desflorestamento, Figura 3.2.

Figura 3.2: Curva de variação da cobertura florestal mostrando ponto de inflexão na curva de desmatamento, quando uma região passa a registrar aumento na cobertura florestal.



Fonte: Adaptado de Rudel et al. (2005).

No Brasil, Walker et al. (2012) discutem a relação entre o desmatamento na Amazônia e a possibilidade de regeneração florestal na Mata Atlântica. Os fatores que influenciaram essa dualidade seriam o comércio

internacional e as relações espaciais existentes entre essas duas regiões. Geralmente, regiões muito urbanizadas e industrializadas consomem os recursos naturais e mercadorias produzidas nas áreas do entorno.

Neste sentido, as regiões do leste do país (área de ocorrência da Mata Atlântica), mais industrializadas e urbanizadas consumiriam as mercadorias produzidas pelo oeste brasileiro, região da fronteira agrícola e área de ocorrência da floresta Amazônica. Essa relação permitiria então a regeneração florestal da mata atlântica. De fato, alguns estudos feitos no estado de São Paulo apontam para uma modesta regeneração florestal, como em Ferreira et al. (2015) e Silva et al. (2016).

Apesar de ser uma discussão bem estabelecida, a Teoria de Transição Florestal apresenta limitações, conforme apontado por Perz (2007). Uma das principais críticas apontadas pelo autor está relacionada ao fato de que estas teorias foram desenvolvidas com base em dados de países desenvolvidos e economicamente fortes (América do Norte e Europa, principalmente), que apresentam uma realidade distinta da dos demais países do globo. Neste sentido, a transição pode ocorrer sobre inúmeras circunstâncias e também em países subdesenvolvidos como os da América do Sul e Oceania, por exemplo, evidenciando a complexidade do fenômeno e sobre quantas diferentes situações ele pode ocorrer.

3.4. Regeneração Florestal

As florestas tropicais, através de milhões de anos de evolução, desenvolveram mecanismos próprios de regeneração. O processo de regeneração florestal resulta da combinação de diversos fatores, como a existência de um banco de sementes pré-existente, a propagação de sementes de fragmentos vizinhos e de plântulas e espécies de pequeno porte, que ao receberem luminosidade e quantidade adequada de chuva, começam a se desenvolver (MARTINS; ENGEL, 2007; MARTINS, 2014).

O bioma Mata Atlântica, explorado ao longo da história de ocupação nacional, apresenta grande fragmentação, e, portanto, a regeneração acontece em regiões que foram abandonadas e em clareiras, áreas com

pouca cobertura vegetal localizada dentro de uma floresta ou bosque, originadas pela queda de uma ou mais árvores do dossel (HARTSHORN, 1978). Nessas áreas, a regeneração depende do auxílio da precipitação, do banco de sementes e da dispersão de sementes de áreas vizinhas (REIS et al., 2006).

Para que a regeneração natural ocorra, é necessário que o processo de sucessão se inicie, o qual é caracterizado pela sequência de comunidades vegetais, animais e micro-organismos que sucessivamente vão ocupando a área (MARTINS, 2014). Geralmente o processo consiste da ocupação do solo da região por musgos, líquens e plantas rasteiras que colonizam o lugar. Com o auxílio da precipitação e luminosidade, as espécies existentes no banco de sementes começam a se desenvolver.

Quando estas plantas se desenvolvem o suficiente a ponto de constituir dossel com espécies emergentes, área basal e biomassa similar à floresta original, diz-se que o processo de regeneração ou sucessão atingiu clímax (FINEGAN, 1992; MARTINS, 2014).

Entretanto, determinar o grau de sucessão ou estágio de regeneração de uma floresta secundária é uma tarefa complicada, uma vez que a velocidade da regeneração varia conforme clima, relevo, banco de sementes, e espécies dentro de um mesmo bioma (BROWN; LUGO, 1990).

As florestas secundárias, resultantes de processos de regeneração, possuem grande importância, pois proveem serviços ambientais fundamentais ao meio ambiente, tais como reciclagem do carbono, prevenção de erosão, equilíbrio do clima, qualidade da água, conservação do material genético, nutrientes e propriedades bioquímicas do solo, abrigo para espécies, entre outros. (BROWN; LUGO, 1990; MARTINS, 2014). Desta forma é imprescindível a proteção das mesmas para a conservação da biodiversidade local, considerando o atual estágio de degradação do bioma.

3.5. Sensoriamento Remoto como ferramenta de detecção de mudanças de uso e cobertura da terra

Os dados de sensoriamento remoto se baseiam no princípio da interação da radiação eletromagnética com os objetos da superfície terrestre, e destes com os sistemas sensores em plataformas orbitais, aéreas ou terrestres (JENSEN, 2009; NOVO, 2010). Essa interação é registrada em imagens em níveis de cinza, que podem ser transformadas em imagens de reflectância. O tamanho da faixa imageada da superfície terrestre varia conforme cada sensor e plataforma, assim como o objetivo para o qual foram construídos. A imagem serve, então, como base para extração de informações qualitativas e quantitativas sobre o objeto de estudo (agricultura, mudança de uso e cobertura da terra, ambientes aquáticos, etc.).

O processo de detecção de mudanças de uso e cobertura da terra por imagens de satélite requer alguns cuidados, como as correções geométricas, atmosféricas e radiométricas. Correções geométricas servem para garantir que erros de deslocamento não ocorram, pois estes podem prejudicar as análises de séries multitemporais. No tocante às correções atmosféricas e radiométricas, estas procuram transformar o dado em formato digital para valores físicos de radiância e reflectância de superfície (JENSEN, 2009; NOVO, 2010; FERREIRA, 2012).

3.5.1. Sensores e Plataformas orbitais

Vários sensores em diferentes plataformas orbitais foram desenvolvidos para diversas aplicações: monitoramento de culturas agrícolas, tempo, desmatamento, etc. Para o escopo deste estudo, a plataforma orbital de interesse é a Landsat, em específico o sensor *Thematic Mapper* (TM) a bordo do satélite Landsat 5, lançado em 1984, e o sensor *Operational Land Imager* (OLI), lançado em 2013; ambos administrados pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Os dados do sensor Landsat são importantes pois estão disponíveis gratuitamente e em reflectância de superfície (portanto corrigidos atmosféricamente) desde 1973, fornecendo uma boa série temporal para estudos de Sensoriamento

Remoto. Na Tabela 3.1, estão resumidas as principais características destes sensores.

Tabela 3.1: Características dos Sensores Landsat.

	Bandas	λ (μm)	Resolução Espacial (m)
Landsat 8 Sensor OLI	Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
	Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
	Banda 4 - Vermelho	0.64 - 0.67	30
	Banda 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Banda 6 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.57 - 1.65	30
Landsat 4-5 Sensor TM	Banda 1 - Azul	0.45-0.52	30
	Banda 2 - Verde	0.52-0.60	30
	Banda 3 - Vermelho	0.63-0.69	30
	Banda 4 - Near Infrared (NIR)	0.76-0.90	30
	Banda 5 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.55-1.75	30

Fonte: Adaptado de USGS (2017).

3.5.2. Sensoriamento Remoto da Vegetação

Vários estudos utilizam a resposta espectral da vegetação para compreender processos fisiológicas (p.e. fluxo de evapotranspiração, teor de umidade) e as características das plantas (p.e. biomassa, produtividade primária, etc.) (TREITZ; HOWARTH, 1999). Entre as diversas técnicas empregadas na detecção de mudanças encontram-se o Modelo Linear de Mistura Espectral e os Índices de vegetação, como o NDVI.

O Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) considera que a radiância detectada pelo sensor corresponde à integração linear de todos os alvos contidos no elemento de cena (SHIMABUKURO e SMITH, 1991), cujo valor digital possuirá informações sobre a proporção dos elementos desta mistura, conforme Equação 1 (por exemplo, solo, vegetação e sombra),

sendo que a resposta espectral desses alvos será influenciada pela resolução espacial de cada sensor.

$$R_i = \sum_{j=1}^n (R_{ij} f_j) + e_i \quad (1)$$

Onde R_i é a reflectância de pixel na banda i ; R_{ij} é a reflectância de um membro final j na faixa i ; f_j é a fração ocupada pelo *endmember* j dentro do pixel e e_i é o erro associado à banda i . Um exemplo da aplicação dessa técnica para detectar mudanças na vegetação foi feito por Silva et al. (2017).

Os autores utilizaram imagens TM de 2001 e 2004 para a região da Flona Tapajós, na Amazônia, com o objetivo de identificar pequenas variações na vegetação provocadas por corte seletivo. Após o processamento das frações pelo MLME, os autores usaram as frações de vegetação como dados de entrada para o cálculo de outro índice, chamado Green Vegetation Index (LU et al., 2014), que é sensível aos distúrbios ocorridos na vegetação. Os resultados obtidos demonstram que a técnica utilizada foi eficiente na detecção das pequenas mudanças, tendo os autores achado cerca de 5.28 km² de ganho em biomassa.

O Índice da Diferença Normalizada (NDVI) é um entre muitos índices que exploram as propriedades espectrais da vegetação nas regiões do vermelho (ρ_v) e infravermelho (ρ_{iv}), conforme equação 2:

$$NDVI = \frac{(\rho_{iv} - \rho_v)}{(\rho_{iv} + \rho_v)} \dots \quad (2)$$

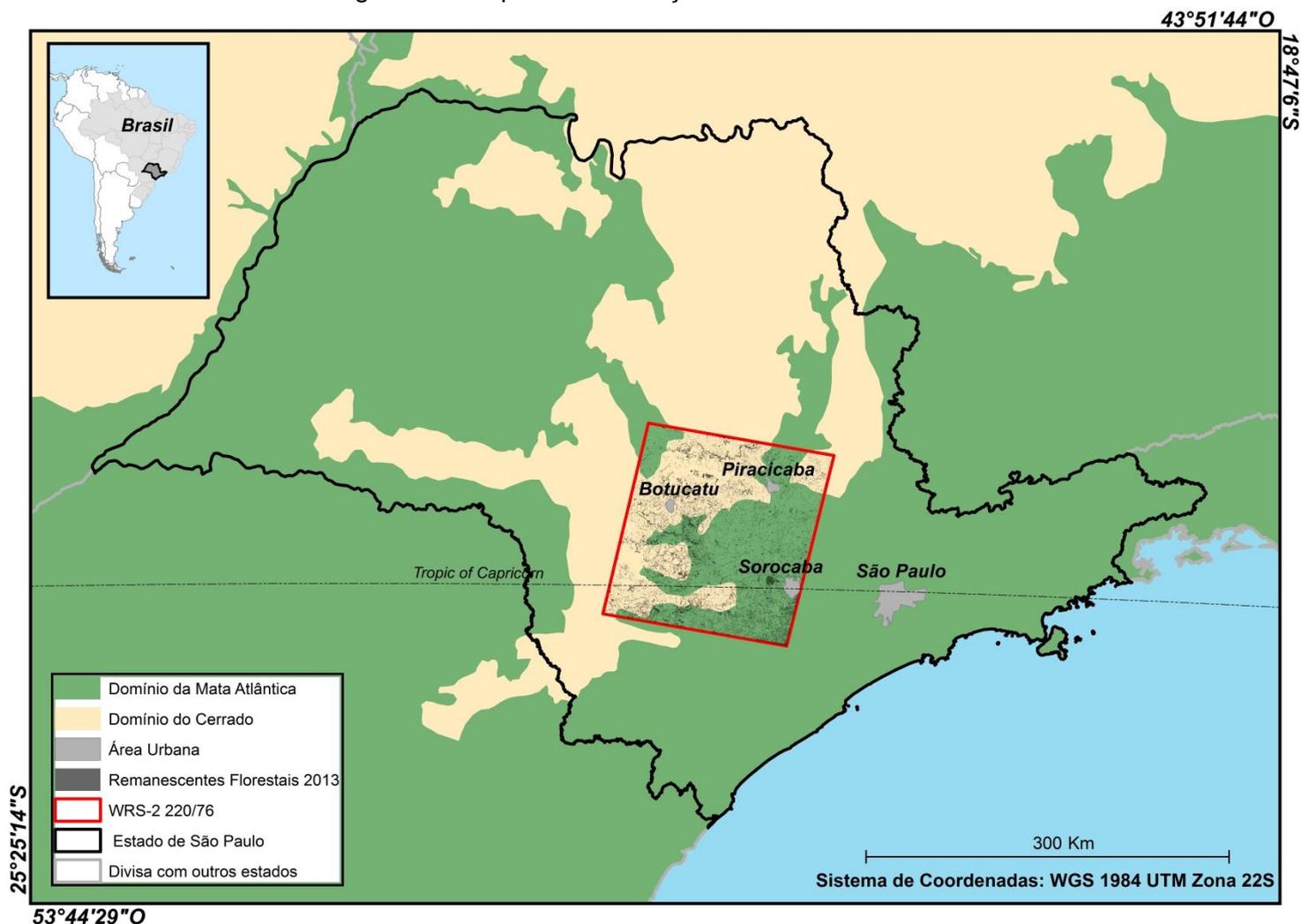
O índice foi proposto por Rouse (1973) e possui a vantagem de realçar o contraste entre solo e vegetação e minimizar os efeitos das condições de iluminação da cena. A principal limitação do índice é a rápida saturação, ou seja, a partir de um certo patamar o índice não consegue capturar a quantidade de biomassa armazenada na vegetação (MOREIRA, 2000).

4 METODOLOGIA

4.1. Área de estudo

A área de estudo (Figura 4.1) é definida pela área comum das imagens da cena Landsat WRS-2 220/76 utilizadas no período de estudo (Tabela 4.1) e incluiu 82 municípios da porção centro-sul do estado de São Paulo , com 25.286 Km². A história da ocupação Portuguesa da área começou com expedições de bandeirantes que viajavam para o interior do país buscando metais preciosos e escravos indígenas. No século XVI, o minério de ferro foi descoberto na região, e foram criadas as primeiras vilas (LANA, 2016). No século XVII, muitas vilas como Porto Feliz e Tietê foram fundadas com suas economias ligadas às expedições. A partir da segunda metade do século XVIII, o comércio de mulas adquiriu grande importância especialmente na cidade de Sorocaba (BENEVIDES, 2013). Esses animais foram utilizados na exploração de metais preciosos em Minas Gerais e em plantações de café no interior de São Paulo durante todo o século XIX e o início do século XX (KLEIN, 1989). A construção de ferrovias entre o final do século XIX e início do século XX impulsionou a industrialização da região e a diversificação da produção agrícola. Atualmente, existem cerca de 3,8 milhões de pessoas vivendo nesta região, que possui um PIB anual de aproximadamente US \$ 25,7 bilhões (IBGE, 2003, 2007, 2010, 2014).

Figura 4.1: Mapa de Localização da área de estudo.



Quanto às características geomorfológicas, a parte central da área de estudo está localizada na unidade morfoestrutural da Depressão Periférica Paulista, caracterizada por encostas entre 10% e 20% com relevo suave a ondulado, com topos de colinas amplas e altitudes variando entre 500 e 650 m. A região norte está nos domínios dos platôs residuais e cuestras com altitudes variando entre 600 e 900 m (ROSS; MOROZ, 2011), enquanto que a parte sul da cena faz parte do Planalto Atlântico (DE OLIVEIRA SOUZA; ARRUDA, 2015), com terrenos que abrangem os complexos cristalinos de Sorocaba e São Francisco, bem como os metassedimentos do Grupo São Roque. As características de relevo da região apresentam, portanto, setores íngremes que alcançam facilmente os 900 metros de altitude, ocupados por campos com

afloramentos de granito e anfiteatros com mata atlântica (SOUZA; ARRUDA, 2017).

De acordo com a classificação climática de Monteiro (MONTEIRO, 1973), a área é marcada por sistemas atmosféricos de transição, com a porção norte sendo controlada por massas de ar equatoriais e tropicais e a porção sul controlada por massas de ar polar e tropical (TAVARES, 1997). No inverno, muitas vezes ocorre a entrada de altas pressões, que trazem ar polar e causam queda acentuada nas temperaturas. A temperatura mínima média durante os meses de inverno de junho, julho e agosto é de 11 ° C, com uma temperatura média máxima atingindo 24 ° C. Durante os meses de verão de dezembro, janeiro e fevereiro, as temperaturas variam entre 19 ° C de mínima a 30 ° C de máximo (SILVA; SILVA, 2012, 2016), e a precipitação anual atinge 1300 mm (CEPAGRI-UNICAMP, 2017).

Em relação ao tipo predominante de vegetação, destacam-se as florestas interiores, uma subdivisão do bioma da Mata Atlântica, caracterizada como uma zona de transição entre a Mata Atlântica e as savanas brasileiras, também conhecidas como Cerrado (SILVA; CASTELLI, 2005). A Floresta de Interior se caracteriza por formações semi-decíduas sazonais com cobertura densa de árvores, da qual 20% a 50% das árvores perdem as folhas na estação seca (VELOSO et al., 1991). A vegetação ribeirinha, também conhecida como florestas de galeria, está fisicamente presente na paisagem que ocupa áreas ao redor de rios ou cachoeiras. Este tipo de vegetação é perene, ou seja, não mostra queda de folhas na estação seca e geralmente é cercada por vegetação não florestal (por exemplo, pastagem). O Cerrado na área de estudo é caracterizado por formações neotropicais lenhosas em que a cobertura arbórea varia entre 50 a 90% (SANTOS, 2010).

4.2. Materiais

4.2.1. Série Temporal

Para ambos os períodos de análise, ou seja, 1995-2005 e 2006-2013, a partir daqui definidos como período I e II, cenas Landsat foram obtidas da plataforma Global Visualization Viewer (GloVis) (<https://glovis.usgs.gov/>) (Tabela 1). Todas as imagens estavam disponíveis em reflectância de superfície, corrigidas para efeitos atmosféricos (USGS, 2017) e registradas no Universal Transverse Mercator (UTM) Datum WGS-84.

Tabela 4.1: Imagens utilizadas no processamento.

Sensor	Quantidade	Data
Usadas no processamento de Imagens		
TM	3	02/05/1995
		04/04/2005
		14/04/2006
OLI	1	06/06/2013
Usadas para validação e subsídio para identificação de mudanças de cobertura florestal e uso da terra		
MSS	2	05/09/1973
		16/07/1981
TM	14	24/08/1996
		11/08/1997
		07/03/1998
		02/09/1999
		29/04/2000
		25/10/2001
		24/07/2002
		15/10/2003
		30/08/2004
		20/06/2007
		10/09/2008
		24/05/2009
		04/02/2010
		03/07/2011
OLI	1	03/09/2017

4.2.2. Dados de Censo

Os dados dos censos agrícolas de 1995-1996 e 2006 e dos censos demográficos de 2000 e 2010 foram obtidos na base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) disponível em <http://www2.sidra.ibge.gov.br/>. Os dados do recenseamento referem-se a informações coletadas sobre as seguintes variáveis: produção de cana-de-açúcar, pastagens, população urbana e rural, renda, área plantada de laranja, limão, lima e tangerina, produção de leite e de produtos florestais, como mudas de eucalipto e destino de madeira. A comparação entre os censos considerou todos os municípios reportados nos censos, que estavam dentro de nossa área de estudo (IBGE, 1995, 2000, 2010).

4.2.3. Máscara SOS Mata Atlântica

O mapa dos remanescentes da Mata Atlântica vem sendo elaborado desde 1990 através de uma parceria entre SOS Mata Atlântica e INPE, combinando técnicas de interpretação visual de imagens de satélite, que resultaram na produção de uma coleção de mapas digitais (SOS MATA ATLÂNTICA, 2005, 2015). Os mapas da SOS Mata Atlântica / INPE não incluem a classe regeneração florestal. Utilizamos o mapa dos remanescentes da floresta atlântica de 2005 e 2013 para comparar com nosso mapa de remanescentes. Os mapas estão disponíveis on-line em <http://mapas.sosma.org.br/>.

4.2.4. Dados Auxiliares

A rede de drenagem foi obtida no banco de dados de Coordenação do Planejamento Ambiental (CPA) do Estado de São Paulo disponível on-line em <http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/cessao-de-dados/>, e foi usada para calcular a distância de fragmentos ao rio mais próximo. O mapa da rede de drenagem foi elaborado pela Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais (FUNCATE), com base na delimitação de redes de

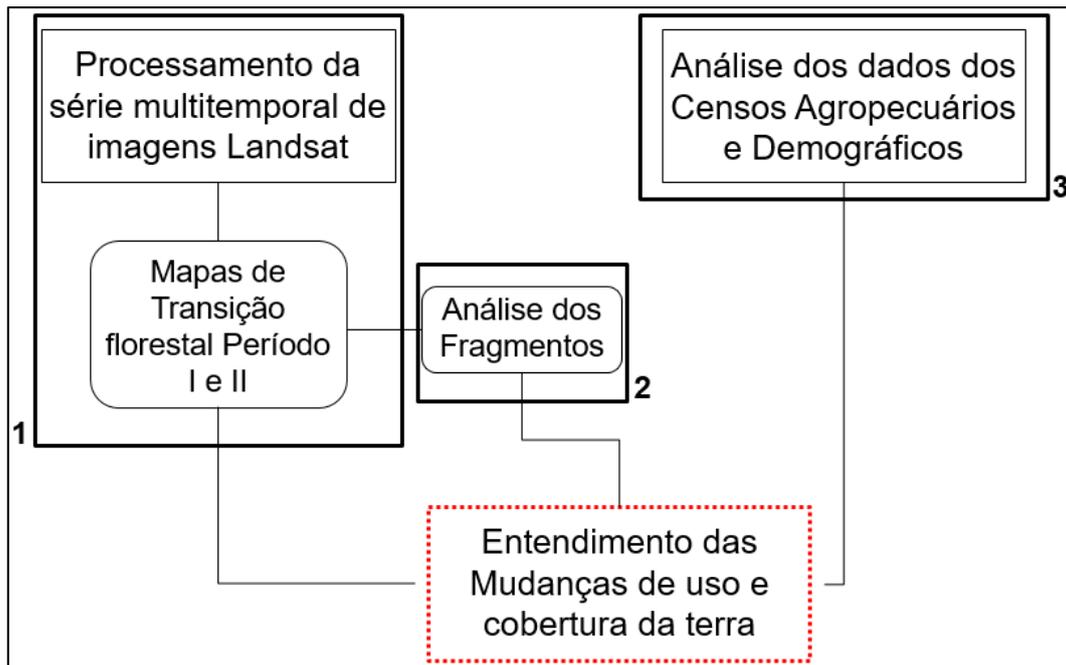
drenagem pelo modelo de elevação digital (MDE) em uma escala de 1: 50,000. A empresa considerou as redes de drenagem como "um conjunto de canais conectados uns aos outros, que drenam as águas superficiais pluviais e fluviais" (CPA, 2013).

Além da rede de drenagem, imagens de alta resolução do Google Earth e outras 17 imagens Landsat foram utilizadas para elucidar questões relacionadas à classificação e ao mapeamento da regeneração florestal. Essas imagens foram úteis nos casos em que dados de campo estavam indisponíveis. Para a análise da expansão da cana-de-açúcar, mapas do projeto CANASAT foram obtidos, disponíveis em <http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/>. Este projeto mapeou a expansão da cana-de-açúcar e a mudança de uso do solo no estado de São Paulo como resultado do aumento na demanda de etanol, usando dados Landsat (Rudorff et al., 2010), durante o período 2003-2013.

4.3. Métodos

A metodologia de trabalho empregada adotou três etapas, Figura 4.2: 1) o processamento de imagens TM/Landsat para obtenção dos mapas de transição florestal dos períodos I e II; 2) a análise dos fragmentos de floresta e 3) a análise dos dados dos Censos Agropecuário e Demográfico. Cada uma das seções será detalhada melhor a seguir.

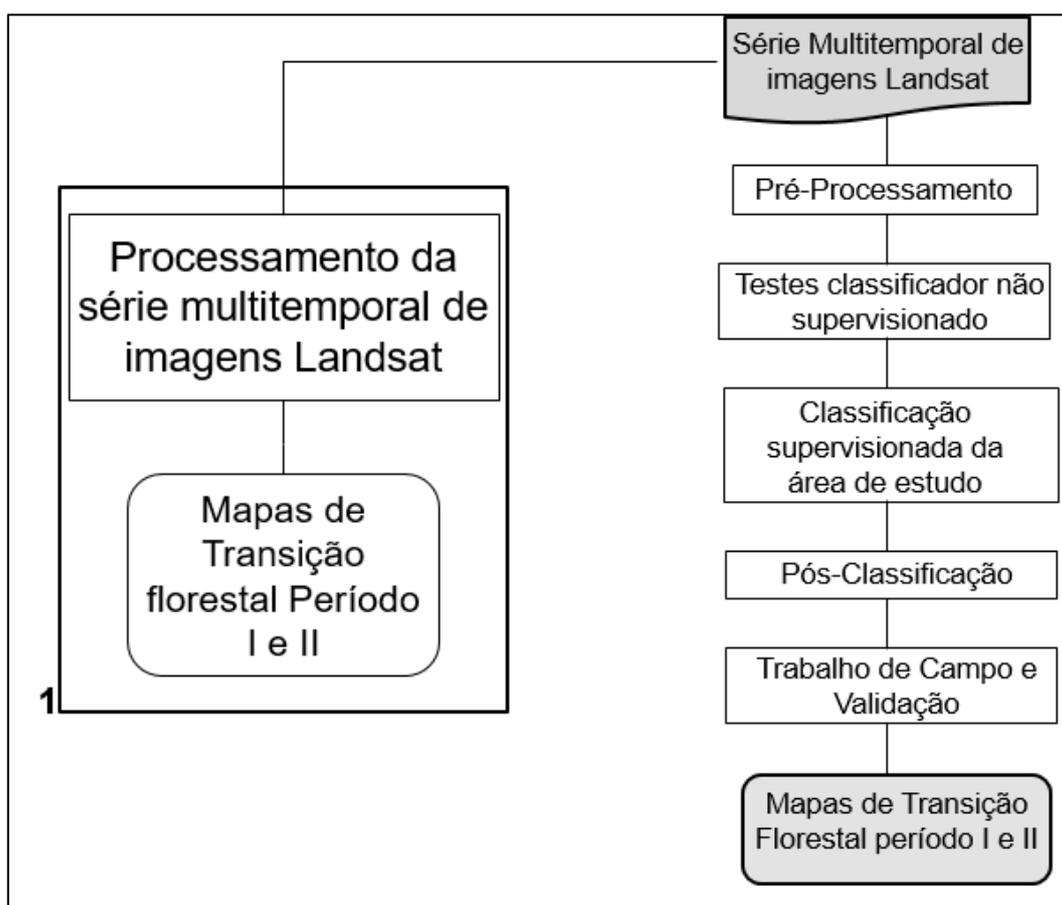
Figura 4.2: Metodologia de trabalho



4.3.1. Processamento de imagens

Os principais métodos de processamento de imagens utilizados na produção do mapa de mudanças na cobertura florestal estão representados na Figura 4.3.

Figura 4.3: Etapas do Processamento de Imagens



Primeiro, as imagens adquiridas foram co-registradas (seção 4.3.1.1) e em seguida foram realizados testes com classificador não supervisionado sobre imagens fração do modelo linear de mistura espectral (MLME), do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), e sobre as imagens em reflectância de superfície (seção 4.3.1.2).

Os resultados das classificações com as imagens em reflectância geraram os melhores resultados, que foram adotadas em seguida para a classificação das transições florestais com classificador supervisionado (seção 4.3.1.3). Os resultados da classificação foram convertidos para o formato de dados vetorial e editados e os mapas de áreas de fisionomia florestal para os anos 1995-2005 e 2006-2013 foram criados, contendo as correspondente à transição florestal: remanescentes, floresta plantada e ganho em área de floresta plantada, e floresta secundária. Tanto na classificação quanto no mapeamento de floresta secundária,

procedimentos de pós-classificação, tais como edição e eliminação de ruídos, foram realizados.

O trabalho de campo realizado em setembro para a coleta de amostras para validação da classificação é detalhado na seção 4.3.1.4.

4.3.1.1. Registro de Imagens

Todas as imagens (Tabela 4.1) foram corregistradas no software ENVI (ESRI, 2017), usando imagem de 2011 como base para o registro das outras (1995 a 2010). A imagem de 2011 foi adotada pois apresentava melhores condições de calibração radiométrica e geométrica. O erro médio quadrático (RMSE) foi calculado usando uma exponencial de primeira ordem. O resultado do registro se encontra na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Erro Médio Quadrático do Registro de Imagens.

Data	RMSE
05/09/1973	0.092944
16/07/1981	0.000000
02/05/1995	0.000000
07/09/1995	0.019582
24/08/1996	0.000000
11/08/1997	0.000000
07/03/1998	0.000000
02/09/1999	0.000000
29/04/2000	0.000000
25/10/2001	0.385537
24/07/2002	0.000000
15/10/2003	0.000000
30/08/2004	0.000000
11/04/2005	0.000000
17/08/2005	0.000000
14/04/2006	0.000000
19/07/2006	0.000000
20/06/2007	0.000000
10/09/2008	0.000000
24/05/2009	0.000000
04/02/2010	0.000000
03/07/2011	Imagem de base
04/06/2013	0.000000
03/09/2017	0.000000

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A razão pela qual o RSME igualou à zero na maioria das imagens co-registradas foi o algoritmo empregado no processamento destes pelo sistema USGS. De acordo com a equipe da USGS, as imagens no nível L1T são calibradas radiometricamente e ortorretificadas usando pontos de controle de controle e dados do modelo de elevação digital (DEM) para corrigir o deslocamento do relevo. Estes são os produtos de nível 1 de maior qualidade, adequados para séries temporais ao nível do pixel. O co-registro das cenas do Nível 1 é consistente e apresenta erro médio quadrático <12m (RMSE) (USGS, 2017).

4.3.1.2. Testes da classificação não supervisionada sobre diferentes conjuntos de dados

Após o registro, foram realizados testes de avaliação preliminar do desempenho de dados de reflectância de superfície, Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) (SHIMABUKURO; SMITH, 1991), Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) para discriminação de diferentes tipos de cobertura da terra. As bandas do visível (RGB), NIR, SWR1 e SWIR2 foram selecionadas para compor as imagens de 1995 e 2005, que foram usadas para gerar as frações para o MLME, enquanto que para o NDVI, apenas as bandas do vermelho e do infravermelho próximo foram usadas. Para a imagem da reflectância superfície: as bandas RED, NIR e SWIR1 foram escolhidas.

Os resultados do processamento acima foram: uma imagem contendo o NDVI de 1995 e 2005; duas frações de solo, vegetação e sombra (1995 e 2005), Fração solo 95-05; Fração Vegetação 95_05 e Fração sombra 95_05; respectivamente; e por último Reflectancia de Superfície 95_05.

Sobre estas imagens, o algoritmo *k-means* (RICHARDS; JIA, 2006) foi aplicado, utilizando 10 classes e 100 interações. O objetivo foi verificar qual tipo de dado identificaria melhor os remanescentes florestais. No entanto, os resultados da classificação não supervisionada apresentaram confusão entre feições agrícolas (cana-de-açúcar e outras culturas), florestas naturais e florestas plantadas (silvicultura); uma vez que estas

foram agrupadas nos mesmos grupos / classes. Em seguida, as classes que apresentaram confusão foram reclassificadas, usando 5 classes e 100 interações.

Novamente, a confusão persistiu, porém em menor grau para a imagem em reflectância de superfície. Em seguida, o classificador supervisionado Máxima verossimilhança (TSO; MATHER, 2009) foi aplicado com finalidade de observar se o problema das confusões persistiria somente sobre a imagem em reflectância de superfície. Com 10 classes e 100 interações, as confusões foram mínimas. Por fim, este foi o classificador usado também no período II.

4.3.1.3. Classificação de mudança da cobertura florestal e uso da terra

A classificação supervisionada da mudança da cobertura florestal e uso da terra foi realizada para as imagens dos períodos I e II para identificar mudanças na cobertura florestal, com discriminação das seguintes classes de transição: (i) áreas de transição de cobertura não florestal para floresta plantada comercial (NF-FP); (ii) áreas de transição de cobertura não florestal para floresta secundária (REG); (iii) áreas de manutenção do estado de floresta plantada comercial (FP-FP); (iv) áreas de manutenção do estado de cobertura de floresta primária ou remanescentes florestais (REM). As áreas de floresta plantada e secundária foram identificadas com base em seu comportamento espectral e padrões como forma e textura na paisagem, e foram verificadas durante o trabalho de campo. Os remanescentes florestais consistem de fragmentos dos biomas da Mata Atlântica e do Cerrado que apresentaram fisionomia da floresta. Os conjuntos de treinamento para as classes de transição foram coletados nos pares de imagens de satélite para cada período e o algoritmo de máxima verossimilhança (TSO; MATHER, 2009) foi usado para produzir um mapa de transição florestal para cada período de estudo.

Para validar e avaliar a precisão da classificação para o mapa de transição da cobertura florestal em ambos os períodos de estudo, foi

utilizado um conjunto de 100 áreas de 1 km x 1 km selecionadas aleatoriamente para produzir um mapa de referência, que foi verificado no campo e utilizado como base para estimar o coeficiente de concordância Kappa (CONGALTON, 1991). Além disso, erros de desacordo de quantidade e alocação proposto por Pontius e Millones (2011) foram calculados para as mesmas áreas de validação. Devido à distribuição muito esparsa da classe de transição regeneração, uma segunda avaliação de precisão foi realizada exclusivamente para esta classe usando quatro áreas selecionadas aleatoriamente de 25 km x 25 km.

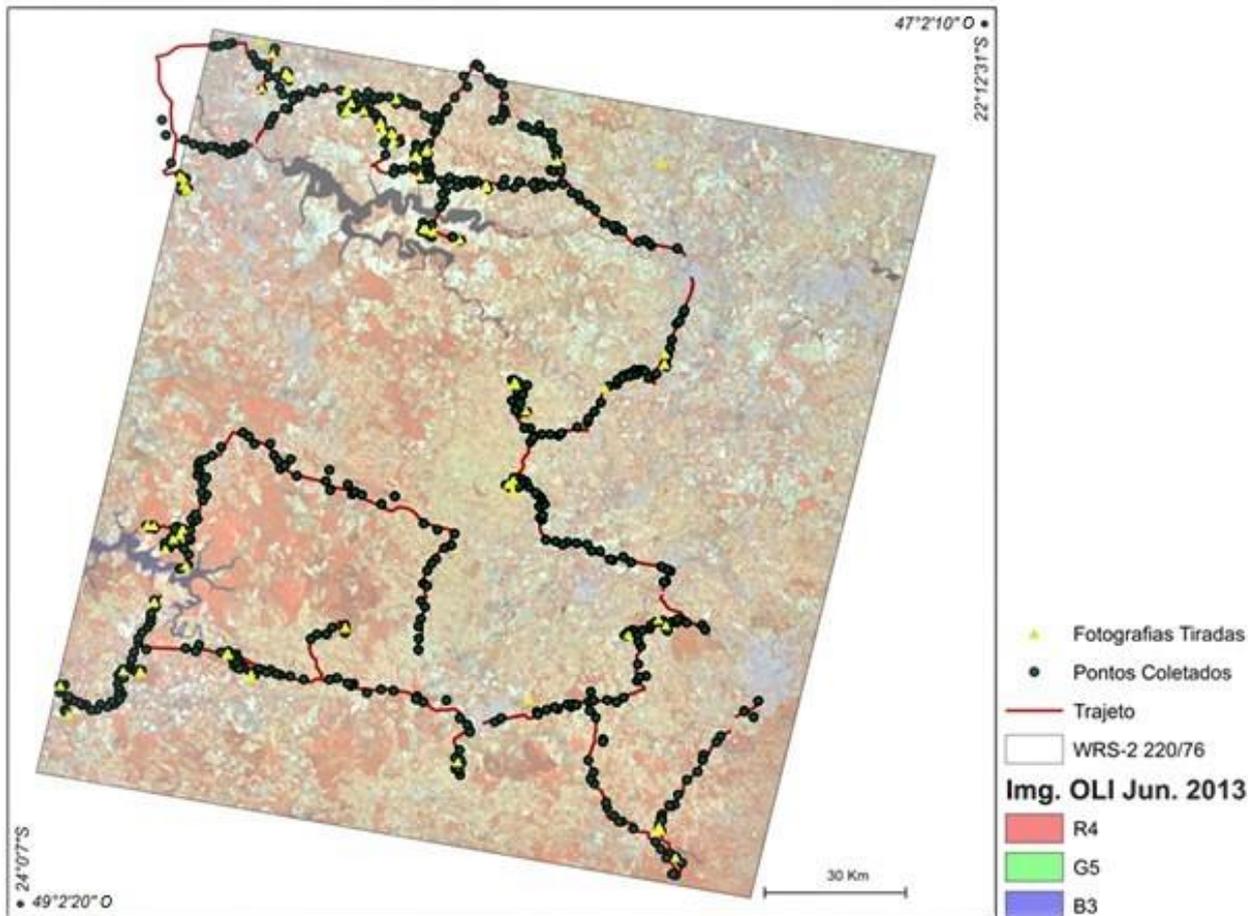
4.3.1.4. Trabalho de Campo

Durante a campanha de campo, foram realizadas entrevistas com atores-chave para entender parte da história das áreas e verificar se as narrativas contadas por estes de algum modo concordavam com as análises do censo e com as análises feitas através de sensoriamento remoto.

Foram realizadas cinco visitas: duas a pequenos produtores de leite na região de Itapetininga, e duas visitas em Piracicaba, uma ao Instituto de Pesquisas Florestais (IPEF), e outra à Cooperativa dos Plantadores de Cana do Estado de São Paulo (Coplacana). A última visita foi à Usina de cana-de-açúcar Granelli, em Charqueada.

Ao todo, foram percorridos mais de 2.300 km e coletados 576 pontos de controle para validação das classificações, conforme Figura 4.4.

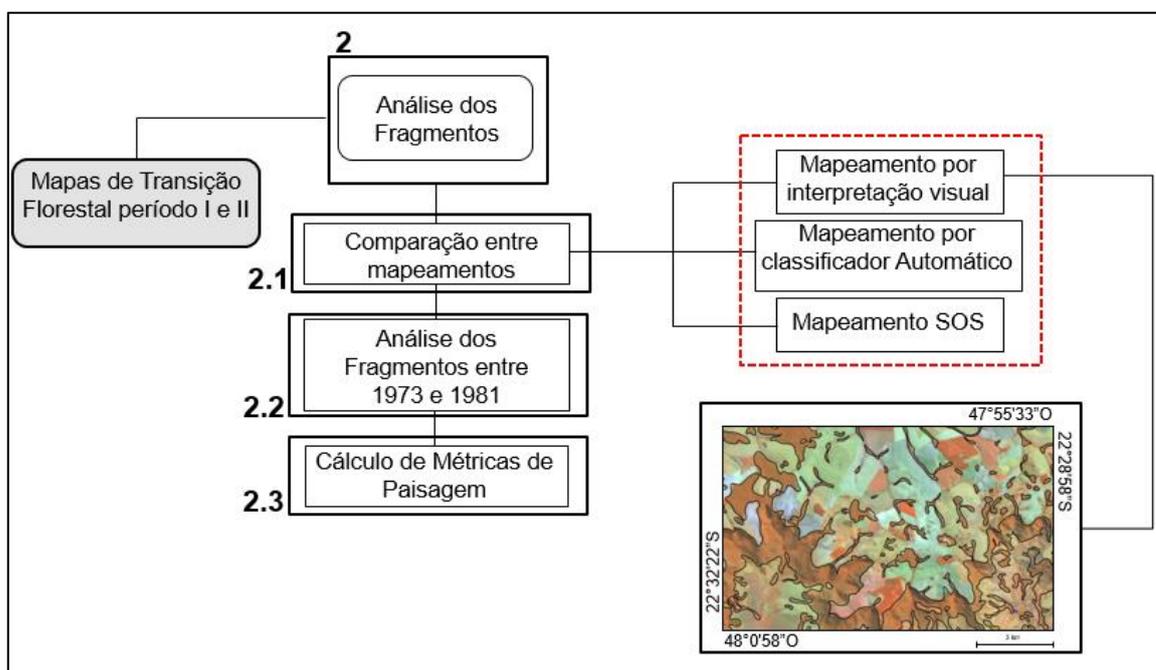
Figura 4.4: Mapa do roteiro percorridos em campo em setembro de 2017. Trajeto de viagem é mostrado em vermelho; pontos de coleta de dados validação, em verde; pontos de tomada das fotografias representados como triângulos amarelos .



4.3.2. Análise dos Fragmentos Florestais Produzidos pelo Processamento de Imagens.

A análise dos fragmentos, Figura 4.5, constituiu de: 1) Comparação entre o mapeamento produzido pela fundação SOS Mata Atlântica e um mapeamento feito por interpretação visual (seção 4.3.2.1); 2) Análise visual de todos os fragmentos acima de 20 ha em 1973 e 1981 (seção 4.3.2.2) e 3) Cálculo de métricas de paisagem utilizando a linguagem R (seção 4.3.2.3.)

Figura 4.5: Etapas da análise de fragmentos



4.3.2.1. Comparação entre os Remanescentes Florestais: SOS, Classificador Automático e Interpretação Visual

A classe de transição correspondente aos remanescentes na classificação supervisionada foi editada para evitar erros de classificação e eliminar áreas menores que 1 hectare. As áreas < 1 ha corresponderam a menos de 1% da área total da área de remanescentes florestais. Este processo foi realizado primeiramente no período I. Ao fim da edição, havia um total de 394.050,69 ha classificados como remanescentes para o período I, um valor cinco vezes maior se comparado ao reportado pelo SOS, 81.574 ha. Dessa forma, para verificar se a classificação supervisionada estava superestimando a área dos remanescentes, uma interpretação visual e mapeamento de todos os fragmentos florestais foram feitos para o período I.

O total de remanescentes mapeado por interpretação visual foi 388.598,51 ha, demonstrando que o algoritmo supervisionado não superestimou a área dos remanescentes, com uma diferença inferior a 1,5%. A comparação entre SOS, Classificação Supervisionada e

Interpretação visual foi realizada ordenando quinze regiões de 15 x 15 km na cena e verificando a quantidade total de polígonos e área por grupos de área total. Isso foi útil para entender se a área total de remanescentes estava concentrada em fragmentos pequenos ou grandes.

Esta comparação não foi necessária para o período II, quanto menos o mapeamento por interpretação visual, uma vez que a diferença entre a interpretação visual e a classificação supervisionada foi inferior a 5%. A decisão de usar o resultado da classificação supervisionada dos fragmentos florestais para o período II reside no fato de que o algoritmo é mais eficiente na questão do tempo empregado para mapear e detectar diferentes fisionomias florestais.

4.3.2.2. Análise dos Fragmentos Florestais entre 1973-2013

Todos os fragmentos maiores que 20 ha do período I foram escolhidos para uma inspeção visual multitemporal. Fragmentos maiores que 20 ha representaram mais de 70% da área total de remanescentes. A avaliação visual (atentando-se para forma, textura e comportamento espectral dos fragmentos) consistiu em verificar se o fragmento existia nas imagens de 1973 e 1981 do satélite MSS.

4.3.2.3. Cálculo de métricas de paisagem

As métricas de paisagem foram calculadas usando o pacote 'spatialEco', R (Evans, 2017), que é baseado no software Fragstats (MCGARIGAL et. al., 1995). O mapa de remanescentes florestais de cada período foi transformado em uma imagem binária que foi utilizada para calcular seis métricas de paisagem, descritas na Tabela 4. Detalhes sobre como cada índice é calculado estão no anexo A., Figura A. Além disso, foram calculadas as distâncias ao rio mais próximo e à borda do fragmento mais próximo, assim como a área total dentro dos buffers de 30 m e 50 m em relação à drenagem mais próxima para as categorias de fragmentos florestais e regeneração.

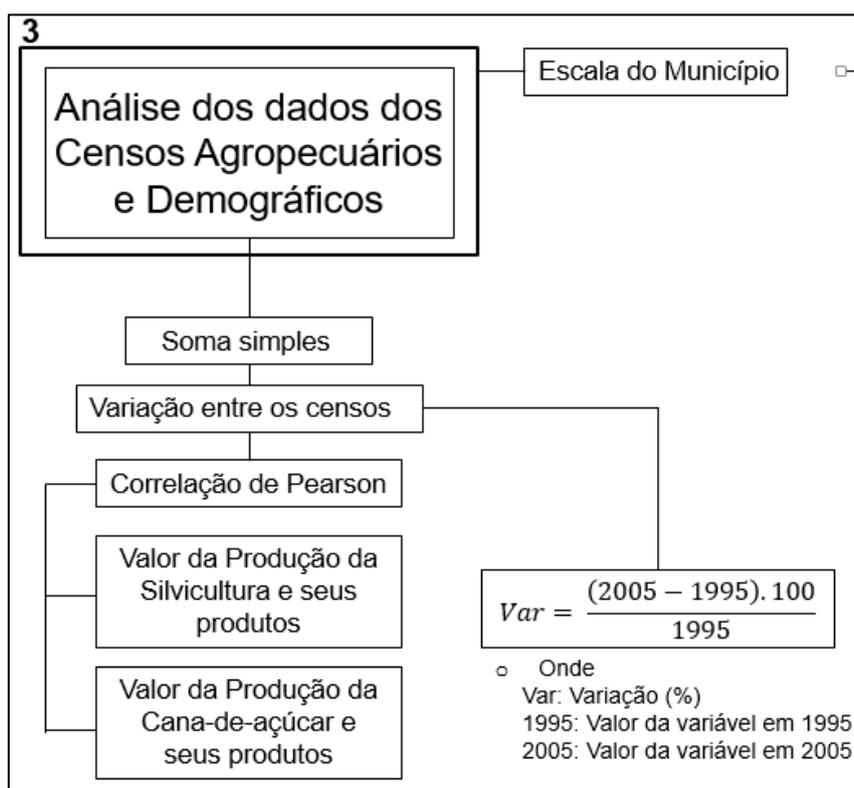
Tabela 4.3: Descrição dos índices de métricas de Paisagens utilizados de acordo com Evans (2017).

	Descrição
Landscape shape index (LSI)	Medida padronizada da borda total ou densidade de borda que se ajusta ao tamanho da paisagem
Mean. frac. dim. index (FRAC)	Média do índice de dimensão fractal
Prop. like. adjacencies (PLADJ)	Derivado da matriz de adjacência, que mostra a frequência com que diferentes pares de diferentes classes (incluindo adjacências entre o mesmo tipo de classe) aparecem lado a lado no mapa (mede o grau de agregação dos tipos de fragmentos)
Aggregation index (AI)	Corresponde a um índice de agregação de classe média ponderada pela área, onde cada classe é ponderada pela sua área proporcional na paisagem
Splitting index (SPLIT)	Baseado na distribuição cumulativa da área de cada classe e é interpretado como o número efetivo de malha ou como o número de classes com tamanho constante quando a paisagem é subdividida em S fragmentos, onde S é o valor do índice de divisão
Patch cohesion index (COHESION)	Mensura a conexão física entre as classes

4.3.3. Análise dos dados dos Censos

A análise dos dados dos censos, Figura 4.6, foi realizada com dados na escala de município, tanto para os Censos Agrícolas de 1995/96 e 2006 como para os Censos Demográficos de 1991, 2000 e 2010.

Figura 4.6: Análise dos dados do Censo



A área total ocupada por cana-de-açúcar, pastagem, laranja, limão, lima e tangerina foi estimada em cada município em ambos os anos: 1995 e 2006. Essas culturas foram escolhidas com base em análises preliminares dos dados do censo e também por serem as mais abundantes (IBGE 1995/96, 2000). O mesmo foi feito em relação à produção de cana-de-açúcar, leite e de produtos florestais, como mudas de eucalipto, madeira destinada à produção de papel e de lenha. A população total por município foi obtida dos censos demográficos de 1991, 2000 e 2010, e a renda média em áreas urbanas e rurais com base nos censos de 2000 e 2010. Para estimar a variação entre os censos, soma simples e proporção direta foi calculada para todos os municípios da área de estudo.

Além disso, análises de correlação de Pearson (RODGERS; NICEWANDER, 1988) foram feitas para os principais tipos de cultura observados na área de estudo: silvicultura e cana-de-açúcar. Essa análise consistiu em duas partes: a primeira, interpretar correlação simples entre o valor da produção da silvicultura na porção sul/sudoeste da região e as

váriaveis renda no campo, quantidade de sementes, lenha, renda no campo e madeira para papel; e a segunda, onde foram analisadas a correlção entre o valor da produção da cana-de-açúcar na porção norte/nordeste e as variáveis: cana forrageira, área colhida, renda no campo, e valor da produção da silvicultura.

5 RESULTADOS

5.1. Mapas de Transição de Cobertura florestal

Os mapas de transição florestal para ambos os períodos de estudo são mostrados na Figura 5.2a. (1995-2005) e na Figura 5.3a (2006-2013). Estes mapas caracterizam transições de estado da cobertura da terra que apresentaram cobertura florestal no final de cada período segundo 4 classes de transição: remanescentes florestais (REM), ganho em áreas de floresta plantada comercial (NF-PF), floresta plantada comercial (PF-PF) e florestas secundárias (regeneração - REG).

Os resultados mostraram que 19,9% (502.896 ha) da área de estudo eram cobertos por florestas no final do período I, valor que sobe para 23,6% (595.918 ha) no período II. Os remanescentes florestais (REM), Figura 5.2b e 5.3b, representaram 78,35% da cobertura florestal em I e 66,9% em II. Florestas secundárias (REG), Figura 5.2c e 5.3c, representaram 0,85% no primeiro período e 0,32% no segundo, totalizando 1,17% da área de estudo. Ganho em floresta plantada comercial (NF-FP), Figura 5.2d e 5.3e, representaram 6,94% e 14,14% durante o primeiro e segundo períodos, respectivamente, Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Área ocupada das classes de transição nos períodos I e II.

	1995-2005		2006-2013	
	área (10 ³ ha)	Fração da área de estudo/ Fração da cobertura florestal (%)	área (10 ³ ha)	Fração da área de estudo/ Fração da cobertura florestal(%)
Regeneração ou transição de áreas não-floresta para floresta secundária (REG)	4.1	0.16/0.85	1.9	0.07/0.32
Manutenção do estado de Floresta Plantada comercial (FP-FP)	69.6	2.75/13.8	111.0	4.4/14.1
Transição de não-floresta para floresta plantada comercial(NF-FP)	34.9	1.38/6.9	84.3	3.33/14.4
Manutenção do estado de Remanescente Florestal (REM)	394.1	15.6/78.3	398.7	15.8/66.9
Área de Floresta Total	502.9	19.9/100	595.9	23.6/100

Os coeficientes Kappa estimados para o mapeamento de remanescentes foram de 0,668 e 0,65 respectivamente, para o primeiro e segundo períodos, o que permite atribuir as classificações dos mapas para a categoria ‘boa’ segundo a tipologia de Vieira et al. (2005) e Landis e Koch (1997). Em termos de erro de quantidade e alocação, obtivemos 13,5% e 3,6% no primeiro período; 10,8% e 4,7% durante o segundo período para o mapeamento dos remanescentes. Quanto à precisão do mapeamento de regeneração, os coeficientes Kappa estimados foram 0,77 e 0,79 para o primeiro e segundo períodos, respectivamente. As matrizes de confusão relativas à classificação são apresentadas a seguir.

Figura 5.1: Matrizes de confusão

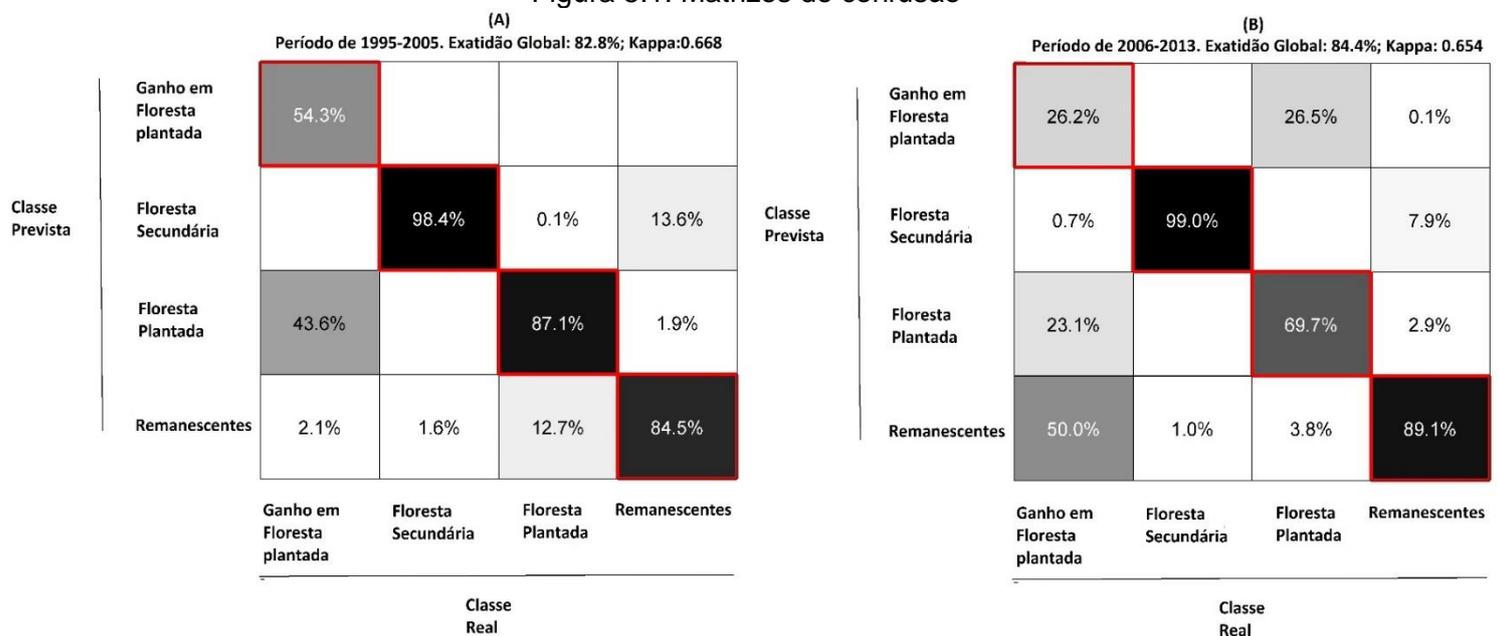


Figura 5.2: (a) Mapa das áreas de fisionomia florestal segundo as classes de transição de cobertura florestal para o período 1995-2005; mostrando (b) áreas de manutenção do estado de cobertura de floresta primária ou remanescentes florestais (REM), (c) áreas de transição de cobertura não florestal para floresta secundária (REG), (d) áreas de transição de cobertura não florestal para floresta plantada (NF-FP e (e) áreas de manutenção do estado de Floresta Plantada (FP-FP).. A variação do comportamento espectral durante o período de estudo foi validada usando as imagens de 1996-2004, conforme Tabela 4.1.

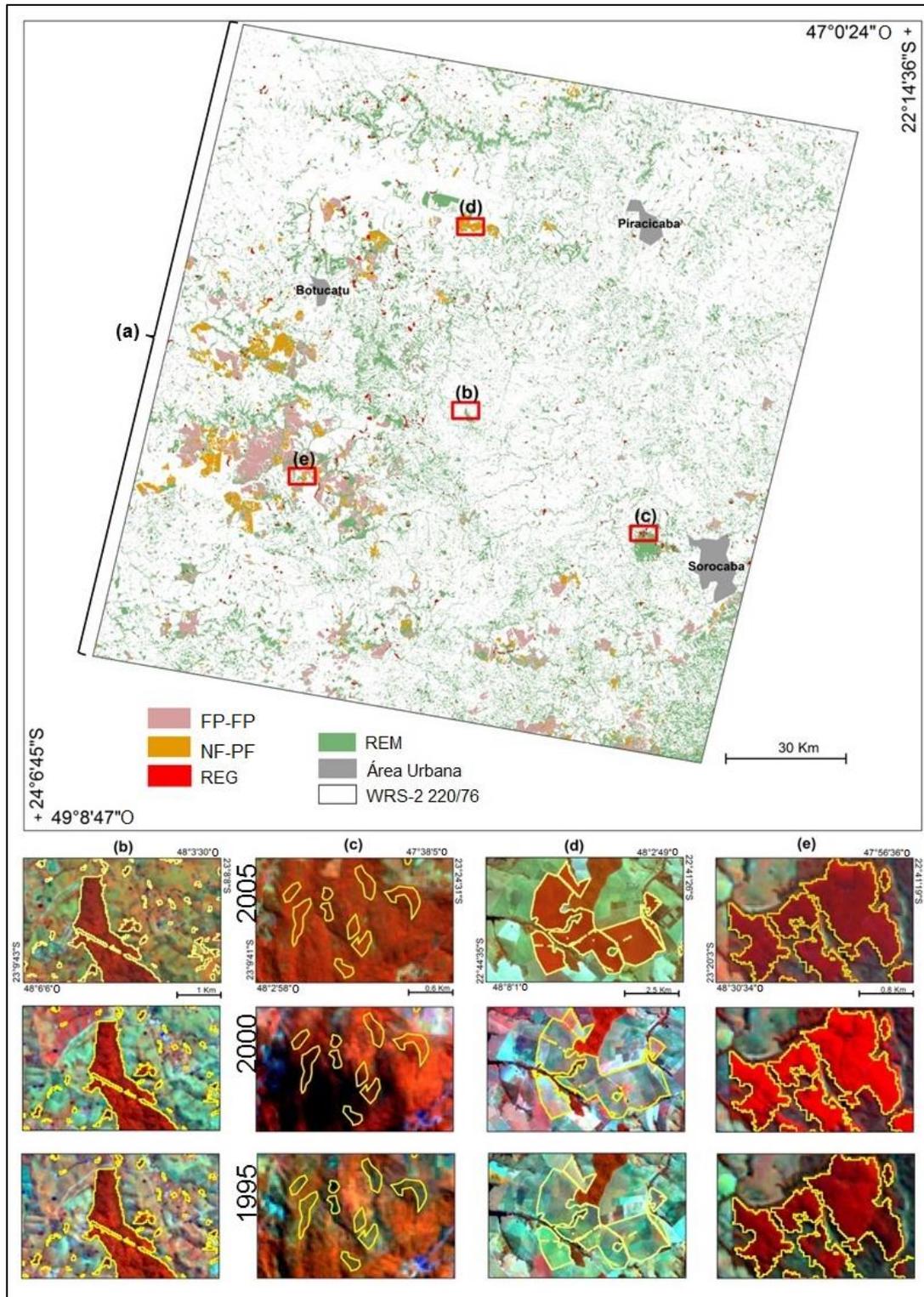
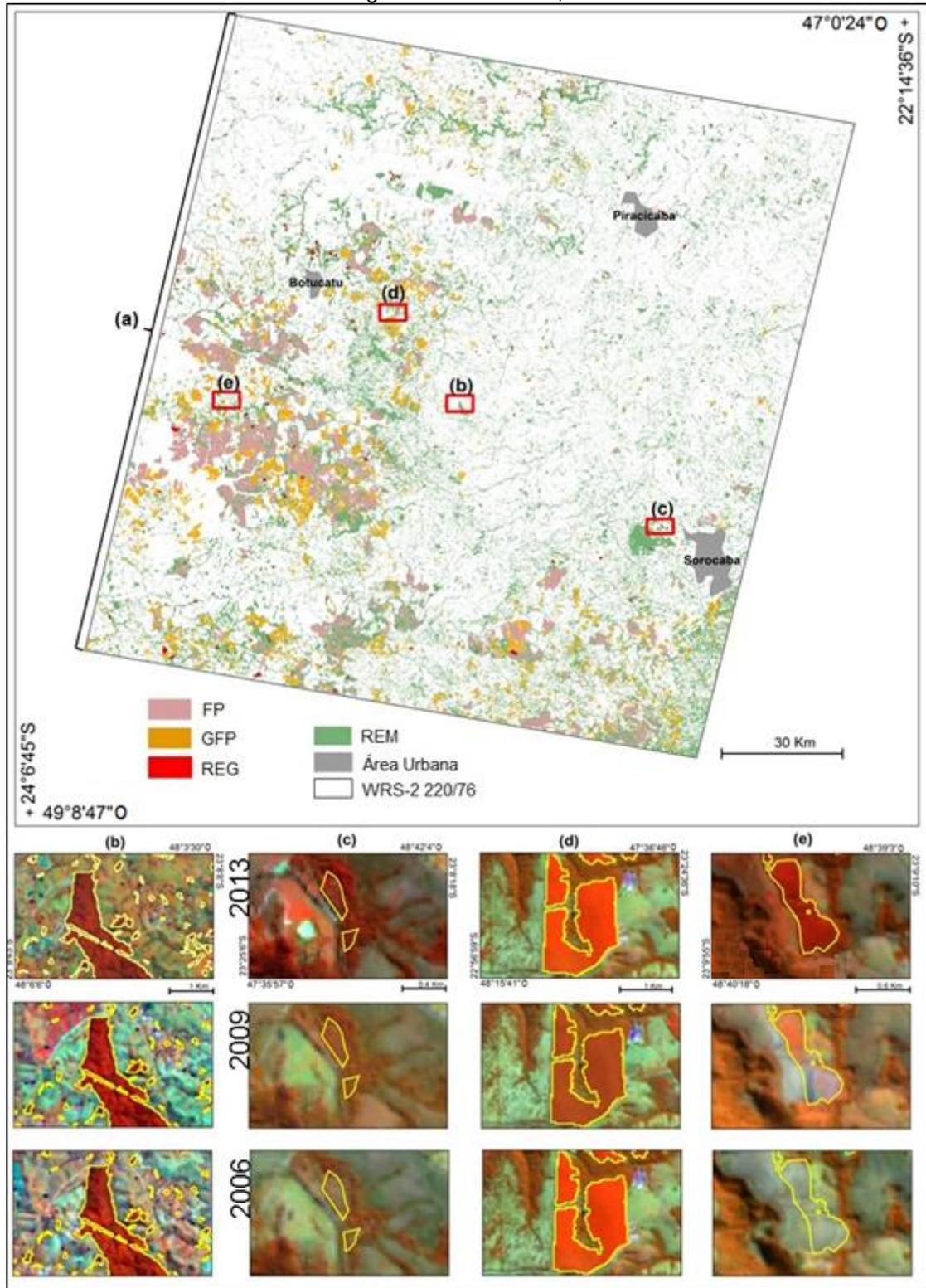


Figura 5.3: (a) Mapa das áreas de fisionomia florestal segundo as classes de transição de cobertura florestal para o período 2006-2013; mostrando (b) áreas de manutenção do estado de cobertura de floresta primária ou remanescentes florestais (REM), (c) áreas de transição de cobertura não florestal para floresta secundária (REG), (d) áreas de manutenção do estado de Floresta Plantada (FP-FP) e (e) áreas de transição de cobertura não florestal para floresta plantada (NF-FP). A figura inclui exemplos dessas transições. A variação do comportamento espectral durante o período de estudo foi validada usando as imagens de 2007-2011, conforme Tabela 4.1.



5.2. Comparação entre os Mapeamentos da Fundação SOS Mata Atlântica, Interpretação Visual e Classificador Automático

Para verificar se o resultado da classificação automática para o período I condizia com a realidade, foi realizado o mapeamento por interpretação visual da cena. O mapeamento visual dos remanescentes da cena Landsat 220/76 demorou 3 semanas e 168 horas. As comparações foram feitas em termos da quantidade total de polígonos e área total por faixa de tamanho de fragmento. A comparação em termos de quantidade de polígonos se encontra na Tabela 5.2 e Figura 5.4.

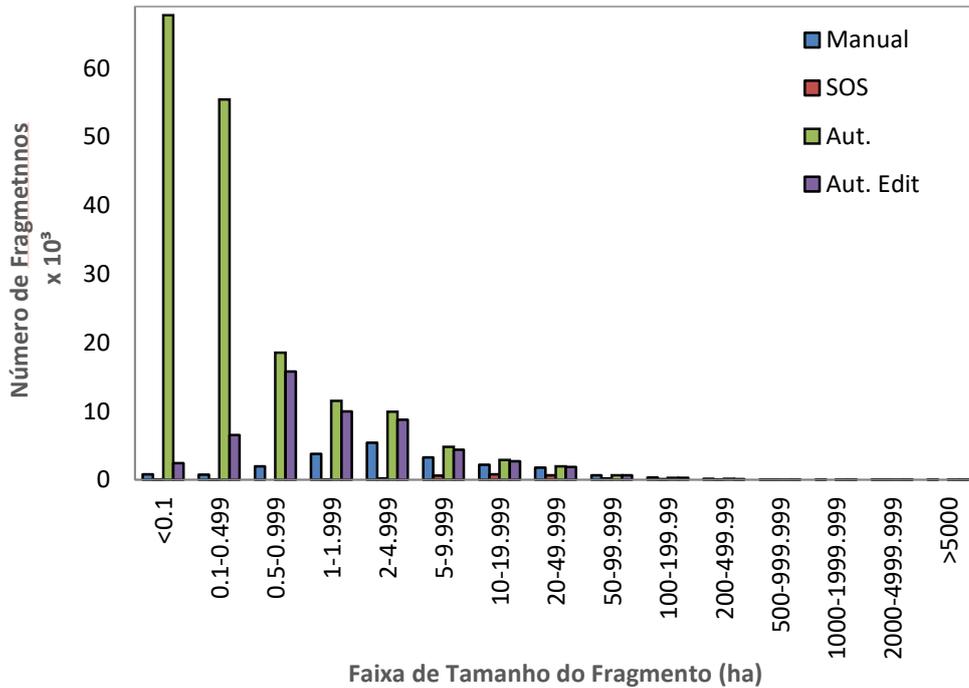
Tabela 5.2: Comparação entre os mapeamentos: quantidade de polígonos por classe de tamanho do fragmento.

Quantidade de polígonos (1995-2005)				
Classe de Tamanho do Fragmento (ha)	Manual	SOS	Automático	Automático Editado
<0.1	775	2	67763	2445
0.1-0.49	754	2	55451	6545
0.5-0.99	1942	0	18526	15801
1-1.99	3784	7	11517	9968
2-4.99	5425	183	9902	8782
5-9.99	3244	611	4817	4364
10-19.99	2190	792	2896	2690
20-49.99	1779	638	1964	1885
50-99.99	675	206	666	638
100-199.99	340	90	306	295
200-499.99	159	35	133	119
500-999.99	54	8	41	40
1000-1999.99	21	0	23	23
2000-4999.99	10	1	12	10
>5000	3	0	1	1
Total de fragmentos	21155	2575	174018	53606

É possível observar que existe uma grande diferença entre o resultado do classificador automático e o automático com pós-edição. Essa diferença decorre da eliminação de polígonos menores classificados erroneamente e a pequenos fragmentos < 0,1 que estavam relacionados ao efeito de borda. Os resultados entre o mapeamento por interpretação visual e pelo classificador automático se assemelharam consideravelmente após a edição, somente a partir das faixas de tamanho acima de 5 ha. Ambas as classificações diferem da classificação realizada pelo SOS, o que pode ser explicado pela diferença metodológica adotada em cada

mapeamento. A Fundação SOS utiliza interpretação visual no mapeamento em escala de 1: 50.000, ao passo que o mapeamento dos remanescentes da área de estudo elaborado através de interpretação visual considerou a escala de 1: 30.000, podendo assim, observar mais detalhes no mapeamento.

Figura 5.4: Quantidade de polígonos por classe de tamanho de fragmento.



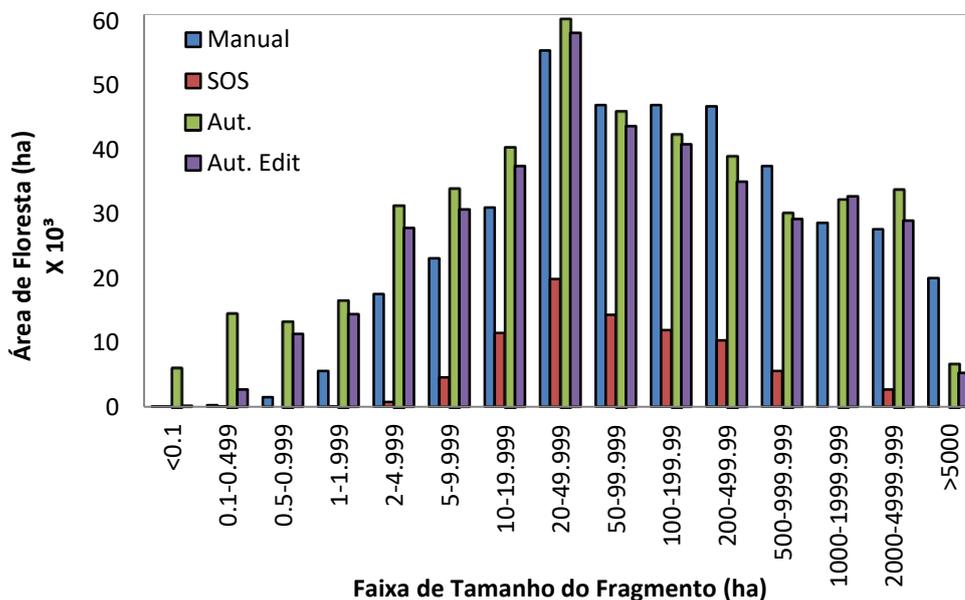
Considerando a cobertura florestal dos remanescentes por classe de tamanho de fragmento, Tabela 5.3 e Figura 5.4, tem-se que a maioria dos remanescentes são fragmentos acima de 10 ha e menores que 1000 ha, correspondendo a 68% no caso da interpretação visual, 90% no mapeamento da Fundação SOS, 68% na classificação supervisionada não editada e 61% na classificação supervisionada editada.

Tabela 5.3: Área total da cobertura florestal por faixa de tamanho de fragmento para o período de 1995-2005.

Área total da Cobertura Florestal (ha) por faixa de tamanho de fragmento (1995-2005)				
Classe de Tamanho do Fragmento	Manual	SOS	Automático	Automático Editado
<0.1	19.5	0.1	6098.7	185.6
0.1-0.49	255.6	0.4	14577.8	2702.2
0.5-0.99	1482.5	0.0	13305.7	11352.3
1-1.99	5580.8	11.3	16620.5	14400.5
2-4.99	17536.6	746.3	31293.7	27796.2
5-9.99	23083.7	4589.0	33918.7	30705.7
10-19.99	30987.0	11506.3	40327.3	37447.7
20-49.99	55439.7	19855.7	60257.4	58158.8
50-99.99	46922.8	14306.4	45879.1	43678.7
100-199.99	46928.8	11938.5	42295.5	40837.1
200-499.99	46738.8	10337.2	38932.7	35001.6
500-999.99	37425.5	5566.2	30150.5	29209.7
1000-1999.99	28587.1	0.0	32249.6	32736.0
2000-4999.99	27600.2	2717.4	33750.5	28974.4
>5000	20009.9	0.0	6760.4	5253.8
Total	388598.5	81574.8	446418.1	394140.4

O resultado por interpretação visual estimou uma área de fragmentos de 388.598,5 hectares, um valor muito próximo àquele estimado por classificação automática editada, de 394.410,4 ha, uma diferença de 2,3%. Em relação ao SOS, a diferença chega a 476% e 486%.

Figura 5.5: Área total (ha) por classe de tamanho de fragmento.



A segunda etapa de verificação constituiu de uma seleção aleatória de 15 regiões de 15 x 15 km dentro da cena, para os quais foram feitas comparações entre os remanescentes gerados a partir do mapeamento por interpretação visual e os remanescentes gerados por classificação automática.

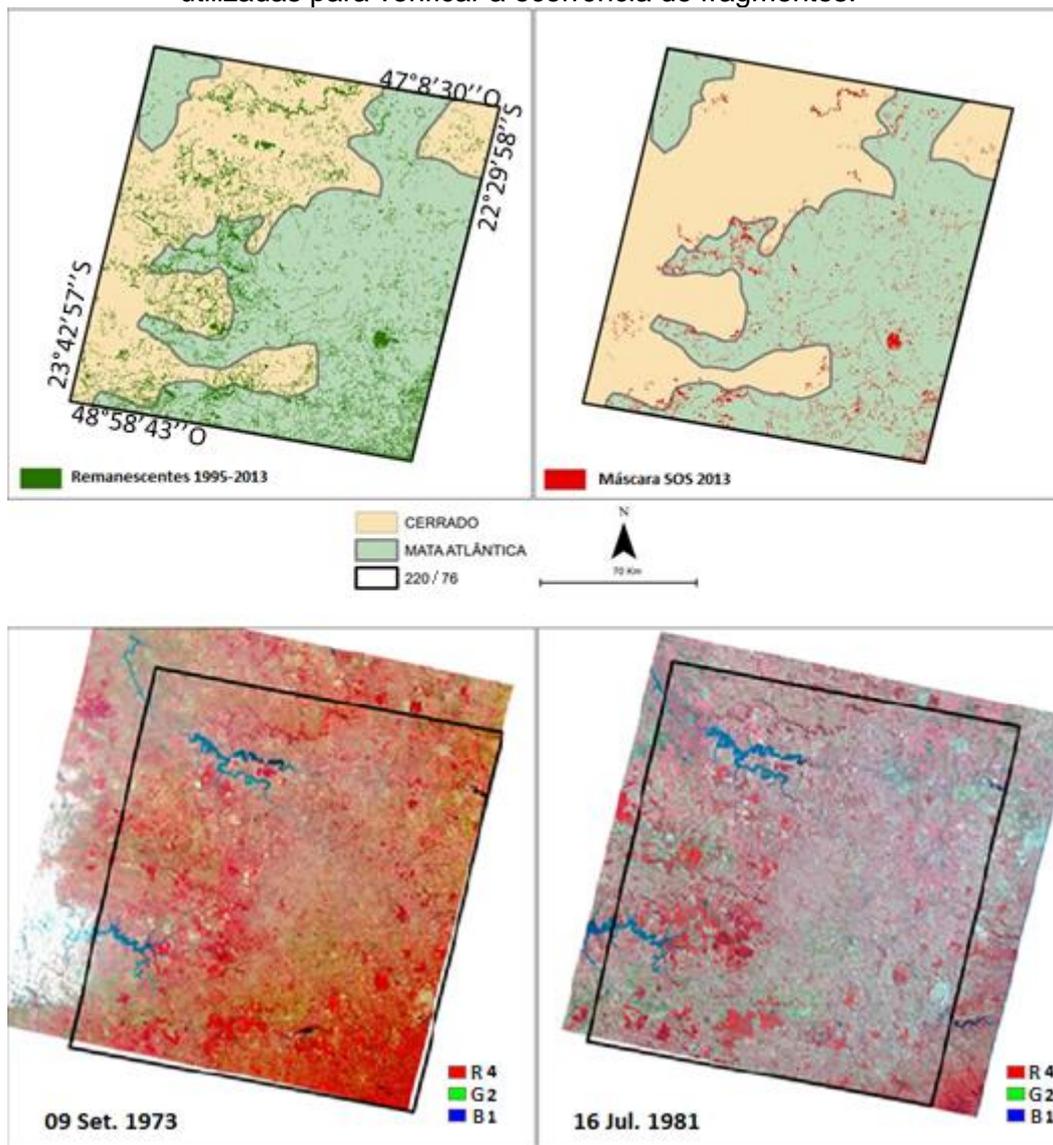
Em relação ao total de remanescentes presentes na cena inteira, pode-se dizer que as regiões de análise compreenderam cerca de 25% da cena em ambos os casos reforçando que, tanto o mapeamento por classificador supervisionado quanto o por interpretação visual não superestimaram a área de remanescentes dentro da área de estudo, e que a diferença em relação ao SOS se deve principalmente a fatores metodológicos.

Constando que a diferença entre o mapeamento por interpretação visual e o automático foi pequena (<5%), optou-se por utilizar o mapeamento automático dos remanescentes florestais no período II, uma vez que este foi mais eficiente em relação ao tempo gasto na classificação.

5.3. Análise dos Remanescentes Florestais entre 1973-2013

Todos os remanescentes maiores que 20 hectares identificados no período I foram submetidos a uma revisão a fim de identificar se os mesmos já existiam em 1973 e 1981 e entender porque houve uma diferença de cinco vezes no valor entre o mapeamento realizado pela Fundação SOS Mata Atlântica em 2013 e o mapeamento realizado para este estudo. As imagens de 1973 e 1981, (Figura 5.6), foram as únicas imagens livres de nuvem anteriores a 1995 disponíveis para a área de estudo.

Figura 5.6: Máscaras de limite de biomas, da máscara utilizada e das imagens utilizadas para verificar a ocorrência de fragmentos.

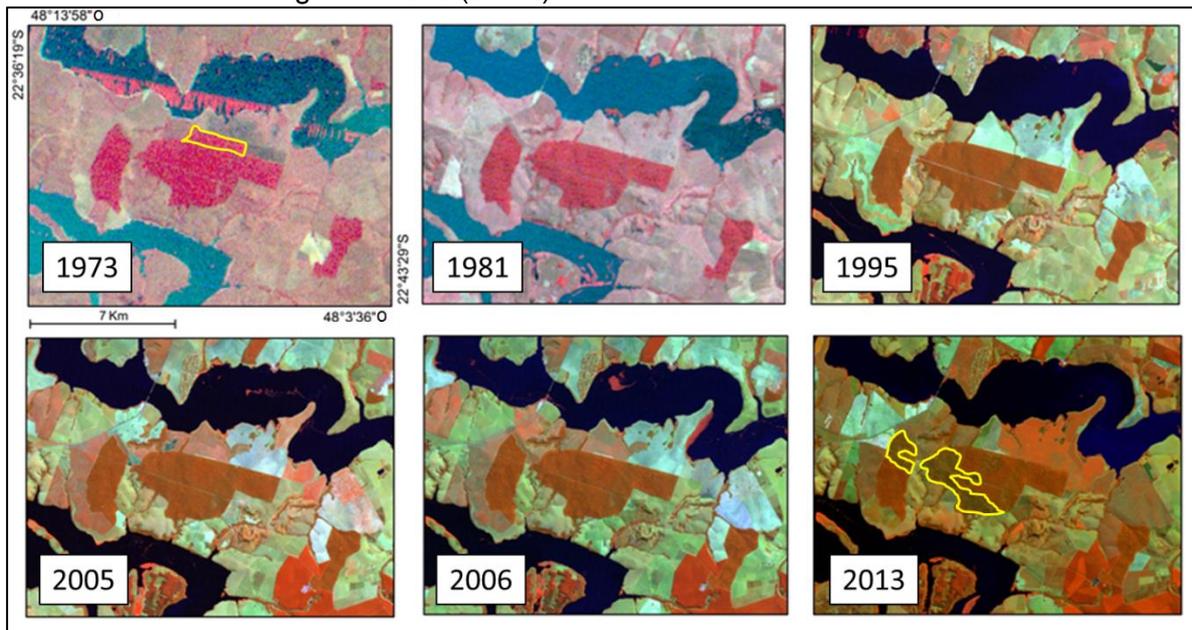


Em 2013 havia 283.836 ha de remanescentes distribuídos em 2.742 polígonos. Deste total, 267.806 ha estavam presentes em 1973, distribuídos em 2.382 polígonos. Em 1981, 278.806 ha em 2608 polígonos passaram a ter textura e comportamento espectral de floresta. Esse aumento de 10.980 ha pode estar relacionado a processos de regeneração. Entre 1981 e 1995, o aumento foi de 4969 ha, ou seja, 134 polígonos passaram a ser considerados floresta.

Entretanto, não se pôde inferir o tipo ou processo envolvido na regeneração, pois a qualidade e a quantidade de imagens no intervalo entre 1973 e 1995 não foram suficientes.

A Figura 5.7 apresenta um exemplo de remanescente florestal que existe desde 1973, na região chamada de “Colônia dos Pescadores”..

Figura 5.7: Imagens da região da Colônia dos Pescadores: exemplo de remanescente florestal presente desde 1973. As imagens de 1973 e 1981 estão em composição R4, G2 e B1; e as imagens dos anos seguintes em R4, G5 e B3. Os polígonos em amarelo representam perda florestal em 1981 (2 km²) e degradação por fogo em 2013 (5 km²).



É possível observar pela Figura 5.6 que diferença entre os mapeamentos pode ser atribuída a dois fatores: o principal deles se refere ao limite geográfico utilizado pela Fundação SOS Mata Atlântica para mapear os remanescentes, que de acordo com a Figura 5.6 ocupa aproximadamente metade da área de estudo, enquanto para este estudo, foram consideradas as sub-regiões fitogeográficas da Mata Atlântica (SILVA; CASTELLI, 2005). Já o segundo motivo se relaciona às diferenças metodológicas entre os mapeamentos, detalhada na seção anterior.

5.4. Métricas de paisagem e isolamento de fragmentos

Neste estudo, avaliamos algumas das propriedades da paisagem usando métricas de paisagem calculadas pelo pacote 'spatialEco', Tabela 5.6.

Tabela 5.4: Índices de Paisagem estimados pelo programa Fragstat.

Índice	1995-2005	2006-2013	Unidade	Comentário
LSI	442.72	408.25	$LSI \geq 1$	Menos desagregada
FRAC	1.12	1.11	$1 \leq FRAC \leq 2$	Forma Simples
PLADJ	0.65	0.68	$0\% \leq PLADJ \leq 100\%$	Fragmentos da mesma classe
AI	78.88	80.64	$0\% \leq AI \leq 100\%$	Mais agregada
SPLIT	57887.29	26246.61	$1 \leq SPLIT \leq \text{Frag.}^2$	Menos subdividida
PC	9.82	9.87	$0\% \leq COHESION \leq 100\%$	Aumento da conectividade

Para o valor de LSI, quanto mais distante de 1, mais desagregados são os fragmentos, e mais próximos de 1, os fragmentos se tornam mais agregados. A diminuição de um período para outro indica que a forma dos fragmentos está se tornando menos irregular e mais agregada. Este resultado coincide com o do índice FRAC, que, quanto mais perto de 1, mais simples é a forma dos fragmentos.

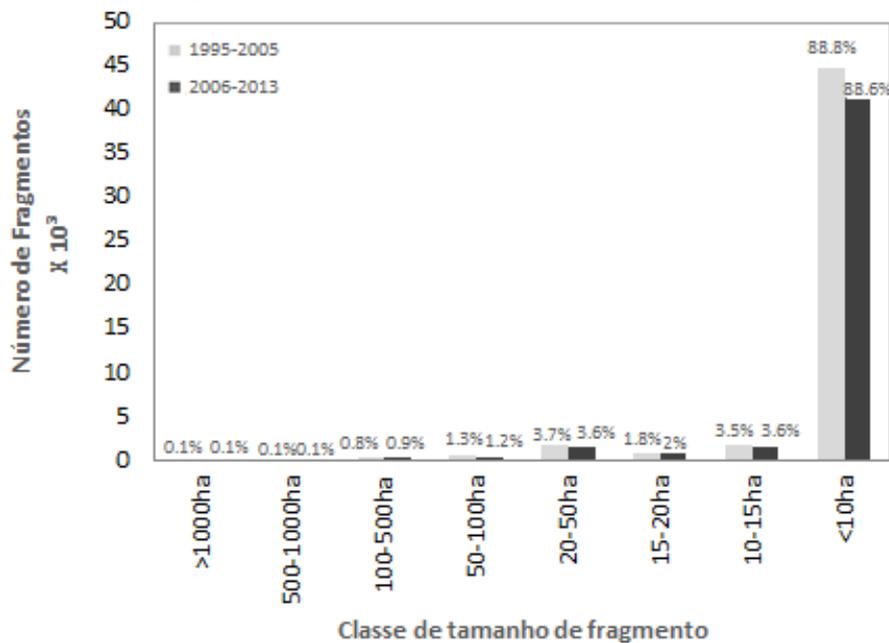
Considerando o índice PLADJ, houve um aumento de 0,03% entre os períodos, indicando que provavelmente existem mais fragmentos adjacentes. O aumento no índice AI corrobora o aumento do índice PLADJ, já que este índice demonstra que, quanto mais próximo a 100, mais agregados são os fragmentos.

Houve uma diminuição no índice SPLIT, o que significa que a paisagem está se tornando menos fragmentada, ou seja, que o número total de remanescentes diminuiu de um período para outro. A primeira característica em relação à conectividade, PC, é que houve um aumento de 0,05% de um período para outro, um indicador de que a área está se tornando fisicamente mais conectada e menos fragmentada.

Métricas como a distância à borda do fragmento mais próximo (isolamento) e ao rio mais próximo para os remanescentes florestais e a regeneração serão discutidos a seguir.

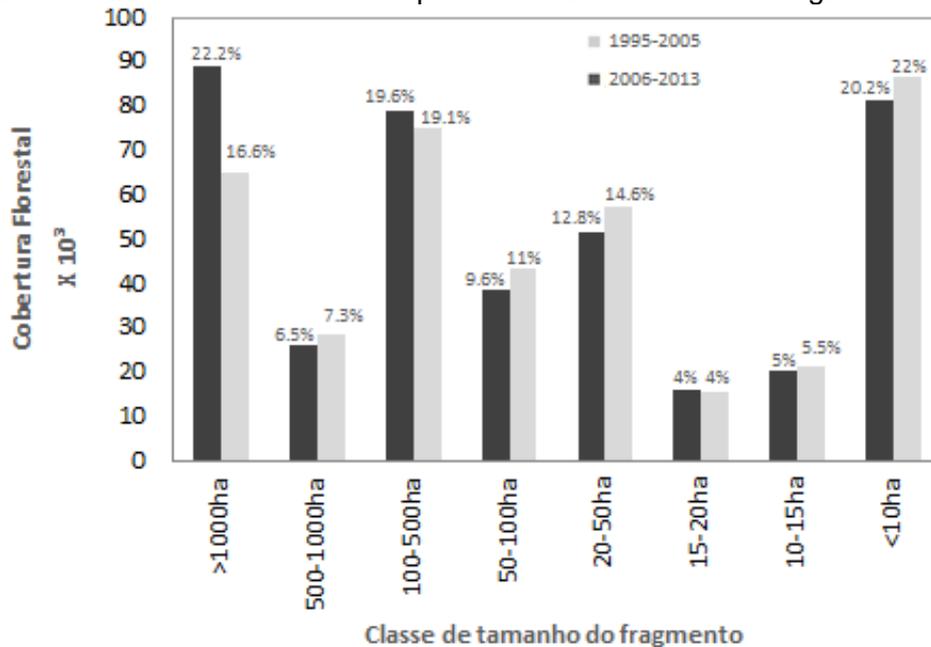
A Figura 5.8 mostra que a maioria dos fragmentos, aproximadamente 90%, em ambos os períodos são menores que 10 ha, mas apenas compreendem 20,2% e 22% da área de fragmentos totais (Figura 5.10). Além disso, fragmentos entre 100-500 ha compreendem 19% da área total de remanescentes em ambos os períodos, mas menos de 1% do número total de fragmentos, (Figura 5.9).

Figura 5.8: Número de fragmentos de remanescentes por classe de tamanho do fragmento.



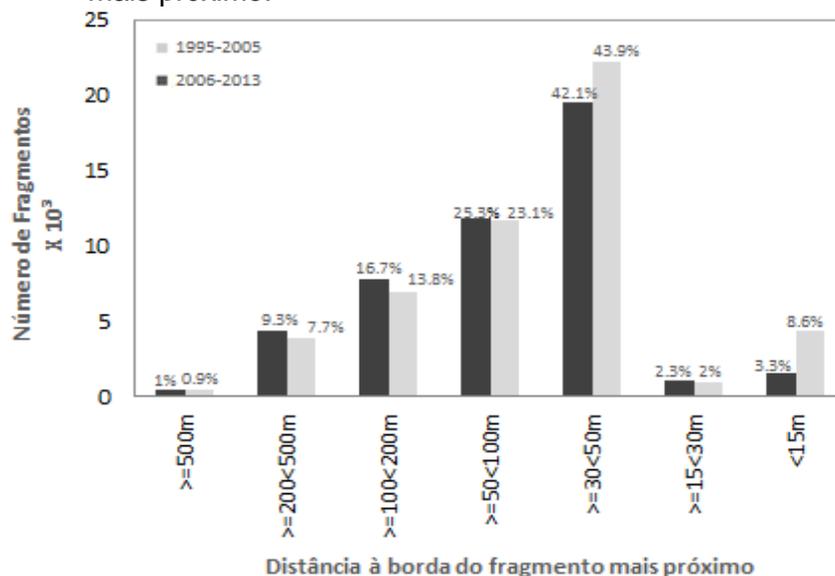
A cobertura florestal dentro dos fragmentos acima de 10 ha e menor que 100 ha compreendem 33,6% e 29,9% nos períodos I e II, respectivamente, (Figura. 5.9). As áreas entre 500-1000 ha representaram 7,3% e 6,5% da área total de remanescentes. A classe de fragmentos acima de 1000 ha foi a que apresentou a maior diferença, 5,6% entre período I e II, correspondendo a 16,6% e 22,2%, respectivamente. Esse aumento pode ser um indicador de que fragmentos, uma vez isolados no período I, se conectaram a fragmentos adjacentes, formando fragmentos maiores.

Figura 5.9: Área de remanescentes por classe de tamanho de Fragmento.



Em relação à distância à borda do fragmento mais próximo (Figura. 5.10), observa-se que, para ambos os períodos, quase metade dos fragmentos estavam distantes entre si cerca de 30-50 m, e apenas 11% e 5.3% (períodos I e II) estavam a uma distância de 30 m ou menos em relação à borda mais próxima, respectivamente

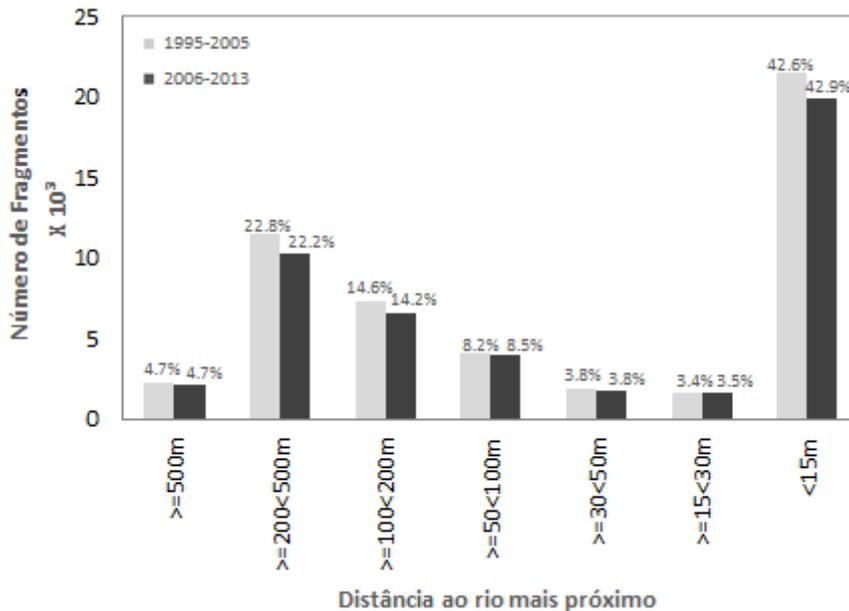
Figura 5.10: Número de fragmentos em relação à distância à borda do fragmento mais próximo.



Por outro lado, ao analisar a distância ao rio mais próximo (Figura. 5.11); é possível notar que 43% dos remanescentes em ambos os períodos

estão a menos de 15 m do rio. Considerando a distância de 50 m, cerca de 50% dos fragmentos estão dentro desse buffer.

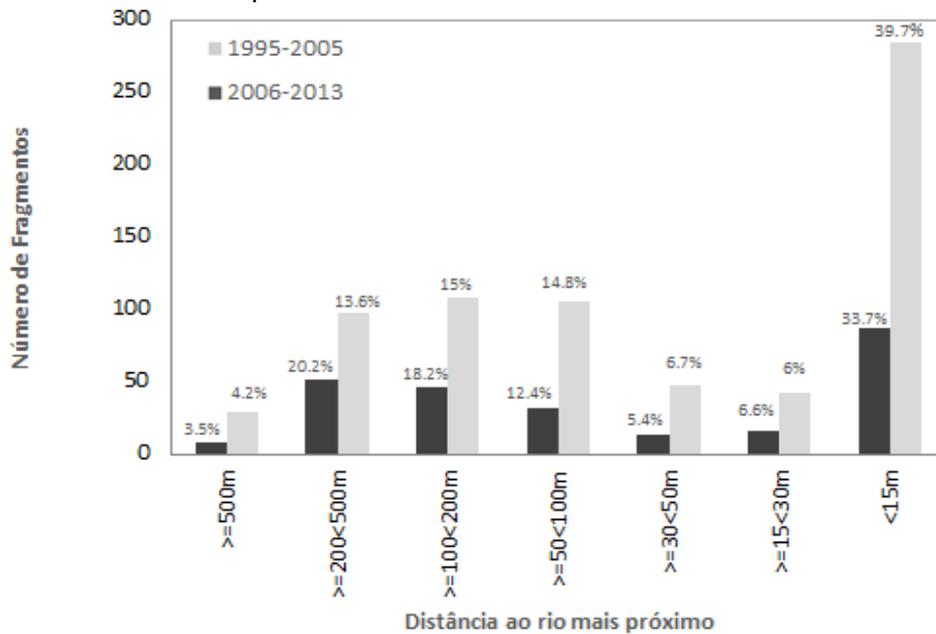
Figura 5.11: Número de fragmentos em relação à distância do rio mais próximo.



Em geral, a distância média em relação ao rio mais próximo diminuiu de 133 m para 131 m de um período para outro. No entanto, a distância média até a borda do fragmento mais próximo aumentou de 78 m para 89 m, indicando que fragmentos que estavam próximos uns dos outros poderiam ter aumento em área e se conectaram ao vizinho mais próximo, formando novos fragmentos. De fato, a área média de fragmentos aumentou de 7,8 m para 8,6 m entre o período I e II.

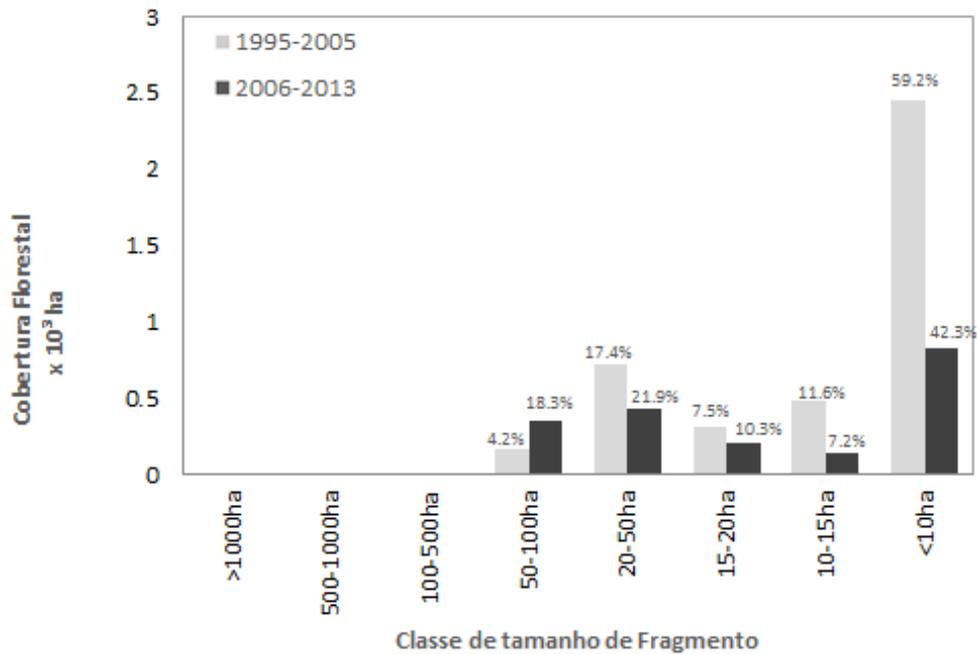
Para a regeneração, a distância ao rio mais próximo dentro dos limites de 15 m, 30 m, 50 m e 100 m foi semelhante em ambos os períodos, por exemplo, mais de 33% dos fragmentos estavam contidos dentro dos primeiros 15 m nos dois períodos, conforme (Figura. 5.12). No primeiro período, 28,6% dos fragmentos estavam contidos dentro do intervalo de 100-500 m, um valor que aumentou para 38,4% dos fragmentos no primeiro e durante o segundo período. Vale ressaltar que não há fragmentos de regeneração florestal superiores a 100 ha, mostrando que, nesta área, a regeneração é um fenômeno que ocorre em áreas de pequeno porte <10 ha e esparsamente pela área de estudo.

Figura 5.12: Número de fragmentos de regeneração em relação à distância ao rio mais próximo.



A maior parte da cobertura florestal da regeneração está em fragmentos de até 10 ha (Figura. 5.13). Fragmentos maiores que 20 ha correspondem a 21.6% e 40.2% nos períodos I e II, respectivamente. É interessante observar que o número total de fragmentos de floresta secundária diminuiu entre um período e outro, de 718 para 258, assim como a área total de regeneração, de 4100 ha para 1900 ha. Cabe ainda ressaltar que não há fragmentos de regeneração florestal superiores a 100 ha, mostrando que, nesta área, a regeneração ocorre em áreas de pequeno porte <10 ha e esparsamente pela área de estudo.

Figura 5.13: Área de regeneração por classe de tamanho de fragmento.



Como a maioria dos fragmentos estava contida nos primeiros 50 m em relação à drenagem mais próxima, a área total dentro do buffer de 30 m e 50 m para remanescentes e regeneração foi analisada, Tabela 5.7. Considerando o buffer de 30 m, existem 15,6% em I e 15,8% em II de fragmentos florestais dentro desse buffer. Este número aumenta para 24,5% e 24,9% para I e II no buffer de 50 m, respectivamente. Este é um padrão diferente da regeneração (florestas secundárias), uma vez que menos de 10% dos fragmentos estão dentro do buffer de 30 m para ambos os períodos, sendo 9,2% e 5,7% o número de fragmentos de floresta secundária contido neste buffer, respectivamente.

Considerando o buffer de 50 m, a área total de regeneração para o período I corresponde a 15,1% e a 9,8% no período II. Esses resultados mostram que há pouca conformidade com o Código Florestal Brasileiro, que diz que a área de preservação permanente em áreas rurais ou urbanas para rios com menos de 10m de largura deve ser de 30 m e 50 m para cursos de água de 10 a 50 m de largura.

Tabela 5.5: Cobertura florestal dentro dos buffers de 30 e 50 m.

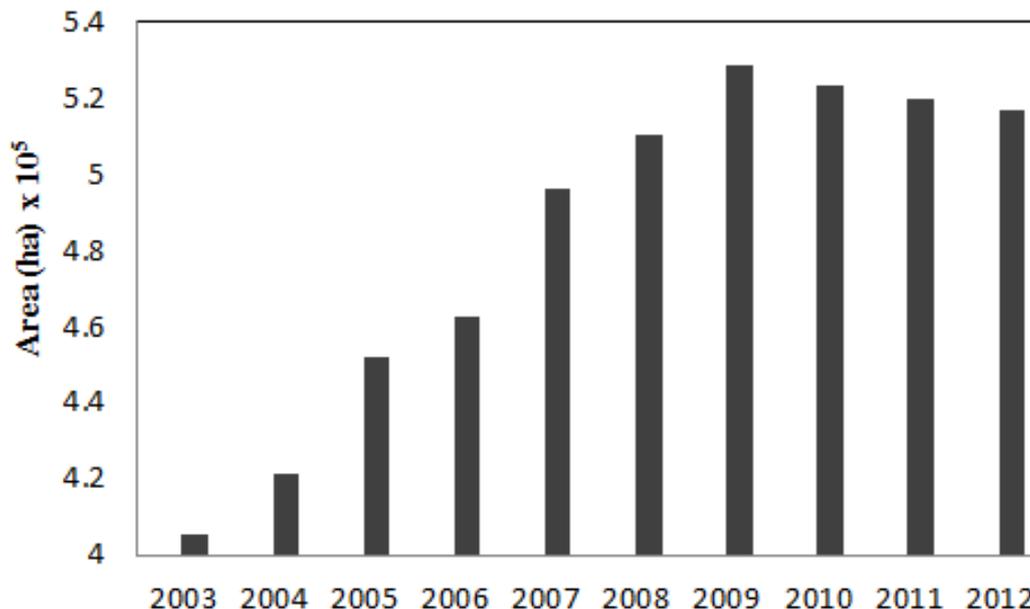
	Cobertura Florestal (hectares)			
	Buffer 30m	% total	Buffer 50m	% total
Remanescentes Florestais 1995- 2005	61412.7	15.6	96652.2	24.5
Remanescentes Florestais 2006- 2013	62865	15.8	99233.3	24.9
Regeneração 1995-2005	378	9.2	620.71	15.1
Regeneração 2006-2013	109	5.7	185.5	9.8

5.5. Mudanças de uso e cobertura da terra de acordo com análises do Censo

Durante o período de estudo, a produção de leite e a área colhida de cítricos (laranja, limão e lima) diminuiu, ao passo que a produção de cana-de-açúcar e produtos da silvicultura aumentou. A produção de cana-de-açúcar aumentou 29.9% entre 1995 e 2006 nos municípios da área, um aumento de 6.6×10^6 toneladas. Curiosamente, a quantidade de cana utilizada na alimentação animal diminuiu 35.1% (IBGE, 2006). A área colhida de cana em 1995 era de 343858 ha e em 2006, esse valor passou para 377112 ha, ou seja, um aumento de 9.7%.

Como os dados do censo não estão disponíveis para o período II, foram utilizadas as máscaras CANASAT para medir o aumento da área plantada de cana na região entre 2003 e 2013 (Figura 5.14). Até 2003, havia mais de 4.6×10^5 ha destinados à produção de cana-de-açúcar, um valor que difere em 22% em relação ao apontado por IBGE (2006) para o mesmo ano. Entre 2003 e 2006, a área plantada de cana aumentou em 14%. Esse aumento foi contínuo e atingiu um máximo em 2009, com $5,3 \times 10^5$ ha. A partir desse ano, a área diminuiu, mas ainda em relação ao ano de 2003, apresentou aumento de 26,5%. Um total de $1,1 \times 10^5$ ha de terra foram convertidos em cana-de-açúcar, um valor que representa 4,3% da área de estudo entre 2003 e 2013.

Figura 5.14: Evolução da área plantada de cana-de-açúcar na área de estudo.

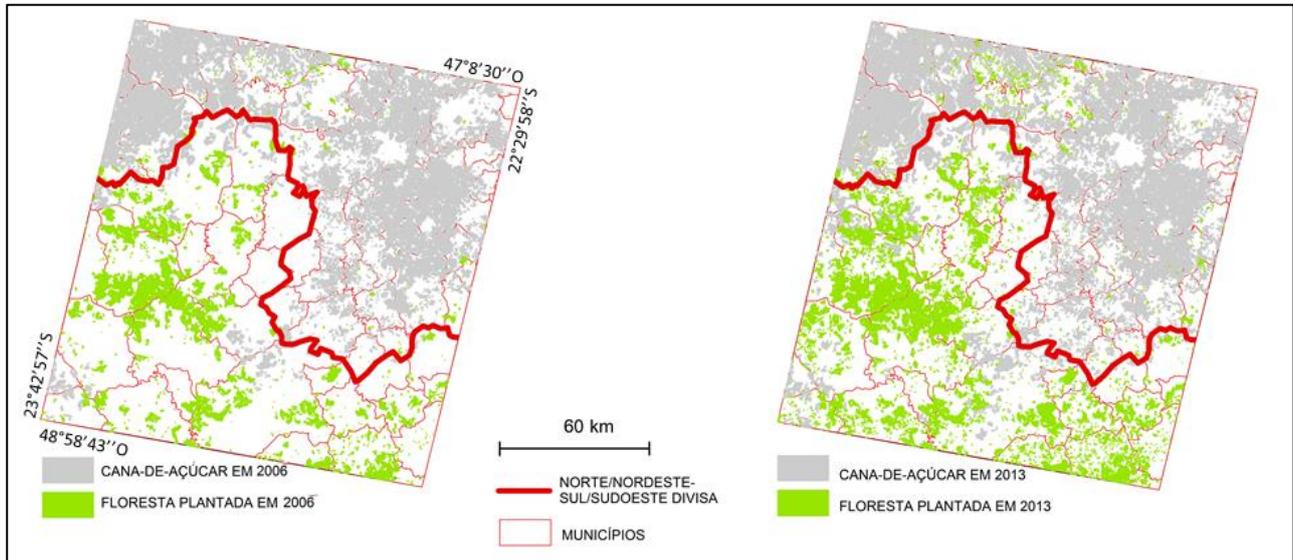


Fonte: CANASAT (2003-2013).

O mapa da Figura 5.15 apresenta a expansão da cana e da silvicultura (florestas plantadas) na área de estudo. As áreas utilizadas para produção de cana estão concentradas no norte e noroeste, região da barragem de Barra Bonita; e região nordeste, em torno do município de Piracicaba. A maior parte da expansão ocorreu perto das áreas já destinadas à produção de cana-de-açúcar, mas há uma expansão para o flanco sudeste da área de estudo.

Por outro lado, as áreas destinadas à silvicultura se concentram na porção sul, região de Pilar do Sul e sudoeste, região da Represa de Paranapanema. A silvicultura avançou principalmente próximo as áreas que já existiam, porém observa-se um aumento na porção centro norte principalmente entre 2006 e 2013.

Figura 5.15: Mapa de evolução da área plantada de cana-de-açúcar e florestas comerciais plantadas na região de estudo.



Para os produtos da silvicultura, Tabela 5.8, os dados do censo mostram um aumento de 590% na produção de mudas de eucalipto e de 265% em produção de lenha entre 1995 a 2006 (IBGE, 1995, 2006). Além disso, a produção de madeira para papel aumentou 333%. Infelizmente, os censos de 1995 e 2006 não registraram a área de floresta plantada em hectares para fins de comparação com área mapeada durante o trabalho. Ainda assim, esses resultados acompanham o aumento da área de floresta plantada, observada com dados de sensoriamento remoto para o mesmo período.

Em 2006, a área destinada ao reflorestamento aumentou 56% em relação a 1995, e considerando o período de 1995 a 2013, houve um aumento de 180% na área coberta por floresta plantada. Em outras palavras, um total de $1,25 \times 10^5$ ha foram convertidos em plantações florestais, o que representa 4,94% da área de estudo.

Tabela 5.6: Produtos de silvicultura entre 1995-2006.

	1995	2006	% de aumento
Lenha (mil m ³)	817	2.981	265
Papel (mil m ³)	1.110	4.807	333
Mudas de Eucalipto (mil unidades)	7.415	51.193	590,4

O valor de produção associado à silvicultura na área de estudo aumentou 511%, passando de R\$ 37,1 milhões em 1995 para R\$ 190,2 milhões em 2006. Para a cana-de-açúcar, o aumento foi de 314%, passando de R\$ 425,5 milhões para R\$ 1,33 bilhão. Em 1995, o valor da produção de cana-de-açúcar na região norte/nordeste foi de R\$ 393,4 milhões, enquanto que na silvicultura foi de R\$ 27 milhões, ou 6,4% em relação à soma do valor da cana-de-açúcar e silvicultura. Em 2006, os valores foram de R\$ 1,17 bilhão e R\$ 74 milhões (5,9%), para a cana-de-açúcar e a silvicultura, respectivamente. A região sul/sudoeste apresentou um valor de produção da silvicultura de R \$ 74 milhões e um valor de produção de cana-de-açúcar de R\$ 27 milhões, ou 26% em 1995. Em 2006, o valor da produção de cana-de-açúcar aumentou para R\$ 28,3 milhões (ou 14,3%), ao passo que o valor da produção da silvicultura mais que duplicou, atingindo R\$ 170,1 milhões. Em relação à renda mensal média familiar rural nestas duas áreas, aumentou 70% (R\$ 848 para R\$ 1442) no sul/sudoeste e 112% (R\$ 862 para R\$ 1836) nos municípios do norte/nordeste entre 2000 para 2010, enquanto a renda mensal média urbana aumentou 87% (R\$ 996 para R\$ 1861) e 85% (R\$ 1196 para R\$ 2210), respectivamente.

Para ambas as regiões, a análise de correlação entre o valor de produção dos principais usos da terra (silvicultura e cana-de-açúcar) e suas variáveis foram calculadas e os resultados são apresentados na Tabela 5.9.

Tabela 5.7: Correlação de Pearson entre os principais usos da terra: silvicultura e cana-de-açúcar e suas variáveis.

	Valor da produção da silvicultura (%)
Madeira para papel (x 10 ³ m ³)	0.8
Lenha (x 10 ³ m ³)	0.92
Mudas de Eucalipto (x 10 ³)	-0.17
Renda rural (R\$)	0.22
Valor da produção da cana-de-açúcar (%)	-0.05
	Valor da produção da cana-de-açúcar (%)
Produção da cana-de-açúcar (tons)	0.76
Cana-de-açúcar para ração animal (tons)	-0.08
Área colhida (hectares)	0.54
Renda rural (R\$)	0.04
Valor da produção da silvicultura (%)	-0.03

Na região sul/sudoeste da área de estudo, a correlação foi alta entre a quantidade de lenha e madeira para papel e o valor da produção da silvicultura. A correlação da renda rural com o valor da produção silvicultura foi baixa, mas positiva; enquanto que para as mudas de eucalipto e o valor da produção de cana-de-açúcar, a correlação foi negativa. Para a região norte/nordeste, a correlação foi relativamente alta entre a produção de cana-de-açúcar e a área colhida, mas negativa para a cana-de-açúcar utilizada na alimentação animal e para o valor da produção silvicultura. A correlação entre a renda rural e o valor da produção de cana-de-açúcar foi muito baixa.

A análise do censo para a produção de citros entre 1995 e 2006, (Tabela 5.9) mostra que, em geral, a área colhida diminuiu 32,4%, de $6,2 \times 10^4$ ha para $4,2 \times 10^4$ ha. A quantidade total de produção de laranja diminuiu 28,48%. No entanto, a produção em pequenos estabelecimentos agrícolas (menores que 10 ha) aumentou 65%. Na área plantada de limão, houve uma queda de 76,6%, mas a produção em estabelecimentos menores aumentou 187%, de 31 ha para 89 ha. A produção de bergamota/tangerina diminuiu 76%, com a produção em pequenas propriedades (<5 ha) aumentando em 408%, de 51 ha para 239 ha. Estes resultados indicam que a produção de cítricos em áreas maiores pode ter sido alocada para outras áreas do estado e que os pequenos detentores

são parcialmente responsáveis por manter a atividade pelo menos para o primeiro período de análise.

Tabela 5.8: Área colhida de produtos da citricultura.

	Área colhida (ha)		Variação (%)
	1995	2006	
Laranja	57.577,63	41.174	-28,5%
Lima	26,62	5	-81,2%
Limão	1.178,064	269	-76,6%
Tangerina	3.911,99	935	-76,1%

As duas últimas categorias analisadas foram a produção de leite e a área coberta de pastagem. A produção de leite diminuiu 23,6% na área de estudo entre 1995 e 2006, indicando que a área destinada a manter o gado leiteiro diminuiu. O mesmo aconteceu com a área de pastagem, que diminuiu 23% do primeiro período para o segundo, representando uma diminuição na área de $2,1 \times 10^5$ ha, ou 8.3% da área de estudo.

A análise dos censos demográficos mostrou que houve uma diminuição de 21,2% na população rural entre 1995 e 2010, ao passo que houve um aumento de 25,6% na população urbana. As áreas rurais perderam $7,1 \times 10^4$ habitantes e as áreas urbanas ganharam $7,1 \times 10^5$ habitantes, um valor dez vezes superior à perda registrada em áreas rurais. No período de 2000 a 2010, a renda média nas áreas urbanas aumentou 86%, passando de R \$ 1152,6 para R \$ 2144,3; e em áreas rurais 51,2%, de R\$ 1138,2 para R \$ 1721,2. A diferença de renda entre habitantes urbanos e rurais em 2000 foi de 1,3%, mas aumentou para 24,6% em 2010.

6 DISCUSSÕES

A regeneração acumulada entre 1995 e 2013 na área de estudo contribuiu apenas com uma pequena parcela do total da cobertura florestal, enquanto o crescimento das áreas de floresta plantada de 1.26×10^5 ha (21.17% da cobertura florestal) dominou os processos de crescimento da área de cobertura florestal (Tabela 5.1). Dessa forma, os resultados indicam que a maior parte dos ganhos de cobertura florestal vem do reflorestamento e revelam uma dinâmica diferente das observadas por Ferreira et al. (2015) na parte oeste do Estado de São Paulo em Presidente Prudente e mais próxima daquela reportada por Silva et al. (2017) para a região do Vale do Paraíba, que também encontrou grandes áreas de florestas plantadas comerciais. Entretanto, em Silva et al. (2017) o crescimento de florestas plantadas comerciais não foi o principal e sim, a cobertura de florestas naturais, que teve um crescimento muito superior. Pode-se acrescentar, como parâmetro de comparação com os 1.26×10^5 ha de floresta plantada e 6×10^3 (ha) de regeneração reportados neste trabalho, que Ferreira et al (2015) encontraram aumento de floresta plantada de 0.3×10^3 ha e regeneração de 2.9×10^3 ha entre 1986 e 2009, enquanto os trabalhos no Vale do Paraíba observaram aumento na área de floresta plantada de 167.3% entre 1985 e 2011, sendo que a área de eucalipto aumentou de 35.3×10^3 ha para $83,3 \times 10^3$ ha. (SILVA et al., 2017).

De acordo com Silva (2013), a produção de madeira derivada de florestas plantadas aumentou 145% entre 1990 e 2010 no Brasil. Em 2005, a área coberta com floresta plantada no estado de São Paulo era aproximadamente $0,95 \times 10^6$ ha e em 2013, aproximadamente $1,18 \times 10^6$ ha (ABRAF, 2006; 2012). Se considerarmos que houve um aumento de $0,23 \times 10^6$ ha entre 2005 e 2013, pelo menos metade desse crescimento ocorreu dentro da área de estudo. Além disso, entre 2000 e 2012, o rendimento médio dos ativos florestais brasileiros, conforme medido pela empresa IRT-Pöyry foi de 7,3% a.a., um indicador superior à inflação do período e também superior ao rendimento de outros investimentos de

baixo risco, como poupança (5,5% ao ano) (ABRAF, 2012). Portanto, a boa rentabilidade dos produtos derivados da madeira pode ser considerada um importante fator para explicar a expansão de $1,26 \times 10^5$ ha de reflorestamento dentro da área de estudo.

Em relação ao total da classe de remanescentes mapeados na área de estudo, o valor estimado de 15.6% no primeiro período e de 15.8% no segundo estão abaixo dos 20% estabelecidos pelo Código Florestal Brasileiro (Lei 4.771 / 65) para a Mata Atlântica.

Em geral, os índices de métricas da paisagem apontam para um aumento na conexão e proximidade entre os fragmentos. Este resultado pode indicar que a área apresenta potencial para a aplicação de políticas públicas para permitir a instalação de corredores ecológicos e beneficiar espécies ameaçadas de extinção. Além disso, como a maioria dos fragmentos estão dentro da Reserva Legal estabelecida pelo Código Florestal Brasileiro, teoricamente seria mais viável o cumprimento da lei.

Para a análise dos censos, os resultados corroboram com Ferreira et al (2015), que também encontraram uma diminuição na produção de leite e na área de pastagem e um aumento na produção de cana-de-açúcar na região de Presidente Prudente. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Camara e Caldarelli (2016), que reportam que a expansão da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo entre 1995 a 2013 provocou a diminuição das áreas de pastagem, especialmente as cultivadas, bem como afetou a área destinada às culturas temporárias e permanentes. De fato, a diminuição da área de pastagem cultivada na região de estudo foi de 56%, e a redução nas culturas permanentes, como laranja, tangerina e lima, foi de 32,4%.

Considerando a análise de correlação dos produtos da cana-de-açúcar e da silvicultura com o valor da produção de ambos esses setores, é importante destacar que a silvicultura tem uma influência significativa na renda rural para a região sul/sudoeste, ao passo que aparentemente a cana-de-açúcar contribuiu pouco na renda da região norte/nordeste. Esse

resultado pode estar relacionado à taxa de expansão de ambas as culturas dentro da área de estudo. Não se pode afirmar veementemente, mas a produção de cana aparenta ser cultivada há mais anos nesta região. Se a cana-de-açúcar desempenhou um papel significativo na renda rural, essa importância pode ter sido registrada em censos anteriores, e, portanto, não apareceu nestas análises.

A análise de correlação também mostra que, à medida que o valor de produção para silvicultura aumenta a produção de lenha e madeira para papel também aumenta. A exceção foi a variável 'mudas de eucalipto', que embora tenha aumentado 590% de acordo com os censos agropecuários, apresentou baixa correlação com o valor da produção. Esse resultado está associado à concentração da produção de mudas em alguns municípios, como por exemplo, Paranapanema, que concentrou 81% da produção de mudas para toda a área de estudo em 2006.

A área colhida de cana-de-açúcar e sua produção aumentaram à medida que o valor da produção associado à cana-de-açúcar aumentou. Esses resultados corroboram com a tendência em outras regiões do estado de São Paulo em relação ao aumento da área para suprir a demanda por etanol (Rudorff et al., 2010). A correlação negativa da cana-de-açúcar utilizada na alimentação animal acompanha a diminuição da produção de leite relatada nos censos. Tanto as diminuições da produção de leite como a cana-de-açúcar utilizada na alimentação animal indicam que o rebanho bovino pode estar perdendo espaço na área de estudo.

A principal ideia relacionada a transição florestal se refere à "escassez de produtos florestais" quanto "do desenvolvimento econômico" (RUDEL et al., 2005) parecem estar associadas à teoria de transição florestal nesta região, pois o aumento das plantações de floresta e seus produtos nos últimos anos vêm fornecendo madeira para os mercados nacional e internacional, retirando pressão sobre a cobertura florestal original restante.

Em menor grau, existem fatores que levam a crer os casos de regeneração de floresta secundária podem estar relacionados ao caminho do “desenvolvimento econômico”. O primeiro deles é referente à perda da população rural para os centros urbanos que buscam melhores condições de trabalho, o que levaria à escassez na força de trabalho no campo, seguido do aumento salarial rural, tornando a atividade agrícola em áreas remotas não lucrativas. Como resultado, regiões de pousio, pastagem e os campos seriam deixados para a regeneração da floresta. Como apontado por Matter e Needdle (1998). Embora a renda média mensal nas áreas rurais tenha aumentado mais do que a renda urbana em 12%, as áreas rurais perderam 21,2% de sua população entre 1991 e 2010. O segundo fator que corrobora com a ideia “do desenvolvimento econômico” está relacionado ao aumento da renda média mensal nas áreas rurais, que segundo Chowdhury e Moran (2012), estaria relacionado à diminuição da degradação no meio ambiente. Entretanto, ainda é cedo para afirmar veementemente que ocorre uma transição florestal de florestas secundárias na região. O que certamente está ocorrendo na região é que esta atingiu o ponto de inflexão, com o desenvolvimento econômico, aumento do poder aquisitivo e acesso a bens e serviços, como educação.

Em relação às conversas com produtores durante o trabalho de campo, foi possível traçar paralelo entre o avanço/diminuição de algumas culturas em relação a outras. Por exemplo, a conversa com os produtores de leite evidenciou que a atividade é familiar no sul da região de estudo, e que estes produtores enfrentam alguns problemas, como a falta de assistência especializada e as incertezas em relação ao futuro da produção, principalmente por mudanças na dinâmica rural-urbana, onde as cidades passam a ser atrativas para os filhos dos produtores, que não querem engajar na atividade desempenhada pelos pais. Essa realidade é expressa nos censos através da perda de indivíduos para as cidades e queda na produção do leite na região.

No que tange à conversa com o representante do IPEF e da COPLACANA, foi possível averiguar a importância que estas culturas têm na região. No caso da COPLACANA, a cooperativa possui grande raio de abrangência, principalmente no norte/nordeste da região, e atende 3.780 produtores exclusivamente de cana, um número que chega a 14.000 considerando outras culturas. Já o IPEF atua na região desde 1968, e funciona como um catalisador para o desenvolvimento de tecnologias, unindo especialistas e empresas privadas do ramo de produção florestal em pesquisas cooperativas.

A conversa com os representantes da COPLACANA, das usinas de cana-de-açúcar Granelli e Zambianco apontaram para o aumento produção e área plantada de cana entre 1995-2013, com máximo em 2013. A conversa com os operadores da balsa da represa de Paranapanema evidenciou o crescimento constante das áreas destinadas ao reflorestamento principalmente após 2007.

7 CONCLUSÕES

Este trabalho procurou atender dois objetivos principais: investigar a hipótese de uma transição florestal em andamento na área de estudo e caracterizar as principais mudanças de uso e cobertura na porção centro-sul do Estado de São Paulo. Em relação ao primeiro objetivo, os resultados mostraram que a área total coberta de floresta na área de estudo aumentou 29% entre 1995 a 2013, indicando uma transição florestal relativamente importante em relação a outras áreas. No entanto, esse aumento foi causado principalmente pelo avanço da silvicultura, especialmente pela expansão da área de florestas comerciais plantadas na região, enquanto a regeneração (floresta secundária) representou apenas uma pequena fração da área total. Neste caso, o grande aumento na área de floresta plantada foi similar ao encontrada na região do Vale do Paraíba por Silva et al. (2017)), com a exceção de que nessa região a regeneração natural foi consideravelmente maior.

Quanto ao segundo objetivo, a combinação dos dados do censo com os resultados da classificação da imagem sugeriu a ocorrência de dois grandes sistemas de produção agrícola na área de estudo: silvicultura e cana-de-açúcar. As áreas de floresta nas regiões de predomínio da cana-de-açúcar não apresentaram aumento importante na cobertura florestal, ao passo que onde ocorre a concentração de florestas comerciais plantadas uma transição florestal associada a esta atividade ocorreu. Além disso, a análise das métricas da paisagem mostrou que a área de estudo apresentou aumento da conectividade entre fragmentos, com a maioria dos fragmentos de remanescentes e de regeneração distantes no máximo 50m dos rios mais próximos.

Durante o desenvolvimento deste estudo, o processo de mapeamento e validação da transição florestal revelou-se bastante desafiador devido à confusão espectral entre classes de cobertura vegetal, e mostrou que deve ser dada significativa atenção à seleção das melhores bandas espectrais a serem usadas, bem como sua quantidade e ao processo de edição e validação. A confusão espectral pode ser minimizada incluindo-

se mais bandas espectrais e mais anos na análise. A verificação constante dos dados da série temporal de imagens também foi crucial para validar transições florestais e melhorar o conhecimento sobre a resposta espectral dos diferentes usos da terra na área de estudo.

A combinação de dados de sensoriamento remoto e dos censos agrícola e demográfico pode ser considerada útil para compreender os processos em curso dentro da área de estudo. Além disso, algumas mudanças relatadas nos censos, como o aumento da produção de cana-de-açúcar e o aumento da área de floresta plantada, foram observadas utilizando-se sensoriamento remoto. No entanto, a metodologia adotada não teria permitido estimar a área de pastagens convertidas para floresta plantada ou cana-de-açúcar, nem de áreas de agricultura permanente (citros) em outros usos. Pode-se recomendar, assim, que estudos posteriores procurem focar nessas transformações. Os resultados obtidos pela estimativa das métricas da paisagem podem ser utilizadas como subsídios para políticas públicas de conservação da vegetação, em particular, das matas de galeria. Como uma observação final, mudanças de larga escala na agricultura, nesta área de estudo, estão definitivamente associadas às mudanças na paisagem e a Teoria de Transição Florestal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGROSATÉLITE APPLIED GEOTECHNOLOGY LTD. **Geospatial analyses of the annual crops dynamic in the brazilian cerrado biome: 2000 to 2014**. Florianópolis: Agrosatélite, 2015.

ADAMI, Marcos et al. Remote sensing time series to evaluate direct land use change of recent expanded sugarcane crop in Brazil. **Sustainability**, v. 4, n. 4, p. 574-585, 2012.

ALVES, Diógenes S. Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 14, p. 2903-2908, 2002.

ALVES, Diogenes Salas et al. Land use intensification and abandonment in Rondônia, Brazilian Amazônia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 4, p. 899-903, 2003.

ALVES, Diógenes Salas , COSTA, Wanderley Messias; BECKER, Bertha K. **Dimensões humanas da biosfera-atmosfera na Amazônia**. São Paulo: EdUSP, 2007.

ALVES, Diogenes S. et al. The changing rates and patterns of deforestation and land use in Brazilian Amazonia. In: KELLER, Michael et al. (Eds.). **Amazonia and Global Change**, Washington: AGU, 2009. p. 11-23.

ALVES, Diógenes S. O processo de desmatamento na Amazônia. **Parcerias Estratégicas**, v. 6, n. 12, p. 259-275, 2010.

ANDRADE, J.T.; SILVA, J.A. Categorias de florestas estabelecidas nos Códigos Florestais de 1934 e 1965. **Floresta e Ambiente**, v.10, n.2, p.78–86, 2003.

BEILIN, Ruth et al. Analysing how drivers of agricultural land abandonment affect biodiversity and cultural landscapes using case studies from Scandinavia, Iberia and Oceania. **Land Use Policy**, v. 36, p. 60-72, 2014.

BENEVIDES, Gustavo. **Polos de desenvolvimento e a constituição do ambiente inovador**: uma análise sobre a região de Sorocaba. 2012. 261 f. Tese (Doutorado em administração) - Universidade Municipal de São Caetano do Sul, São Caetano do Sul, 2012. Disponível em: <http://www.uscs.edu>.

BAUMANN, Matthias et al. Using the Landsat record to detect forest-cover changes during and after the collapse of the Soviet Union in the temperate zone of European Russia. **Remote Sensing of Environment**, v. 124, p. 174-184, 2012.

BECKER, Bertha K. A Amazônia na estrutura espacial do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 36, n. 2, p. 3-36, 1974.

BLEYHL, Benjamin et al. Assessing landscape connectivity for large mammals in the Caucasus using Landsat 8 seasonal image composites. **Remote Sensing of Environment**, v. 193, p. 193-203, 2017.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Atlântica, e dá outras providências. Brasília: MMA, 2006.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Mata Atlântica**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atlantica> . Acesso em: 07 fev. 2017.

BROWDER, John O. et al. Revisiting theories of frontier expansion in the Brazilian Amazon: a survey of the colonist farming population in Rondonia's post-frontier, 1992–2002. **World Development**, v. 36, n. 8, p. 1469-1492, 2008.

BROWN, Sandra; LUGO, Ariel E. Tropical secondary forests. **Journal of tropical ecology**, v. 6, n. 1, p. 1-32, 1990.

- BRUDVIG, Lars A. et al. Landscape connectivity promotes plant biodiversity spillover into non-target habitats. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 23, p. 9328-9332, 2009.
- CAMARA, Marcia R. G. da; CALDARELLI, Carlos E. Expansão canavieira e o uso da terra no estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 88, p. 93-116, 2016.
- CEPAGRI-UNICAMP. CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_291.html. Acesso em: 22 dez. 2017.
- CHOWDHURY, Rinku Roy; MORAN, Emilio F. Turning the curve: a critical review of Kuznets approaches. **Applied Geography**, v. 32, n. 1, p. 3-11, 2012.
- CONGALTON, Russell G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 37, n. 1, p. 35-46, 1991.
- CONGALTON, R.G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. 2.ed. New York: Lewis Publishers, 2009. 183 p.
- CPA - COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL. Rede de drenagem do Estado de São Paulo obtida por processo automático a partir da base do Projeto Gisat. São Paulo: Governo do Estado, 2010.
- DE FREITAS, Marcos Wellausen Dias; DOS SANTOS, João Roberto; ALVES, Diógenes Salas. Land-use and land-cover change processes in the Upper Uruguay Basin: linking environmental and socioeconomic variables. **Landscape Ecology**, v. 28, n. 2, p. 311-327, 2013.
- DE HOLANDA, Sérgio Buarque et al. **Raízes do Brasil**. São Paulo: J. Olympio, 1995.

- DE MORAES, Antônio Carlos Robert. Bases da formação territorial do Brasil. **Geografães**, n. 2, p.105-113, 2001.
- DE OLIVEIRA SOUZA, André; ARRUDA, Emerson Martins. Anomalias de drenagem no Ribeirão dos Rodrigues: contribuições sobre a geomorfologia da região de Sorocaba-SP. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 29, p. 191-211, 2015.
- DE SOUZA, Edson Prates; ARRUDA, Emerson Martins. A abordagem geossistêmica na compreensão da dinâmica ambiental na bacia hidrográfica do Rio Ipanema, região de Sorocaba-SP. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. (Orgs.). **Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento**. Campinas: UNICAMP, 2017. p. 501-511.
- EHLERS, E.M. **Determinantes da recuperação da Mata Atlântica no Estado de São Paulo**. 354p.Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- ESPINDOLA, Giovana M de. et al. Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on remote sensing and census data. **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 240-252, 2012.
- FARINACI, Juliana Sampaio et al. Variação na cobertura vegetal nativa em São Paulo: um panorama do conhecimento atual. **Revista Árvore**, v.36, n.4, p.695-705, 2012.
- FERREIRA, Matheus P.; ALVES, Diógenes S.; SHIMABUKURO, Yosio E. Forest dynamics and land-use transitions in the Brazilian Atlantic Forest: the case of sugarcane expansion. **Regional Environmental Change**, v. 15, n. 2, p. 365-377, 2015.
- FINEGAN, B. The management potential of neotropical secondary lowland rainforest. **Forest Ecology and Management**, v. 47, n. 1-4, p. 295-321, 1992.
- GEIST, Helmut J.; LAMBIN, Eric F. **What drives tropical deforestation**. Brussels: Lucc, 2001. 116p. (Lucc Report Series, 4).

GROOM, Geoff et al. Remote sensing in landscape ecology: experiences and perspectives in a European context. **Landscape Ecology**, v. 21, n. 3, p. 391-408, 2006.

HAILA, Yrjö. A conceptual genealogy of fragmentation research: from island biogeography to landscape ecology. **Ecological Applications**, v. 12, n. 2, p. 321-334, 2002.

HANSEN, Matthew C.; LOVELAND, Thomas R. A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, v. 122, p. 66-74, 2012.

HARTSHORN, Gary S. Tree falls and tropical forest dynamics. **Tropical Trees as Living Systems**, v. 617, p. 638, 1978.

HASSAN, Zahra et al. Dynamics of land use and land cover change (LULCC) using geospatial techniques: a case study of Islamabad Pakistan. **SpringerPlus**, v. 5, n. 1, p. 1-11, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 1995-1996**. Rio de Janeiro: IBGE, 1998. Disponível em: <http://www2.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp?e=c&p=CA&z=t&o=3>. Acesso em: 1 dez. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário 2006**: resultados preliminares. IBGE, 2006. Disponível em: <http://www2.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp?e=c&p=CA&z=t&o=3>. Acesso em: 1 dez. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2000**. Disponível em: <http://www2.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo> . Acesso em: 1 dez. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2003**: estimativa da população. Disponível em: <http://www2.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo> . Acesso em: 1 dez. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2007**: estimativa da população. Disponível em:

<http://www2.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo> . Acesso em: 1 dez. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2010**: estimativa da população. Disponível em:

<http://www2.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo>. Acesso em: 10 jan. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 2014**: estimativa da população. Disponível em:

<http://www2.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo> . Acesso em: 10 jan. 2018.

JENSEN, John R.; EPIPHANIO, José Carlos Neves. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

KANIANSKA, Radoslava et al. Land-use and land-cover changes in rural areas during different political systems: a case study of Slovakia from 1782 to 2006. **Land Use Policy**, v. 36, p. 554-566, 2014.

KLEIN, Herbert S. A oferta de mares no Brasil central: o mercado de Sorocaba, 1825-1880. **Estudos Econômicos**, v. 19, n. 2, p. 347-372, 1989.

LAMBIN, Eric F. et al. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. **Global environmental change**, v. 11, n. 4, p. 261-269, 2001.

LAMBIN, Eric F.; GEIST, Helmut. Land-use and land-cover change : local processes and global impacts. New York: Springer, 2006.

LAMBIN, Eric F.; MEYFROIDT, Patrick. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. **Land use policy**, v. 27, n. 2, p. 108-118, 2010.

LANA, Rita de Cássia. Da edra e cal ao intangível: paisagem cultural e educação patrimonial na região de Sorocaba-SP. In: SILVA, C.H.C.;

- SILVA, E. N. (Orgs.). **Chão da terra: olhares, reflexões e perspectivas geográficas de Sorocaba**. Curitiba: CRV, 2016. 238p.
- LAWRENCE, David M. et al. The Land Use Model Intercomparison Project (LUMIP) contribution to CMIP6: rationale and experimental design. **Geoscientific Model Development**, v. 9, n. 9, p. 2973, 2016.
- LEE RODGERS, Joseph; NICEWANDER, W. Alan. Thirteen ways to look at the correlation coefficient. **The American Statistician**, v. 42, n. 1, p. 59-66, 1988.
- LI, X.; LU, L.; CHENG, G.; XIAO, H. Quantifying landscape structure of the Heihe River Basin, north-west China using FRAGSTATS. **Journal of Arid Environments**, v.48, n.4, p.521-535, 2001.
- LIRA, Paula K. et al. Land-use and land-cover change in Atlantic Forest landscapes. **Forest Ecology and Management**, v. 278, p. 80-89, 2012.
- Lu, D., Li, G., Moran, E., & Hetrick, S. Vegetation Change Detection in the Brazilian Amazon with Multitemporal Landsat Images. **Remote Sensing of Natural Resources**, 127-140, 2013.
- MACHADO, Lia. A fronteira agrícola na Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 54, n. 2, p. 1 - 120, abr./jun. 1992.
- MARGULIS, Sergio. **Causes of deforestation of the Brazilian Amazon**. Washington: World Bank Publications, 2004.
- MARTINS, Sebastião Venâncio et al. **Potencial de regeneração natural de florestas nativas nas diferentes regiões do Estado do Espírito Santo**. Vitória: CEDAGRO, 2014.
- MARTINS, A; ENGEL, V. Soil seed banks in tropical forest fragments with different disturbance histories in southeastern Brazil. **Ecological Engineering**,v. 31, n. 3, p. 165-174, 2007.
- MATHER, Alexander S. The forest transition. **Area**, v.4, n.4, p. 367-379, 1992.

MATHER, Alexander S.; NEEDLE, C. L. The forest transition: a theoretical basis. **Area**, v. 30, n. 2, p. 117-124, 1998.

MCGARIGAL, Kevin; MARKS, Barbara J. **FRAGSTATS**: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland, OR: US Department of Agriculture, Forest Service, 1995. 122p.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **Dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo**. São Paulo: USP, 1973.

MORAN, Emilio F. BRONDIZIO, Eduardo. Land-use change after deforestation in Amazonia. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL et al. **People and pixels**: linking remote sensing and social science. Washington: National Academies Press, 1998. p.94-120.

MOREIRA, R. C. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação**. 2000. 179 p. (INPE-7528-TDI/735). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos. 2000. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/deise/2000/11.06.10.01>>. Acesso em: 20 fev. 2011.

MORRISON, Wayne M. China's economic rise: history, trends, challenges, and implications for the United States. **Current Politics and Economics of Northern and Western Asia**, v. 22, n. 4, p. 461, 2013.

MORTON, Douglas C. et al. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 39, p. 14637-14641, 2006.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A.; Kent, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v.403, n.6772, p.853, 2000.

NEWTON, Adrian C. et al. Remote sensing and the future of landscape ecology. **Progress in Physical Geography**, v. 33, n. 4, p. 528-546, 2009.

- NOVO, E.M.L. de M. **Sensoriamento remoto**: princípios e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher, 2011. 388p.
- PERZ, Stephen G. Grand Theory and Context-Specificity in the Study of Forest Dynamics: Forest Transition Theory and Other Directions. **The Professional Geographer**, v. 59, n. 1, p. 105-114, 2007.
- PONTIUS JUNIOR, Robert Gilmore; MILLONES, Marco. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 15, p. 4407-4429, 2011.
- PRODES. PROJETO DE ESTIMATIVA DO DESFLORESTAMENTO DA AMAZÔNIA. **Taxas anuais de desmatamento na Amazônia Legal Brasileira** (AMZ). 2017. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/dashboard/prodes-rates.html>. Acesso em: mar. 2017.
- REIS, A.; TRES, D.R.; BECHARA, F. C. A Nucleação como novo paradigma na restauração ecológica: “espaço para o imprevisível”. In: SIMPÓSIO SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS COM ÊNFASE EM MATAS CILIARES, 12. 2006, São Paulo, Brasil. **Anais...** São Paulo, 2006.
- RICHARDS, J. A.;e JIA, X. **Remote sensing digital image analysis**. 4.ed. Canberra: Springer, 2006. 439p.
- ROSS, Jurandyr Luciano Sanches; MOROZ, Isabel Cristina. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 10, p. 41-58, 2011.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: ERTS Symposium, 3., **Proceedings...** Washington, DC: NASA, 1973. v. 1, p. 309-317.

RUDEL, Thomas K. et al. Agricultural intensification and changes in cultivated areas, 1970–2005. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 49, p. 20675-20680, 2009.

RUDEL, Thomas K. et al. Forest transitions: towards a global understanding of land use change. **Global Environmental Change**, v. 15, n. 1, p. 23-31, 2005.

RUDORFF, Bernardo Friedrich Theodor et al. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat data. **Remote Sensing**, v. 2, n. 4, p. 1057-1076, 2010.

SANTOS, Rodolfo Cristiano Martins; PÁGLIA, Adriano. **Mata Atlântica: características, biodiversidade e a história de um dos biomas de maior prioridade para conservação e preservação de seus ecossistemas**. Porto Alegre: Centro Universitário Metodista, 2014. (Acervo pessoal).

SHIMABUKURO, Yosio Edemir; SMITH, James A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20, 1991.

SILVA, Alindomar Lacerda; SILVA, Edelci Nunes. Análise higrótérmica do campo e da cidade durante a passagem de um sistema frontal no período de inverno, Sorocaba, SP. **Revista Geonorte**, v.2, n.5, p.123–134, 2012.

SILVA, Alindomar Lacerda; SILVA, Edelci Nunes. Aspectos do campo higrótérmico e a formação da ilha de calor urbana no município de Sorocaba-SP, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, n. esp., p. 39-50, 2016.

SILVA, Alindomar L.; TORRES, Catherine A; WIEDERKEHR, Natália C.; RIBEIRO, Renata M.; KORTING, Thales Z. Application of the Linear Spectral Mixture Model in vegetation change detection based on the Green Vegetation Index. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto –SBSR**. ISBN: 978-85-17-00088. Pág. 2592-2599, 2017.

SILVA, Bruno Kanieski da. **Investments in timberland**: investors' strategies and economic perspective in Brazil. 2013. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013. doi:10.11606/D.11.2013.tde-29052013-172813.

SILVA, José M. C.; CASTELLI, Carlos H. M. Estado da biodiversidade da Mata Atlântica brasileira. In: GALINGO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. **Mata Atlântica**: biodiversidade, ameaças e perspectivas. Belo Horizonte: Fundação SOS Mata Atlântica, 2005. p. 43-60.

SILVA, R. F. B. da; BATISTELLA, M.; MORAN, E. F.; LU, D. Land changes fostering Atlantic forest transition in Brazil: evidence from the Paraíba Valley. **The Professional Geographer**, v.69, n.1,p.80-93, 2017.

SILVA, R. F. B. da; BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. Drivers of land change: human-environment interactions and the Atlantic forest transition in the Paraíba Valley, Brazil. **Land Use Policy**, v. 58, p. 133-144, 2016.

SOS MATA ATLÂNTICA; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS . **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2005-2008**: relatório parcial. São Paulo: Fundação SOS Mata atlântica, 2009.

SOS MATA ATLÂNTICA. **Relatório anual**: 2015. São Paulo, SOS Mata Atlântica, 2015.

TAVARES, R. O clima de Sorocaba-SP: aspectos regionais, locais e urbanos. In: UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (Ed.). **Os climas das cidades brasileiras**. Presidente Prudente:Unesp, 2002. p. 115-143.

TREITZ, P. M.; HOWARTH, P. J. Hyperspectral remote sensing for estimating biophysical parameters of forest ecosystems. **Progress in Physical Geography**, v. 23, n. 3, p. 359–390, 1999.

TRITSCH, Isabelle; LE TOURNEAU, François-Michel. Population densities and deforestation in the Brazilian Amazon: new insights on the

current human settlement patterns. **Applied Geography**, v. 76, p. 163-172, 2016.

TSO, B.; MATHER, P.M. **Classification methods for remotely sensed data**. Boca Raton: CRC Press, 2009.

URBAN, Dean; KEITT, Timothy. Landscape connectivity: a graph-theoretic perspective. **Ecology**, v. 82, n. 5, p. 1205-1218, 2001.

USGS. **Landsat 4-7**: surface reflectance product guide. 2017. Disponível em:
https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/ledaps_product_guide.pdf.

USGS. **Landsat 8**: surface reflectance product guide., 2016. Disponível em:
https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/provisional_lasrc_product_guide.pdf.

VAZ, A.M.S.F. et al. **Manual técnico da vegetação brasileira**: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamento. 2.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. Classificação da vegetação Brasileira adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

VIERA, Anthony J. et al. Understanding interobserver agreement: the kappa statistic. **Family Medicine**, v. 37, n. 5, p. 360-363, 2005.

WALKER, Robert. Mapping process to pattern in the landscape change of the Amazonian frontier. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 93, n. 2, p. 376-398, 2003.

WALKER, Robert. Theorizing land-cover and land-use change: the case of tropical deforestation. **International Regional Science Review**, v. 27, n. 3, p. 247-270, 2004.

WALKER, Robert et al. Ranching and the new global range: Amazônia in the 21st century. **Geoforum**, v. 40, n. 5, p. 732-745, 2009.

WALKER, Robert. The scale of forest transition: Amazonia and the Atlantic forests of Brazil. **Applied Geography**, v. 32, n. 1, p. 12-20, 2012.

WALKER, Robert; SOLECKI, William. Theorizing land-cover and land-use change: the case of the Florida Everglades and its degradation. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 94, n. 2, p. 311-328, 2004.

WU, Jianguo. Key concepts and research topics in landscape ecology revisited: 30 years after the Allerton Park workshop. **Landscape Ecology**, v. 28, n. 1, p. 1-11, 2013.

YU, X.; NG, C. An integrated evaluation of landscape change using remote sensing and landscape metrics: a case study of Panyu, Guangzhou. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 6, p. 1075-1092, 2006.

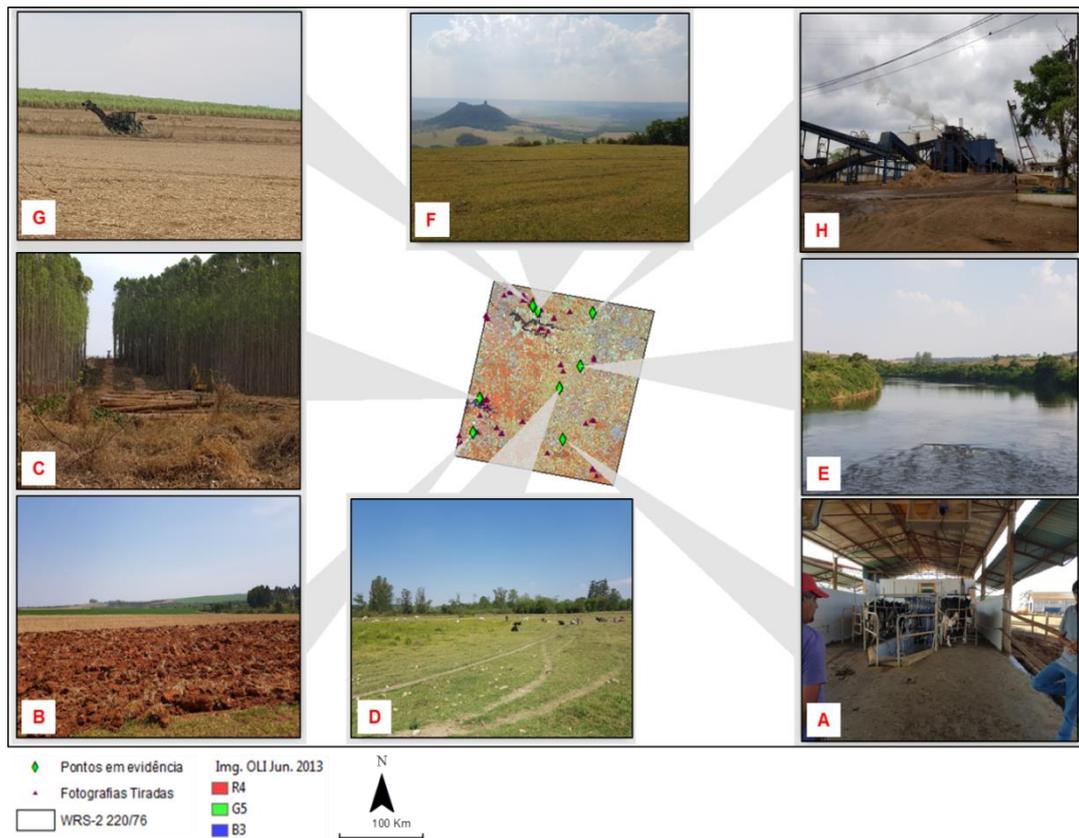
ZHANG, Jialong et al. Using Landsat thematic mapper records to map land cover change and the impacts of reforestation programmes in the borderlands of southeast Yunnan, China: 1990–2010. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 31, p. 25-36, 2014.

ZHU, Zhe et al. Including land cover change in analysis of greenness trends using all available Landsat 5, 7, and 8 images: a case study from Guangzhou, China (2000–2014). **Remote Sensing of Environment**, v. 185, p. 243-257, 2016.

APÊNDICE A - NARRATIVA DO TRABALHO DE CAMPO

Os resultados das entrevistas de campo serão apresentados de forma cronológica, começando dia 24 de Setembro de 2017 e terminando dia 30 de Setembro de 2017, conforme A.1

Figura A.1: Visão geral dos pontos visitados durante o trabalho de campo.



Começamos o trabalho de campo pela porção sudeste da cena, no dia 24/09/2017, à tarde. No caminho entre Sorocaba e Itapetininga, passando por Pilar do Sul, observamos que havia muitas plantações de cevada, muitas delas já colhidas. Visitamos também muitas áreas de floresta plantada (eucalipto, principalmente), uma delas, em especial, plantada em terreno íngreme. Nesta área, especialmente aquelas próximas as nascentes, a floresta plantada possuía características diferentes, como maior tamanho, alto dossel e sub-bosque fechado, com regeneração em desenvolvimento.

Na manhã de segunda feira, dia 25/09/2017, visitamos dois produtores de leite. As visitas foram agendadas com o Técnico em Agropecuária Pedro

Henrique de Freitas Gonçalves ao Sítio Pau Brasil, Figura A.1 e Figura A.2, e ao Sítio Reino Encantado, funcionário da empresa Castrolanda, processadora de leite.

Figura A.2: Vista das instalações ao Sítio Pau Brasil. Em destaque os animais destinados à produção de leite



No sítio Pau Brasil existe cerca de 300 vacas, das quais 200 se encontram em lactação e geram, em média, 3800 litros/dia. Sr. Marcos, responsável pela fazenda, nos disse que a produção, em anos em que as condições climáticas são favoráveis, chega a 8000 litros/dia, e que trabalha no ramo há pelo menos 30 anos. Durante nossa conversa, conhecemos as instalações da fazenda, observando que todo o processo de ordenha é automatizado. Curiosamente, os trabalhadores da fazenda estavam preparando os campos para o plantio de milho para fazer silagem para os animais. O produtor destacou alguns desafios da atividade, como a falta de mão-de-obra técnica especializada e o desinteresse nas gerações futuras em continuar nas atividades do campo.

A segunda propriedade visitada, o Sítio Reino Encantado, pertence à família da Sra. Lucineide, que ordenha 8 vacas, produzindo 100litros/dia em média. Ao contrário da primeira propriedade visitada, somente recentemente a ordenha foi automatizada. Duas comparações importantes podem ser tecidas entre as propriedades: ambos os produtores esperam aumentar a produção, apesar do preço médio pago

por litro de leite ser de R\$0,99, e, em relação aos desafios apontados por Sr. Marcos, o filho de Sra. Lucineide quer continuar no negócio de produção de leite, uma tradição que se encontra na família há pelo menos três gerações.

Além das entrevistas, observamos que na região há muitos campos cultivados com feijão e citros (laranja), a maior parte irrigada por sistema de pivô central. Durante a tarde, visitamos alguns pontos que caíram dentro e próximo a Estação Ecológica Angatuba, uma região com remanescentes florestais semi-decíduais em diversos estágios de sucessão.

Começamos o terceiro dia em direção à cidade de Paranapanema, onde coletamos muitos pontos em áreas de remanescentes, cana-de-açúcar e plantações de cevada. Um dos pontos de remanescentes caiu próximo a uma plantação de cevada, que coincidentemente, estava sendo colhida.

Aproveitamos a oportunidade para conversar com o motorista da colheitadeira, Sr. Silvano, que era o dono da terra. Sr. Silvano nos contou que após terminar a colheita da cevada e do feijão, Figura A.2 e A.3, ele e outros produtores da região pretendiam plantar algodão.

Figura A.3: Campos de Feijão em primeiro plano e Cevada, em segundo, ao sul da região de Paranapanema



Na parte da tarde, visitamos muitas áreas de floresta plantada na região da represa de Paranapanema. Conversando com os operadores da balsa que fazem a travessia de carros e passageiros pela represa, descobrimos

que anterior às plantações de eucalipto, boa parte do entorno da represa era pastagem. Após a travessia, dirigimos por extensas áreas cobertas por floresta plantada, e tivemos a oportunidade de ver algumas dessas florestas serem colhidas Figura A.3 e A.4.

Figura A.4: Madeira colhida em plantações de Eucalipto na região norte da Represa de Paranapanema



Na quarta-feira, saímos de Itapetininga e fomos em direção à Iperó, onde coletamos muitos pontos em área de pastagem, Figura A.5. Ao nos aproximarmos de Iperó, paramos em uma propriedade próximo à estrada e conversamos com a Sra. Maria Antônia, que mora na região há 35 anos. Ela nos informou que muitas áreas de pastagem foram convertidas em plantações de cana-de-açúcar, e que, de acordo com sua percepção, o nível do lençol freático na região diminuiu, ao passo que o clima se tornou mais seco.

Chegando a Iperó, visitamos a Floresta Nacional de Ipanema (FLONA). A fitogeografia local é caracterizada como semi-decídua, heterogênea e com muitas espécies emergentes. Saindo de Iperó, fomos em direção à Piracicaba, percorrendo a região central da área de estudo. O centro da área de estudo é predominantemente coberto por pastagens para criação de gado. Os remanescentes de floresta ali encontrados geralmente possuem formas alongadas, acompanhando as drenagens, sendo heterogêneos e semi-decíduas, Figura A.5.

Figura A.5: Áreas de pastagem em primeiro plano e mata galeria em segundo na região central da área de estudo



Em Piracicaba, Figura A.5, conversamos com o Eng. Agrônomo Jorge na Cooperativa de Produtores de Cana do Estado de São Paulo (COPLACANA). Ao todo, a cooperativa possui 3780 produtores de cana associados, um número que chega a 14000 considerando outras culturas. Jorge nos disse que a reforma da cana na região atualmente é feita com soja e milho, mas no passado também plantavam amendoim. A queima dos canaviais parou em 2012, ao menos entre os produtores associados.

Após a conversa, obtivemos a resposta dos responsáveis pela Usina Zambianco, em Tietê, sobre uma possível visita às instalações. Infelizmente o horário que eles poderiam nos atender diferia do nosso roteiro. Mesmo não podendo nos receber, o Sr. Paulo Ricardo Zambianco Campos respondeu algumas perguntas sobre a usina. Na média, a cana-de-açúcar provém de um raio de 21 km, sendo que 70% da cana é produzida por produtores locais e 30% é cana própria. A usina, que foi instalada em 1957 na região observou uma mudança significativa no entorno, tais como o aumento populacional da comunidade no entorno e aumento do cultivo de cana-de-açúcar.

Em 1995, a usina moía 161×10^3 toneladas de cana, aumentando para 512×10^3 toneladas em 2005 e atingindo máximo de produção em 2013, com 905×10^3 toneladas moídas. Em 2014 houve queda drástica na

produtividade por falta de chuva, ao passo que em 2015, boa parte das lavouras bisaram por excesso de chuvas.

Curiosamente, o sistema de plantio deixou de ser automático, devido ao consumo excessivo de mudas. Entretanto, a mecanização é presente na manutenção e na colheita, que não mais utiliza queima. Em 2017, a produtividade média estava em torno de 93 ton/ha para a cana própria, e de 73 ton/ha para a cana de fornecedores.

Durante a tarde de quinta, visitamos o Instituto de Pesquisas Florestais (IPEF). A conversa com Israel Gomes Vieira, gerente de produtos florestais, esclareceu sobre o propósito de criação do IPEF, que funciona como um catalisador para o desenvolvimento de tecnologias, unindo especialistas e empresas privadas do ramo de produção florestal em pesquisas cooperativas. Após a visita, saímos de Piracicaba e fomos em direção à Barra Bonita e Santa Maria da Serra, uma região de muitas plantações de cana-de-açúcar, marcada pelas formações geomorfológicas denominadas “cuestas”, Figura A.6, abaixo.

Figura A.6: Cuestas de São Pedro, parcialmente cobertas por floresta



Na sexta-feira, dia 29/09/2017, percorremos a região de Barra Bonita e a parte superior das cuestas, onde visitamos muitos canaviais, inclusive

alguns sendo colhidos, Figura A.7; áreas de remanescentes florestais, floresta plantada e pastagem.

No último dia do campo, visitamos a usina de cana-de-açúcar da Família Granelli em Charqueada, Figura A.7, a seguir. Durante a visita, tivemos a oportunidade de acompanhar todo o processo de produção: desde o momento em que os caminhões com cana-de-açúcar chegam à usina até o momento em que a matéria-prima é transformada em açúcar, xarope, cachaça, bagaço, e álcool. Quem nos guiou durante a visita foi o Sr. Wellington, responsável pela segurança do trabalho na usina.

O processamento da cana-de-açúcar na usina Granelli pode ser observado na Figura A.7. Primeiro, a carga dos caminhões, cada um com 86 toneladas, é levantada por um tombador. A matéria-prima, então, passa por um processo de moagem e limpeza, e em seguida é processada para a extração do caldo. Parte do caldo é destinada a produção de açúcar e a outra para o processo de fermentação, sendo transformada posteriormente em álcool e cachaça.

Figura A.7: Usina de processamento de Cana-de-Açúcar da Família Granelli. No canto esquerdo superior, caminhões com carga sendo tombados. No canto inferior: extração do caldo. À direita, resultado do processo: açúcar.



Ao todo, a usina processa de 3000 a 5000 toneladas de cana-de-açúcar por dia. Em média, a usina funciona por 8 meses sem parar, 24 horas por dia e possui um gasto médio por hectare de R\$18000,00, sendo que a usina possui 600 hectares próprios e o restante vêm de produtores do entorno. Cerca de 20000 litros de cachaça e 30-45000 de álcool são produzidos por hora na usina Granelli, que possui uma capacidade de moagem de 6000 mil toneladas por safra (Granelli et al, 2016).

ANEXO A - CÁLCULO DAS MÉTRICAS DE PAISAGEM

	How is it calculated	Description of variables	Description of the index
Landscape Shape Index (LSI)	$LSI = \frac{e_i}{m n e_i}$	Total length of edge (or, perimeter) of class <i>i</i> in terms of number of cell surfaces; includes all landscape boundary and background edge segments involving class <i>i</i> . Minimum total length of edge (or perimeter) of class <i>i</i> in terms of number of cells surfaces.	A standardized measure of total edge or edge density that adjusts for the size of the landscape (no unit).
Mean Frac. Dim. Index (FRAC)	$FRAC = \frac{2 \ln (.25 P_y)}{\ln a_{ij}}$	P_{ij} = Perimeter (m) of patch <i>ij</i> . a_{ij} = Area (m ²) of patch <i>ij</i> .	Mean of fractal dimension index (no unit).
Prop. Like Adjacencies (PLADJ)	$PLADJ = \left(\frac{g_{ii}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) (100)$	g_{ii} = Number of like adjacencies (joins) between pixels of patch type <i>i</i> based on the single-count method. g_{ik} = Number adjacencies (joins) between pixels of patch type (classes) <i>i</i> and <i>k</i> based on the double-count method.	Calculated from the adjacency matrix, which shows the frequency with which different pairs of patch types (including like adjacencies between the same patch type) appear side-by-side on the map (measures the degree of aggregation of patch types) (unit: percent).
Aggregation Index (AI)	$AI = \left[\frac{g_{ii}}{\max_{i \rightarrow j} g_{ij}} \right] (100)$	g_{ii} = Number of like adjacencies (joins) between pixels of patch type <i>i</i> based on the single-count method. Maximum number of like adjacencies (joins) between pixels of patch type (class) based on the single-count method.	Computed simply as an area-weighted mean class aggregation index, where each class is weighted by its proportional area in the landscape (unit: percent).
Splitting Index (SI)	$SPLIT = \frac{A^2}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij}^2}$	a_{ij} = Area (m ²) of patch <i>ij</i> . A = Total landscape area (m ²).	Based on the cumulative patch area distribution and is interpreted as the effective mesh number, or number of patches with a constant patch size when the landscape is subdivided into <i>S</i> patches, where <i>S</i> is the value of the splitting index (no unit).
Patch Cohesion Index (COHESION)	$COHESION = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^m P_{ii}}{\sum_{i=1}^m P_{ii} \sqrt{a_{ij}}} \right] (100)$	P_{ij} = Perimeter of patch <i>ij</i> in terms of number of cell surfaces. a_{ij} = Area of patch <i>ij</i> in terms of number of cells. A = Total number of cells in the landscape.	Measures the physical connectedness of the corresponding patch type (no unit).

