

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ROBERTA ROSA BUENO

ANÁLISE DA DINÂMICA FLORESTAL DA MATA ATLÂNTICA PARA VALORAR O
BALANÇO DE EMISSÃO E SEQUESTRO DE GEE EM ESCALA MUNICIPAL.
ANALYSIS OF FOREST DYNAMICS IN THE ATLANTIC FOREST TO VALUE THE
BALANCE OF GHG EMISSIONS AND UPTAKE AT THE MUNICIPAL SCALE

CURITIBA

2023

ROBERTA ROSA BUENO

ANÁLISE DA DINÂMICA FLORESTAL DA MATA ATLÂNTICA PARA VALORAR O
BALANÇO DE EMISSÃO E SEQUESTRO DE GEE EM ESCALA MUNICIPAL.
ANALYSIS OF FOREST DYNAMICS IN THE ATLANTIC FOREST TO VALUE THE
BALANCE OF GHG EMISSIONS AND UPTAKE AT THE MUNICIPAL SCALE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Pós-Graduação MBA em Ges-
tão Ambiental, Programa de Educação Con-
tinuada em Ciências Agrárias, Universidade
Federal do Paraná, como requisito parcial à
obtenção do título de Especialista em Gestão
Ambiental.

Orientador: Dr. Dalton de Morisson Valeriano

CURITIBA

2023

Dedico este trabalho a minha falecida vó, Isaura Rosa Gonçalves, sempre companheira, amiga e zelosa. Não teve a oportunidade de estudar e por isso sempre me incentivou nesse caminho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Dalton de Morisson Valeriano, por se disponibilizar e me ajudar tanto durante o desenvolvimento desse trabalho.

O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.

RESUMO

Devido a seu histórico de ocupação, a mata atlântica encontra-se fragmentada e com sua cobertura florestal muito reduzida, com registro de que restam apenas 24% da cobertura florestal original. Dado o cenário crítico de um importante hotspot mundial para conservação, este trabalho tem o objetivo de diagnosticar o quadro de conservação florestal dos municípios da região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo, avaliar os efeitos da Lei da Mata Atlântica, nº 11.428 de 2006, orientar políticas de fomentos à conservação e recomposição florestal e especular ganhos no mercado de carbono por meio da quantificação de redução de emissão de CO₂. São utilizadas imagens dos satélites Landsat 5 de 2006, e Landsat 9 de 2022, referentes à área do estudo. Para quantificar o balanço da área ocupada por cobertura florestal nos municípios foi aplicada uma técnica de detecção de mudanças entre imagens de diferentes datas denominada Análise do Vetor de Mudança. Os dados radiométricos das imagens foram transformados pelo Modelo Linear de Mistura Espectral em imagens das proporções de Solo, Vegetação e Sombra. As imagens de Solo e Vegetação foram utilizadas na detecção dos vetores de mudança para a definição de áreas com permanência de cobertura florestal nas suas datas e áreas de perda ou ganho de cobertura florestal no intervalo de tempo considerado. Para refinamento dos dados foram produzidos mapas de cobertura florestal para as duas datas, visando distinguir áreas de silvicultura e floresta atlântica, e obter áreas de estabilidade florestal. Houve a interseção desses resultados com o Mapa de Carbono Total da Vegetação, em seguida a exportação para planilha eletrônica para quantificação de carbono por hectare, análises estatísticas e especulação de ganhos e perdas no mercado de carbono. A região se destaca por possuir aproximadamente 34% de sua área total em florestal estável, o que poderia render \$340 milhões no mercado de carbono, tendo Ubatuba como portadora florestal do equivalente a \$38 milhões. Em contraponto, no período de 16 anos, o total de regeneração e desmatamento não representam nem 1% da área total estudada, indicando que legislação de 2006 estancou o desmatamento, porém não teve efeito significativo para recomposição florestal.

Palavras-chave: Mata Atlântica, Vale do Paraíba, Análise por Vetor de Mudança, Modelo Linear de Mistura Espectral, Mercado de Carbono.

ABSTRACT

Due to its history of occupation, the atlantic forest is fragmented and its forest coverage is very reduced, there are registers that only 24% of the original forest cover are remaining. Given the critical scenario of an important global hotspot for conservation, this academic work aims to diagnose the forest conservation situation in the municipalities from the Metropolitan region of the Paraíba's Valley and North Coast of the State of São Paulo, evaluate the effects of the "Lei da Mata Atlântica" law, nº 11,428 from 2006, guide policies to promote conservation and forest restoration and speculate gains in the carbon market by the quantification of CO₂ emission reductions. Excerpts of Landsat 5 and Landsat 9 images over the study area were used as input data for this work. To quantify the balance of the area occupied by forest cover in the municipalities, a technique for detecting changes between images of different data called Change Vector Analysis was applied. The radiometric data from the images were transformed by the Linear Spectral Mixture Model into images of the proportions of Soil, Vegetation and Shadow. The Soil and Vegetation images were used in the change vectors detection to define areas with continued forest cover in their data and areas of loss or gain of forest cover in the time interval considered. To refine the data, forest cover maps were produced for both data, also aiming to distinguish covering areas of forestry and atlantic forest, and obtaining areas of forest stability. There was an intersection of these results with the Total Vegetation Carbon Map, then exported to an electronic spreadsheet to quantify carbon per hectare, statistical analyzes and speculation of gains and losses in the carbon market. The region stands out for having approximately 34% of its total area in stable forest, which could yield \$340 million in the carbon market, with Ubatuba as the forest holder of the amount of \$38 million. On the other hand, over the 16-year period, the total regeneration and deforestation does not represent even 1% of the total area studied, indicating that the 2006 legislation ceased the deforestation, but had no significant effect on forest restoration.

Keywords: Atlantic Forest, Paraíba's Valley, Change Vector Analysis, Linear Spectral Mixture Model, Carbon Market

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Área de Estudo: RMVPLN	14
Figura 2 – Curvas Espectrais	17
Figura 3 – Interface i.cva no GRASS	18
Figura 4 – Imagens de Proporção, cena 218/76	21
Figura 5 – Imagens do CVA, cena 218/76	22
Figura 6 – Mapa de Vetor de Mudanças	23

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	9
1.2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
1.3	OBJETIVOS	12
1.3.1	Objetivo geral	12
1.3.2	Objetivos específicos	12
2	JUSTIFICATIVA	13
3	MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1	Área de estudo	14
3.2	Materiais	15
3.3	Métodos	16
3.3.1	Elaboração do Banco de Dados Geográficos	16
3.3.2	Transformação de Dados Radiométricos em Dados Biofísicos	16
3.3.3	Coleta de Dados de Referência	17
3.3.4	Deteccção de Mudanças	18
3.3.5	Mapeamento da Cobertura Florestal Estável	19
3.3.6	Atribuição de Quantidade de Carbono e Tabulação de Resultados	19
3.3.7	Precificação de Carbono e Análise por Municípios	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5	CONCLUSÃO	27
6	REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A Mata Atlântica é um importante bioma brasileiro, considerado um *hotspot* mundial para conservação (MYERS et al., 2000). Devido a seu histórico de ocupação e exploração (ciclos açucareiro, cafeeiro, produção madeireira e de carvão, roças de subsistência e atividades pecuárias) (DEAN, 1996), a paisagem hoje é bastante heterogênea e fragmentada. Segundo a SOS Mata Atlântica (2023) restou apenas 24% da floresta que existia originalmente. Dado um cenário tão crítico, a Lei da Mata Atlântica, nº 11.428 de 2006 foi promulgada com o intuito de proteger e recuperar a biodiversidade deste bioma.

A Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC em inglês), ressalta que a drástica mudança de paisagem da Mata Atlântica afetou gravemente a capacidade de resiliência do bioma e aumentou a vulnerabilidade da população frente às mudanças climáticas. Dado o cenário de alerta, é de extrema importância que ações de adaptação, monitoramento, fiscalização, reflorestamento, conservação e preservação sejam promovidas de forma conjunta e articulada entre as esferas do poder público e privado.

Devido à sua extensão, importância como fonte de serviços ecossistêmicos e acentuada perda de vegetação nativa, torna-se necessário gerenciar e monitorar as alterações na paisagem do bioma mata atlântica. O Sensoriamento Remoto (SR) e Análise de Informação Geográfica fornecem informações sobre a cobertura florestal de forma econômica, acurada e eficaz para o gerenciamento de grandes áreas, permitindo também a alocação de recursos de forma mais inteligente.

1.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Mata Atlântica tem destaque na Constituição Federal de 1988 como Patrimônio Nacional. Sua redução afeta os serviços ecossistêmicos de provisão, suporte e regulação para o bem-estar humano. É especialmente importante para a manutenção dos ciclos hídricos, uma vez que o bioma é responsável por prover água para aproximadamente 75% da população brasileira (QUARTA... , 2020). Reconhecendo o papel importante desse bioma, a Lei da Mata Atlântica é um marco histórico em busca de preservar o que restou após anos de devastação desenfreada.

Dentre os importantes serviços ecossistêmicos providos pela floresta atlântica, a capacidade de estoque de carbono florestal é um atributo chave para ações de controle e mitigação de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Recompensar financeiramente entidades que promovam serviços ambientais, como proteger ecossistemas e evitar emissões de carbono, é uma alternativa que vem sendo difundida no Brasil e no mundo, pois essa é uma externalidade ambiental positiva, que gera grandes benefícios para a comunidade

global (GUEDES; SEEHUSEN, 2011).

Em síntese, a Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação (REDD+) é um instrumento econômico global desenvolvido e incentivado pela UNFCCC, que visa ser uma forma de prover incentivos financeiros a países em desenvolvimento, desde que apresentem reduções de emissões de gases de efeito estufa e aumento de estoques de carbono verificados, não se limitando apenas a alcances nacionais mas também subnacionais, permitindo maior protagonismo aos Estados para articular ações voltadas as suas características e necessidades regionais (QUARTA. . . , 2020)

Parte dos requisitos para ser elegível ao REDD+ é a apresentação de metodologias de monitoramento e verificação das áreas de interesse (ENREDD+, 2016). O mapeamento da cobertura florestal e identificação de mudanças no uso, é um meio de se obter informações sobre a dinâmica que ocorre temporalmente, podendo ter o foco de observar os efeitos da Lei da Mata Atlântica desde sua implementação. O processamento imagens no sensoriamento remoto possui métodos de detecção de mudanças, que trabalha com uma ou mais imagens multitemporais para identificação das alterações, podendo aplicar técnicas de subtração de imagem, rotação de eixos e vetor de mudança. Para auxiliar na detecção de mudanças (ou outros estudos), existem também as transformações lineares de dados, que permitem extrair indicadores biofísicos das imagens trabalhadas, é o caso das técnicas de componentes principais, modelos de mistura e índices de vegetação.

A Análise por Vetor de Mudança (ou Change Vector Analysis, CVA) é uma proposta para detecção de mudança, onde as imagens são medidas antes e depois de alguma (possível) ocorrência. Esse procedimento utiliza um espaço cartesiano bidimensional. Os atributos biofísicos são associados a eixos X e Y, e examinado o deslocamento de um pixel entre as duas datas, a mudança é apresentada em um plano de coordenadas polares. Os vetores de mudança são representados em imagens que descrevem ângulo (direção e sentido) e magnitude (tamanho) da alteração observada entre as datas. Essa técnica permite o conhecimento a nível de pixel, indicando qual foi o tipo de transição naquela exata posição e qual a sua relevância. A magnitude permite compreender e definir um limiar que separe as mudanças relevantes, enquanto o ângulo define o tipo de mudança, como por exemplo, solo-vegetação ou vegetação-solo (CHRIST; CICONE, 1984; MALILA, 1980; ZANCHETTA, 2016).

Tucker (1979 e 1977) afirma que a aplicação operações matemáticas às faixas do vermelho e do infravermelho, como por exemplo, a razão de bandas e índice de vegetação, apresentam resultados sensíveis à vegetação fotossinteticamente ativa. Outra importante técnica dentro do sensoriamento remoto é o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), devido à resolução espacial dos sensores, as imagens possuem pixels com informações espectrais de n objetos detectados pela radiação emitida, formando assim componentes de mistura. O MLME resulta em imagens de proporção, sendo possível destacar as componentes de solo, vegetação e sombra (PONZONI; SHIMABUKURO, 2017). As bandas de uma

imagem multiespectral tendem a ser correlacionadas, a Análise por Componentes Principais (ACP) reduz ou remove essa redundância espectral, o que por consequência também ressalta alguns objetos e traz atenuação do efeito topográfico causado pelas sombras (SANTOS, 2010). Finalizando os métodos de processamento de imagens relevantes para este estudo, classificadores de imagens, como o píxel a píxel foram desenvolvidos para agrupar regiões homogêneas de acordo com seus valores digitais e estatísticas espaciais, facilitando o trabalho de interpretação de imagens em grande volume (ALMEIDA; MENESES, 2012).

As técnicas mencionadas, quando unidas para um determinado propósito, se tornam um conjunto de procedimentos aprimorados. São procedimentos sólidos e amplamente validados pela literatura. Pelas classificações de imagem e detecção de mudança, é possível fazer um diagnóstico de cobertura entre as duas datas. Para se obter a quantificação de estoque de carbono, fazer uma interseção do mapa de cobertura florestal com o do Mapa de Estoque de Carbono Total da Vegetação, desenvolvido para a Quarta Comunicação Nacional do Brasil à UNFCCC (2021), permitirá calcular a quantidade de dióxido de carbono (CO_2) por municípios. Esse refinamento de dados para prover informações consistentes, é exatamente o nível de confiabilidade que os instrumentos econômicos buscam para validação e verificação de resultados.

Em apoio aos esforços para o combate as mudanças climáticas, o mercado global de créditos de carbono demonstra haver grande procura dos agentes econômicos na compra créditos. Segundo o Observatório de Bioeconomia da Fundação Getúlio Vargas (FGV) de 2023, os valores flutuam bastante entre os setores da economia e região geográfica. Em busca de incentivar a comercialização de créditos, o Brasil está em fase de desenvolvimento de um mercado de carbono nacional por meio do Projeto de Lei n° 412, de 2022. Iniciativas privadas como a Arquitetura para Transações REDD+ - O Padrão de Excelência Ambiental REDD+ (ART-TREES) buscam fornecer apoio e transparência a projetos subnacionais, sendo uma opção de auxílio na gestão descentralizada de programas desenvolvidos no âmbito nacional. A convergência desses empenhos resulta em lastro entre as entidades fornecedoras e provedoras.

O presente trabalho é uma proposta de metodologia, onde é possível demonstrar a aplicação de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e conceitos de sensoriamento remoto, voltados ao mapeamento da dinâmica da cobertura florestal com vistas a quantificação de estoque de carbono em escala municipal e avaliação dos efeitos de uma legislação voltada a proteção da Mata Atlântica. Com a análise dos resultados, especular ganhos (ou perdas) pecuniárias no mercado global de carbono e apontar possíveis oportunidades de empreendimentos subnacionais com foco no combate as mudanças climáticas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Este trabalho tem o objetivo de desenvolver um método de processamento de imagens e análise de informação geográfica para avaliação dos mosaicos florestais da mata atlântica em escala municipal na Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte do Estado de São Paulo (RMVPLN). As metodologias aplicadas resultam em dados sobre a dinâmica da conservação florestal e do estoque de carbono nos municípios observados a partir da promulgação da Lei da Mata Atlântica. Com base neste inventário, fazer uma especulação pecuniária de ganhos em mercado de carbono e propor sugestões para orientar políticas de fomentos à conservação e recomposição florestal.

1.3.2 Objetivos específicos

- Produção de imagens digitais para a transformação dos dados radiométricos em imagens de componentes de cena de proporções de Solo, Vegetação e Sombra.
- Aplicação da técnica de detecção de mudanças entre imagens multi-temporais por Análise de Vetor de Mudança, a pares de imagens de Solo e Vegetação.
- Classificação das áreas com cobertura florestal nas duas datas para discriminar áreas de silvicultura de áreas de cobertura florestal nativa, para não contabilizar o balanço de carbono devido às práticas silviculturais de plantio e colheita da produção.
- Conversão dos dados de dinâmica de cobertura florestal nativa em dinâmica de estoques de carbono e seleção de meio de precificação do sequestro de carbono.
- Especulação de valor pecuniário para municípios com ganho ou estabilidade da cobertura florestal e de atenção para os municípios com perda de cobertura florestal.

2 JUSTIFICATIVA

Dada a introdução deste trabalho, é notável o quanto a Mata Atlântica é um bioma inquestionavelmente fragilizado e importante. As aplicações aqui mencionadas são atuais e de alta demanda. Obter a quantificação de estoque de CO₂ em recortes regionais, viabilidade de ganhos em mercado de carbono, balanço florestal e avaliação temporal de uma legislação, são produtos que possibilitam aos gestores pertinentes um poder de escolha e tomada de decisões em um nível mais elevado. O presente trabalho é uma demonstração e proposta de metodologia para obter os resultados mencionados. Se justifica pela relevância e grau de complexidade, além de abordar temas atuais, que estão no centro das discussões sobre alternativas de mitigação e adaptação aos efeitos do aquecimento global.

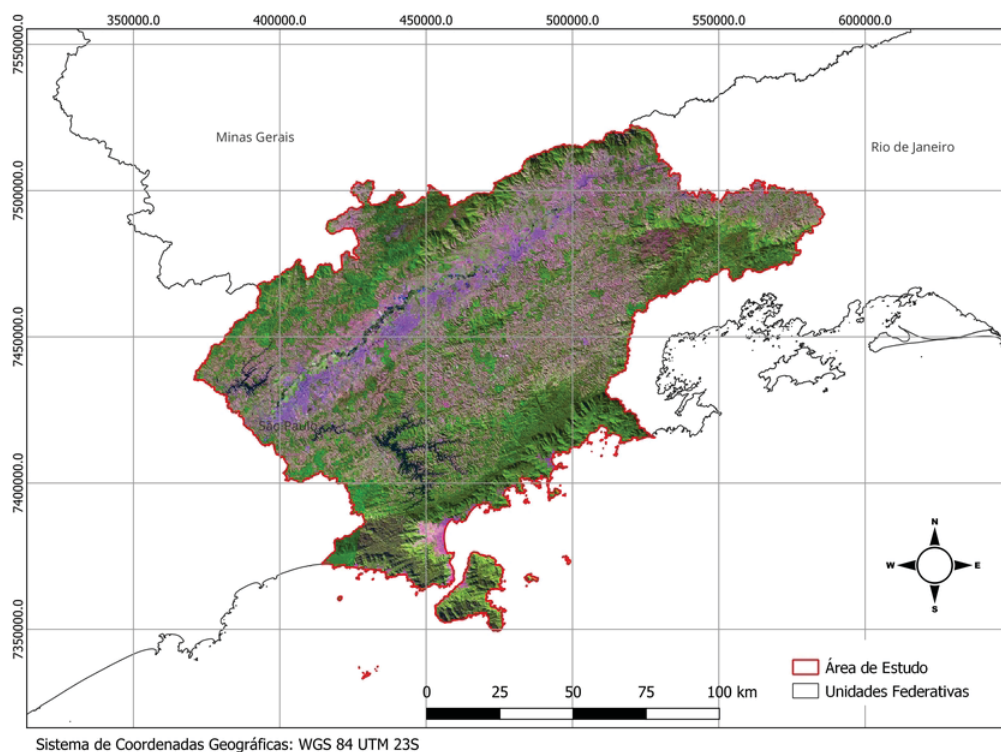
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

Estabelecida pela Lei Complementar 1.166, de 9 de janeiro de 2012, a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN) situa-se na porção leste do estado de São Paulo e abrange 39 municípios, conforme Figura 1, sendo esses agrupados em cinco sub-regiões (EMPLASA, 2012):

- 1) Caçapava, Igaratá, Jacareí, Jambeiro, Monteiro Lobato, Paraibuna, Santa Branca e São José dos Campos.
- 2) Campos do Jordão, Lagoinha, Natividade da Serra, Pindamonhangaba, Redenção da Serra, Santo Antônio do Pinhal, São Bento do Sapucaí, São Luiz do Paraitinga, Taubaté e Tremembé.
- 3) Aparecida, Cachoeira Paulista, Canas, Cunha, Guaratinguetá, Lorena, Piquete, Potim e Roseira.
- 4) Arapeí, Areias, Bananal, Cruzeiro, Lavrinhas, Queluz, São José do Barreiro e Silveiras.
- 5) Caraguatatuba, Ilhabela, São Sebastião e Ubatuba.

Figura 1 – Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN)



A região de estudo situa-se em áreas de Mata Atlântica, tendo uma paisagem descrita como “mares de morros” e possui grandes fragmentos do bioma preservados. Historicamente a área sofre com o desmatamento extensivo desde a época do descobrimento, começando pela rota do ouro, tendo em vista que a sua localização é privilegiada, sendo eixo de ligação entre São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro (DEVIDE, 2013). Acumulando vários ciclos econômicos, da mesma forma descrita por Dean (1996) em seu livro “A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira”, o Vale também teve fases de roças de subsistência, ciclo cafeeiro e ciclo da pecuária. Atualmente a paisagem predominante é composta principalmente por áreas de pastagem, agropecuária e cultura de eucalipto.

3.2 Materiais

Para a realização do presente trabalho foram necessários a utilização dos seguintes materiais:

- Imagens dos satélites Landsat Collection 2 Level 2, georreferenciadas em WGS 84, com correção atmosférica e resolução de 30 metros, adquiridas através do portal Earth Explorer USGS (The United States Geological Survey).
 - Órbita/Ponto 219/76 de 14/09/2006 (Landsat 5) e 02/09/2022 (Landsat 9)
 - Órbita/Ponto 218/76 de 21/07/2006 (Landsat 5) e 23/06/2022 (Landsat 9)
 - Bandas Landsat 2006: 3 Red (Vermelho): 0.63-0.69 μm , 4 Near Infrared (NIR) (Infravermelho Próximo): 0.76-0.90 μm e 5 Shortwave Infrared (SWIR) 1 (Infravermelho de Ondas Curtas): 1.55-1.75 μm .
 - Bandas Landsat 2022: 4 Red (Vermelho): 0.64-0.67 μm , 5 Near Infrared (NIR) (Infravermelho Próximo): 0.85-0.88 μm e 6 Shortwave Infrared (SWIR) 1 (Infravermelho de Ondas Curtas): 1.57-1.65 μm .
- Arquivo shape file dos limites municipais da área de estudo, disponíveis na sessão de geociências do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).
- Arquivo shape file de Estoque de Carbono Total do Quarto Inventário Nacional de Emissões de Gases de Efeito de Estufa, disponibilizado pelo Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE) através do repositório do Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CCST) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)
- Softwares SPRING 5.5.6 (INPE), GRASS 8.2.1 (OSGeo), QGIS 3.28.4 (OSGeo), TerraAmazon 7.3.2 (INPE) e Excel.

Todos os materiais aqui descritos são gratuitos e de livre acesso ao público.

3.3 Métodos

Após o download das imagens, arquivos shape file e estruturação do banco de dados nos softwares SIGs mencionados, faz-se o ajuste radiométrico das imagens e posterior aplicação das técnicas de transformações necessárias. A partir desses resultados inicia-se a coleta de referências, produção de mapas de cobertura florestal e não florestal, e por fim vetores de mudanças. Com esses três produtos, o próximo passo é cruzar esses dados e montar uma planilha em Excel para análise das informações obtidas.

3.3.1 Elaboração do Banco de Dados Geográficos

Houve a padronização dos arquivos para o Sistema de Referências Cartográficas SIRGAS 2000 e adequação radiométrica das bandas para 8 bits. Todos os softwares SIGs utilizados possuíam:

- Malha Municipal e Região Administrativa;
- Imagens em composição colorida no padrão R (SWIR) G (NIR) B (RED).

SPRING:

- Bandas espectrais SWIR, NIR e RED

QGis e TerraAmazon:

- Estoque de Carbono Total da Vegetação

Apesar de Ilhabela fazer parte da Região Administrativa de estudo, a mesma não foi mapeada no Inventário Nacional de Gases de Efeito Estufa produzido para a Quarta Comunicação Nacional, assim como outras ilhas pertencentes a São Sebastião e Ubatuba, impossibilitando que essas áreas fossem contempladas nesse estudo.

3.3.2 Transformação de Dados Radiométricos em Dados Biofísicos

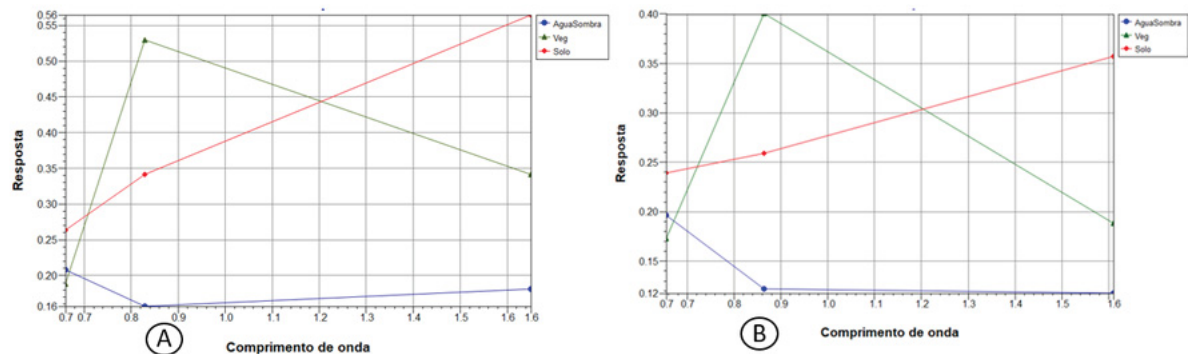
A interface do MLME no SPRING solicita ao usuário que seja apontado qual sensor, satélite e banda estão sendo trabalhados para associa-los as imagens importadas, feito esse procedimento, a próxima etapa é criar as componentes de interesse. Para esse estudo adota-se três componentes, que representam solo, vegetação e sombra, sendo o último invariavelmente também associado a água devido à proximidade de valores de reflectância.

Por meio de uma exploração visual da imagem falsa-cor é possível identificar áreas que melhor representam cada uma das componentes, com essa análise preliminar verifica-se quais são as respostas espectrais do alvo observado. Sabe-se que cada componente irá

apresentar um pico de reflectância na banda que melhor lhe caracteriza, sendo nesse caso: RED = Solo, NIR = Vegetação, SWIR = Sombra.

Abaixo na Figura 2 seguem as curvas espectrais das amostras coletadas para a cena 218/76 para os anos de 2006 (parte A) e 2022 (parte B). O procedimento foi feito para a cena 219/76 e obteve resultados semelhantes.

Figura 2 – Curvas Espectrais



Autora (2023)

O comportamento espectral das amostras e seus valores se mostraram satisfatórios. As proporções foram estimadas pelo critério Mínimos Quadrados Ponderados e entregaram imagens de proporção para cada componente trabalhado.

3.3.3 Coleta de Dados de Referência

A partir das imagens de proporção, de modo a realçar áreas de conversão, foram aplicadas operações aritméticas de bandas com o par de imagens solo e vegetação, sendo a seguinte fórmula:

$$\text{Ganho} * (\text{Data 2022} - \text{Data 2006}) + \text{Offset}$$

$$\text{Valor Ganho} = 1 \text{ e Offset} = 100$$

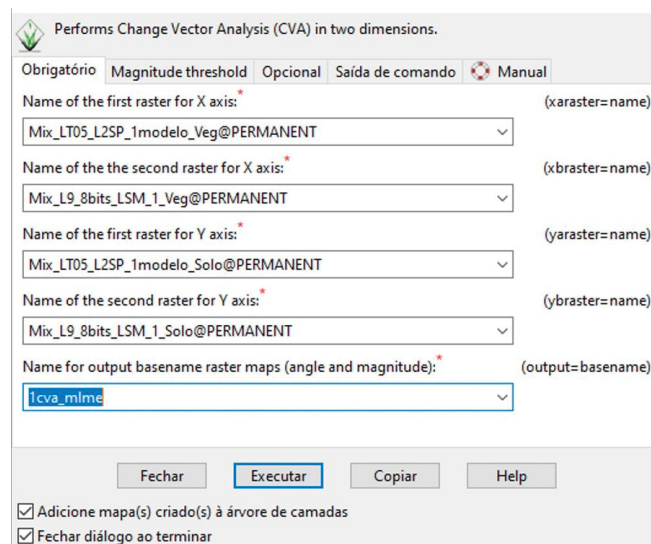
Tendo essas imagens de conversão realçadas, com o auxílio das imagens sintéticas de 2006 e 2022, por meio da opção “acoplar” no Terra Amazon, iniciou-se o processo de interpretação visual e captura de polígonos amostrais de regeneração e desmatamento. Para os devidos fins, aqui foi considerado como regeneração as áreas onde em 2006 eram solo e em 2022 apresentam cobertura florestal, não distinguindo, por enquanto, silvicultura e floresta natural. Já os polígonos de desmatamento representam áreas que em 2006 possuíam cobertura florestal, mas, em 2022 houve a completa remoção da vegetação. Foi um total de 30 polígonos para cada classe/cena. Esses vetores serão utilizados nas próximas etapas como referência durante o processo de análise de resultados.

3.3.4 Detecção de Mudanças

A técnica de análise por vetor de mudança está disponível no software GRASS 8.3.0 através da extensão i.cva (ZANCHETTA, 2016). Após criar um espaço de trabalho no GRASS e importar as imagens de proporção solo e vegetação, é enfim possível executar a ferramenta i.cva.

O MLME aplicado anteriormente foi uma etapa planejada para melhorar o desempenho do CVA, as transformações que resultaram nas imagens de proporção tornam mais evidentes as componentes (solo e vegetação) observadas em cada data, facilitando assim a correta identificação das áreas em transição. A interface dessa extensão solicita apenas um par (duas datas) de imagens de entrada para cada eixo X e Y, conforme Figura 3.

Figura 3 – Interface i.cva no GRASS



Autora (2023)

O resultado desse procedimento são três imagens, uma contendo as informações espectrais referentes aos valores de ângulo, outra de magnitude e uma terceira de ângulo classificado. A imagem ângulo classificado é a divisão dos valores de pixel em 4 quadrantes, identificando o tipo de transição. Com essas informações é necessário definir um critério de limite para magnitude, valores que estabeleçam a partir de que ponto será considerado uma mudança relevante.

Para definir tais limiares, com o auxílio do Qgis e a ferramenta “Estatísticas Zonais”, as imagens de magnitude foram recortadas pelos polígonos de referência e com a análise tabular desses resultados o “threshold” foi definido. Com esse resultado, é repetido o procedimento de associação de imagens solo e vegetação no i.cva e dessa vez é inserido o valor limite. A ferramenta devolve então, além das imagens já citadas, uma quarta imagem representando as áreas que se enquadram no limiar proposto.

3.3.5 Mapeamento da Cobertura Florestal Estável

Para mapear a cobertura florestal estável no período analisado, optou-se por uma classificação híbrida das imagens, utilizando técnicas de classificação automática e semiautomática. Nesta abordagem identificam-se classes de pixels com associação completa com classes de cobertura da terra que se pretende mapear por meio de análise de classificação não-supervisionada e discrimina-se por meio supervisionado quando classes ambíguas são agrupadas em classes não-supervisionadas. Durante essa etapa o software SPRING é o mais adequado.

A primeira classificação automática foi com o algoritmo k-médias. Essa classificação separa os pixels similares em conjuntos denominados classes espectrais, entende-se então, pela lógica do classificador, que matematicamente os números digitais agrupados possuem valores próximos entre si. Variações identificáveis pelo olho humano não são vistos pelo k-medias, foi feita então uma separação manual entre floresta, não floresta e misto. Posteriormente as classes mistas foram trabalhadas individualmente com o classificador maxver.

“Máxima Verossimilhança” essa técnica semiautomática permite orientar o algoritmo a identificar com maior precisão as áreas de interesse, esse classificador agrupará pixels semelhantes tendo como base as amostras espectrais coletadas previamente pelo usuário. São coletadas amostras de Silvicultura, Floresta Atlântica e Não-Floresta.

Essas classificações produzem imagens classificadas, é necessário fazer a transformação de dados raster para vetor, pois saída vetorial permite manipular mais os dados. Após essas etapas serem feitas para as duas datas de interesse, a identificação da cobertura florestal estável é obtida pela interseção das classes “Floresta Atlântica” nas duas datas, retornando apenas as áreas florestais existentes em 2006 que permaneceram intocadas em 2022.

3.3.6 Atribuição de Quantidade de Carbono e Tabulação de Resultados

O Mapa de Estoque de Carbono Total da Vegetação apresenta as informações do Brasil inteiro. Utilizando a camada vetorial “Região Administrativa”, que representa os limites administrativos da RMVPLN, foi realizado o recorte do mapa de carbono, reduzindo sua dimensão e volume de dados para a área de interesse. Esse mapa, além de conter as informações de CO₂, entre outros atributos, informa qual o código e nome dos municípios que estão sendo analisados.

Novamente é realizado o processo de interseção, dessa vez com o mapa de carbono, realizando o procedimento com os vetores de transição e com a floresta estável. A partir desse resultado temos a combinação: Transição + Mapa de CO₂ e Estabilidade + CO₂. Com esses arquivos vetoriais é calculada a área dos polígonos em hectares. Concluída essa

etapa, é extraída uma planilha em Excel de cada arquivo para junção e análise dos dados.

3.3.7 Precificação de Carbono e Análise por Municípios

É elaborada uma nova planilha a partir da união das planilhas obtidas anteriormente. Após a junção, além do nome e código dos municípios, contém as colunas em hectares e em Estoque de CO₂ Equivalente para: Floresta Estável, Regeneração e Desmatamento.

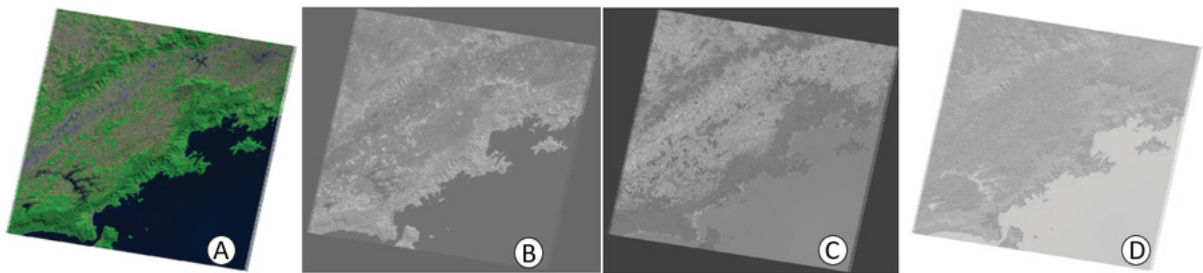
Algumas colunas são adicionadas, como a área em hectare de cada município (obtido pela malha municipal do IBGE), balanço de área de cobertura florestal e valores de mercado para cada classe (estabilidade = ganho, regeneração = ganho e desmatamento = perda) e balanço de mercado. Os valores são precificados em dólar, considerando o valor de US\$4,00 por tonelada de carbono, valor conservador de acordo com as médias apresentadas pelo Observatório de Bioeconomia da FGV para a América do Sul em setembro de 2023.

A partir dessa planilha são extraídas especulações de ganho e perda no mercado, valores totais de regeneração e desmatamento apontarão a evolução de cobertura florestal ao longo do tempo, indicações de municípios com mais perdas ou ganhos florestais, além de percepções regionais de maiores transições e avaliação dos resultados do cenário como um todo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado do MLME são imagens de 8 bits em 256 níveis de cinza, onde os componentes observados são ressaltados nas imagens, destacando com tonalidades mais claras as regiões que possuem maior predominância de proporções solo, vegetação ou sombra. A utilização dessa técnica permite atenuar os efeitos topográficos de sombras nos morros da área de estudo. A Figura 4 demonstra os resultados, sendo A) Imagem colorida de 2006 R (banda 5) G (banda 4) B (banda 3), B) Imagem Proporção Vegetação, C) Imagem Proporção Solo e D) Imagem Proporção Sombra.

Figura 4 – Imagens de Proporção, cena 218/76



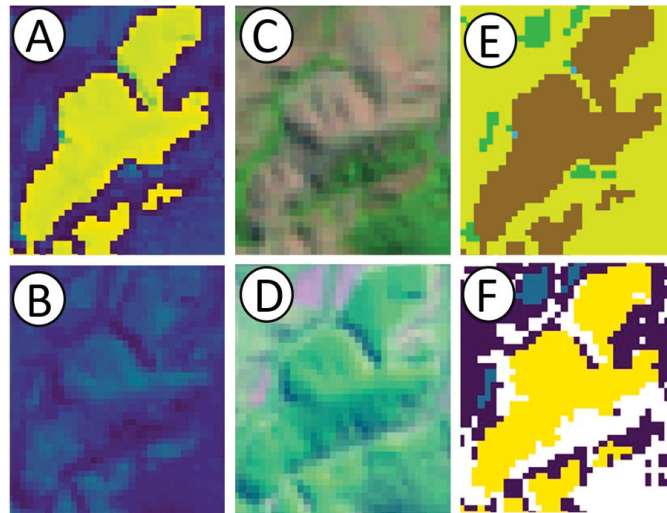
Autora (2023)

Nas imagens de proporção, tonalidades claras indicam alta proporção do componente e tonalidades escuras baixa proporção do componente.

Com essas imagens, seguindo a metodologia descrita em “Coleta de Dados de Referência”, 30 polígonos de regeneração e 30 polígonos de desmatamento foram coletados para auxiliar nas próximas etapas.

Os pares de imagens solo e vegetação foram utilizadas no CVA como parâmetros biofísicos para a detecção de mudança. Com o suporte dos vetores de referência, conforme descrito na metodologia do item “3.3.4”, foi possível obter a média e desvio padrão referente as áreas de transição de interesse. Após os primeiros testes utilizando a cena inteira, observou-se que seria ideal eliminar as áreas adjacentes fora dos limites da região administrativa de estudo, pois prejudicavam os resultados por contaminação. O threshold que melhor se ajustou foi dado pela média menos o desvio padrão. A Figura 5 ilustra os resultados alcançados com a cena 218/76, sendo A) Imagem Ângulo, B) Imagem de Magnitude, C) Imagem de 2006 R (banda 5) G (banda 4) B (banda 3), D) Imagem de 2022 R (banda 6) G (banda 5) B (banda 4), E) Imagem Classificada e F) Imagem da Detecção de Mudança. A cena 219/76 apresentou resultados semelhantes.

Figura 5 – Imagens do CVA, cena 218/76



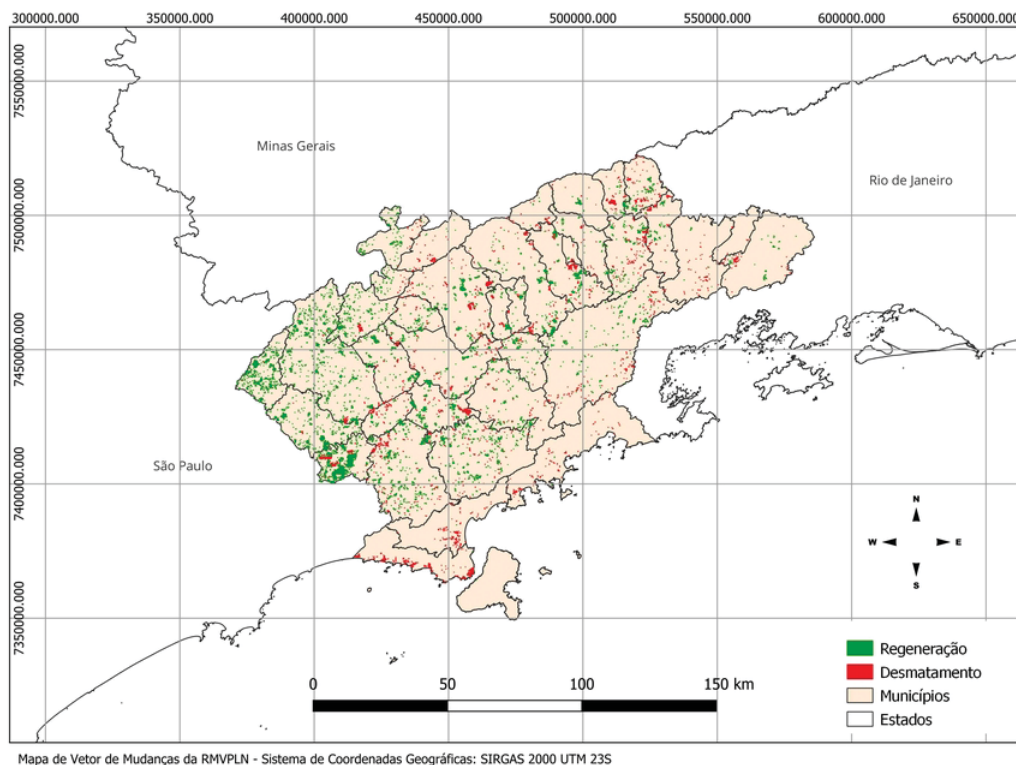
Autora (2023)

Os resultados do CVA são plotados em paletas de cores pré-definidas pelo algoritmo, e a atribuição é feita em degradê conforme os valores de cada píxel. Exceto pela imagem classificada, em que cada cor indica uma mudança observada pelo programa, interpreta-se: Marrom: Solo para Vegetação, Verde: Vegetação para solo, Amarelo: Pouca ou nenhuma alteração.

O limiar escolhido para detecção representava o valor mais baixo observado pela média menos desvio padrão, quando comparado entre regeneração e desmatamento. Essa escolha foi crucial para que o resultado pudesse ser validado pelos polígonos de referência, pois as áreas detectadas foram comparadas com esses vetores, sendo uma avaliação norteadora para a continuação do estudo.

Para esse trabalho também foi desenvolvido um mapa de cobertura florestal e “não-florestal” para 2006 e 2022. Um grande desafio dessa etapa é diferenciar áreas de Silvicultura e Floresta Atlântica. O efeito de rugosidade nas florestas destaca um alvo do outro, uma vez que os plantios possuem a mesma altura, não tendo assim sombras para causar “textura”, mas, por diversos fatores históricos e regionais, nem sempre o padrão de rugosidade será exclusivamente de florestas, podendo, sim, haver plantios com sombreamento entre as copas e valores espectrais extremamente parecidos.

Sendo assim, ainda com o agravante de contaminação de resultados nas áreas florestadas, o mapeamento consegue diferenciar a maior parte das classes, se tornando um apoio indispensável para as análises. Por meio desse recurso, foi possível aprimorar os resultados do CVA, eliminando áreas de silvicultura (em 2006 ou 2022) e áreas de estabilidade (que mantiveram a mesma classe nos dois períodos, florestal e não-florestal). A Figura 6 representa o mapa de detecções obtidos pelo CVA.

Figura 6 – Mapa de Vetor de Mudanças

Autora (2023)

A partir das regiões que sobraram após o refinamento da detecção, o mapa de estoque de carbono total da vegetação foi utilizado para identificar os valores em toneladas de carbono equivalente associados as mudanças encontradas. A floresta estável também teve sua área associada ao mapa do Quarto Inventário. A associação é resultado de uma operação de interseção, trazendo consigo todos os atributos tabulares do inventário, dessa forma a informação sobre qual município corresponde aos polígonos está contida na tabela de atributos do arquivo final. A área desses vetores foi calculada em hectares, adequando-se as medidas adotadas no mapa de estoque. Com esse resultado foi extraída e estruturada uma tabela em Excel para análise e compreensão dos dados obtidos.

Observou-se também que, outros fatores importantes que dificultam uma contabilidade florestal mais assertiva, são as sombras do relevo e a contabilidade de área em sistema planimétrico, não considerando a inclinação do terreno. Não há muito o que possa ser feito em relação às sombras, pois são áreas não observáveis, das quais dificilmente seria possível eliminar com a observação de outras datas devido às características topográficas da região. Mas uma coerência altimétrica poderia ser atribuída a contabilidade de área se fosse adicionado aos materiais um Modelo Digital de Terreno.

Os resultados do processamento de imagens e de informação geográfica são analisados pela planilha elaborada, conforme demonstra a Tabela 1 inserida na próxima página.

Tabela 1 – Resultados por Municípios

NOME MUNICÍPIO	Area.Mun.ha	Flor.Esta.ha	Estoque.Flor.Esta.tC	Estoque.Mercado.US\$	Area.REG.ha	Estoque.REG.tC	Ganho/Mercado.US\$	Area.DSM.ha	Perda.Estoq.DSM.tC	Perda.Mercado.US\$	Balanço.ha	Balanço.tC	Balanço.US\$
Aparecida	12.089,00	2.313,59	345.779,11	\$1.383.116,44	65,51	10353,13	\$41.412,53	21,35	3904,98	\$15.619,91	6448,16	\$25.792,62	
Arapeí	15.690,28	5.487,61	830.835,00	\$3.323.339,98	0,00	0,00	\$0,00	6,90	1156,93	\$4.627,73	-1156,93	-\$4.627,73	
Arealas	30.522,67	8.155,10	714.023,55	\$2.856.094,21	98,39	11753,75	\$47.015,00	80,06	8589,96	\$34.359,84	3163,79	\$12.655,16	
Bananal	61.642,95	28.373,46	4.280.459,30	\$17.121.837,20	66,55	10461,81	\$41.847,26	93,02	13361,21	\$53.444,83	-26,47	-2899,39	
Caçapava	36.899,06	4.971,74	701.374,11	\$2.805.496,44	411,55	50615,88	\$202.463,51	68,13	7492,33	\$29.969,31	43123,55	\$172.494,20	
Cachoeira Paulista	28.798,97	2.796,02	390.424,65	\$1.561.698,59	67,57	6953,01	\$27.812,05	40,32	4493,93	\$17.975,73	27,25	2459,08	
Campos do Jordão	28.998,15	18.735,28	1.735.189,56	\$6.940.758,25	6,04	774,85	\$3.099,41	79,34	3884,64	\$15.538,57	-73,30	-3109,79	
Canas	5.326,11	386,79	39.340,61	\$157.362,44	10,48	1384,91	\$5.539,65	26,01	2481,61	\$9.926,45	-15,53	-1096,70	
Caraguatatuba	48.494,73	34.063,62	6.068.232,15	\$24.272.928,60	1,27	143,10	\$572,41	162,47	21853,01	\$87.412,04	-161,21	-21709,91	
Cruzeiro	30.569,87	8.378,90	1.307.497,62	\$5.229.990,48	57,67	8951,90	\$35.807,59	8,97	1315,11	\$5.260,44	7636,79	\$30.547,15	
Cunha	140.725,01	39.018,23	6.631.573,08	\$26.526.292,30	289,58	52840,28	\$211.361,11	175,36	29628,35	\$118.513,40	114,22	23211,93	
Guaratinguetá	75.263,62	19.035,61	2.688.657,25	\$10.754.629,00	322,03	45591,20	\$182.364,80	136,62	19597,76	\$78.391,04	185,41	25993,44	
Igaratá	29.295,26	7.991,88	1.461.554,30	\$5.846.217,19	1073,35	196293,61	\$785.174,44	2,70	493,56	\$1.974,23	1070,65	195800,05	
Jacareí	46.427,23	4.525,87	709.082,09	\$2.836.328,37	1014,25	169747,20	\$678.988,79	12,08	1341,93	\$5.367,73	1002,17	168405,27	
Jambeiro	18.441,35	4.226,33	772.910,57	\$3.091.642,28	187,78	34340,34	\$137.361,35	70,09	12818,85	\$51.275,40	117,68	21521,49	
Lagoinha	25.547,22	4.998,51	914.127,13	\$3.656.508,54	103,17	18867,53	\$75.470,10	19,19	3510,30	\$14.041,20	83,97	15357,23	
Lavrinhas	16.706,74	4.679,86	632.715,67	\$2.530.862,68	53,51	6385,08	\$25.540,33	158,28	15919,57	\$63.678,27	-104,77	-9534,49	
Lorena	41.415,97	6.401,86	929.448,97	\$3.717.795,89	296,14	36429,95	\$145.719,79	208,52	22943,14	\$91.772,54	87,63	13486,81	
Monteiro Lobato	33.274,20	14.393,43	2.638.959,22	\$10.555.836,87	410,20	74335,21	\$297.340,85	76,38	13967,81	\$55.871,24	333,82	60367,40	
Natividade da Serra	83.337,20	32.038,51	5.859.203,35	\$23.436.813,39	585,46	107068,93	\$428.275,71	110,40	20190,02	\$80.760,07	475,06	86878,91	
Paraibuna	80.957,62	26.128,68	4.778.413,73	\$19.113.654,92	608,57	111295,97	\$445.183,90	196,82	35995,11	\$143.980,46	411,75	75300,86	
Pindamonhangaba	73.135,45	19.173,94	2.861.942,85	\$11.447.771,41	412,21	38898,06	\$155.592,25	341,66	34233,13	\$136.932,53	70,55	4664,93	
Piquete	17.599,60	6.890,28	1.107.874,71	\$4.431.498,84	7,77	1366,93	\$5.467,71	42,42	4558,94	\$18.235,75	-34,65	-3192,01	
Potim	4.464,35	140,20	12.461,64	\$49.846,55	4,64	370,59	\$1.482,37	23,57	1614,23	\$6.456,92	-18,92	-1243,64	
Queluz	24.939,90	7.811,82	1.052.879,28	\$4.211.517,10	178,15	19273,63	\$77.094,52	108,61	12279,07	\$49.116,30	69,54	6994,56	
Redenção da Serra	30.944,11	8.243,07	1.507.492,49	\$6.029.969,95	343,21	62765,68	\$251.062,70	172,03	31460,83	\$125.843,33	171,18	31304,84	
Roseira	12.984,65	3.011,69	535.788,71	\$2.143.154,84	107,80	17519,09	\$70.076,37	54,08	6667,80	\$26.671,22	53,72	10851,29	
Santa Branca	27.223,77	8.082,88	678.012,93	\$2.712.051,73	1926,53	352322,90	\$1.409.291,58	209,25	38267,20	\$153.068,79	1717,28	314055,70	
Santo Antônio do Pinhal	13.300,84	5.407,46	635.535,96	\$2.542.143,83	64,96	5998,60	\$23.994,40	13,97	1226,78	\$4.907,11	51,00	4771,82	
São Bento do Sapucaí	25.257,94	8.082,88	678.012,93	\$2.712.051,73	174,10	17487,17	\$69.948,68	19,24	896,56	\$3.586,22	154,86	16590,61	
São José do Barreiro	57.068,53	30.708,08	4.261.365,67	\$17.045.462,70	8,45	1545,78	\$6.183,14	66,30	10240,67	\$40.962,67	-57,85	-8694,88	
São José dos Campos	109.940,92	24.818,37	4.143.794,47	\$16.575.177,86	1478,65	236617,04	\$946.468,17	52,17	5664,54	\$22.658,14	1426,48	230952,51	
São Luiz do Paraitinga	61.731,54	21.502,29	3.910.709,86	\$15.642.839,43	196,90	35943,93	\$143.775,73	87,17	15941,56	\$63.766,24	109,73	20002,37	
São Sebastião	40.239,48	31.938,79	5.532.092,35	\$22.128.369,39	1,14	206,46	\$825,83	108,94	15241,79	\$60.967,16	-107,80	-15035,33	
Silveiras	41.478,18	11.246,09	1.579.531,87	\$6.318.127,47	221,26	27499,85	\$109.999,40	178,32	23195,06	\$92.780,24	42,95	4304,79	
Taubaté	62.500,30	11.153,09	1.923.008,23	\$7.692.032,93	311,19	50358,05	\$201.432,18	141,58	21086,45	\$84.345,81	169,61	29271,59	
Tremembé	19.109,45	4.108,37	607.809,10	\$2.431.236,39	141,41	14431,04	\$57.724,15	31,98	3649,05	\$14.596,20	109,43	10781,99	
Ubatuba	70.810,46	55.945,70	9.633.345,58	\$38.533.382,30	3,78	682,02	\$2.728,07	110,29	15419,73	\$61.678,93	-106,52	-14737,72	

Autora (2023)

Foi observado que a área de estudo tem 34% de florestas que se mantiveram estáveis no intervalo de tempo considerado neste estudo. Ao longo de desses 16 anos apurados, houve um acréscimo florestal de um pouco mais de 11 mil hectares, em contraponto, quase 4 mil hectares foram desmatados. Somando esses resultados à área estável de floresta, em torno de 36% da região administrativa estudada está atualmente florestada. Essa porcentagem é, em grande parte, devida as unidades de conservação existentes nos limites dos municípios de Cunha, Caraguatatuba, Natividade da Serra, São Sebastião e São José do Barreiro, que são os 5 municípios com maior área estável de florestas.

Com os dados tabulares, foi verificado pelo Excel se existira correlação entre a quantidade de floresta estável nos municípios e as áreas regeneradas e desmatadas, essa avaliação identificou que não existe correlação entre eles. Isso parece indicar que ao longo desses 16 anos, tanto as cidades com baixa ou alta cobertura florestal, não obtiveram grandes êxitos em aumentar suas áreas verdes desde 2006. Indica também que as áreas de maior desmatamento não ocupam essa posição apenas por possuírem maior cobertura de mata atlântica.

Em relação aos municípios que mais regeneraram, há incertezas sobre a precisão desse resultado, uma vez que as 5 cidades que se destacaram nesse sentido (Santa Branca, São José dos Campos, Igaratá, Jacareí e Paraibuna) possuem grandes áreas de silvicultura. O município de Pindamonhangaba se sobressai quando a contabilidade de área desmatada é colocada em perspectiva, quase 340 hectares foram desflorestados, representando aproximadamente 10% do total desmatado no período. Outros municípios que mais desarborizaram entre 2006 e 2022 estão: Santa Branca, Lorena, Paraibuna e Silveiras. Também foi gerado um balanço por cidades, por meio da soma dos hectares de perda e ganho florestal. Destacam-se negativamente as regiões mais conhecidas pelo turismo, como, por exemplo, Caraguatatuba, São Sebastião, Ubatuba, Lavrinhas e Campos do Jordão.

Em termos de tonelada de carbono equivalente (tC), os 34% de floresta estável da RMVPLN representam 85 milhões de tC. Já as áreas de regeneração somam quase 2 milhões e as de desmatamento quase 500 mil toneladas de carbono. Para cumprir os objetivos propostos, adotou-se o valor de US\$ 4,00 por tonelada de carbono como preço de mercado para a América do Sul. Com esse valor, a floresta estável total do Vale poderia arrecadar US\$ 340 milhões, sendo que Ubatuba sozinha seria responsável por US\$38 milhões dessa quantia, seguida por Cunha, Caraguatatuba, Natividade da Serra e São Sebastião, com US\$26, US\$24, US\$23 e US\$22 milhões cada respectivamente.

Os mesmos municípios que mais se destacaram em área regenerada, também são os que mais se beneficiariam no mercado, com valores variando de US\$ 1.5 milhões a US\$ 445 mil, mas como dito anteriormente, há inconsistência nas áreas regeneradas por dificuldades em separar eucalipto de mata atlântica. As perdas no mercado também são maiores entre os que mais desmataram, com valores entre US\$ 150 e US\$ 125 mil. Ao

longo do período analisado de 16 anos, extraíndo a diferença entre os valores totais de ganho por regeneração e perda por desmatamento no mercado, o total próximo de US\$ 5.578 milhões é obtido, que seriam US\$ 348 mil ao ano, correspondendo a US\$ 9 mil ao ano por município.

5 CONCLUSÃO

Ao que parece, a região administrativa estudada está estagnada, não tendo evoluído sua cobertura florestal de forma significativa ao longo desses 16 anos. É provável que a Lei da Mata Atlântica contribuiu para a estabilização da paisagem, mas não causou grandes efeitos no que tange o acréscimo de vegetação nativa. Para uma avaliação mais fidedigna sobre os efeitos dessa legislação, outro estudo é apropriado, dessa vez o desenvolvimento de uma linha de base, que representaria as condições de emissões na ausência da Lei nº 11.428 de 2006 e estoques de carbono florestal contidos na época. Em projetos REDD+ a construção de uma linha de base é uma referência fundamental para estabelecer metas, compreensão do cenário e mensuração dos resultados.

Com os dados fornecidos por esse estudo, percebe-se que o comportamento da região durante o período estudado não resultaria em ganhos significativos no mercado de carbono. O desenvolvimento de um projeto de linha de base apresentaria uma perspectiva de ganhos mais realísticos para os estoques iniciais e auxiliaria a nortear ações efetivas para o incremento florestal nativo. O recurso adquirido com a comercialização desses estoques poderia ser reinvestido em ações de reflorestamento, recomposição de áreas degradadas e conexão de fragmentos florestais.

Sob a perspectiva de que é preciso agir quanto antes, uma alternativa seria o incentivo a criação de novas unidades de conservação em menor escala, parques e áreas de preservação, por meio de iniciativas municipais, que os tornaria fortes candidatos a receber benefícios monetários provenientes de recursos REDD nacionais ou subnacionais. Além de que a criação dessas áreas aqueceria o turismo ecológico na região, que inclusive já possui grande procura. É uma aposta com potencial de retorno financeiro (e bem estar) à comunidade local de forma mais ágil e proativa.

Quanto aos resultados desse trabalho, a paisagem estudada é muito rica e igualmente complexa para observações por sensoriamento remoto. Esse trabalho reforça a existência de tais complexidades devidas as representações fitogeográficas distintas. Para melhorar o diagnóstico desse estudo é necessário aplicar um esforço mais intenso na separação de silvicultura e floresta, explorar mais a literatura abordada e buscar formas de realçar melhor as diferenças. O ideal para esse desafio é dividir a área de estudo por regiões geograficamente homogêneas, facilitando a aplicação das técnicas mencionadas e diminuindo a contaminação por elementos espectralmente parecidos, que são semanticamente diferentes sob uma ótica mais apurada.

Por fim, conclui-se que o estudo apresentado tem potencial para ser explorado e evoluído, podendo ser uma opção de gestão e monitoramento em grande escala. Em relação a análise temporal e especulação de mercado, a estagnação da paisagem aponta a necessidade de um engajamento maior dos gestores da região abordada, com foco no aumento da área de cobertura florestal da mata atlântica.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição**: República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 15 jun. 2023

BRASIL. Lei Federal nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Brasília, DF, 2006. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm. Acesso em: 01 maio 2023

CRIST, Eric P.; CICONE, Richard C. A physically-based transformation of Thematic Mapper data—The TM Tasseled Cap. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing**, n. 3, p. 256-263, 1984. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TGRS.1984.350619>. Acesso em: 24 abr. 2023

DE MORAES NOVO, E. M. L.; PONZONI, F. J. INTRODUÇÃO AO SENSORIAMENTO REMOTO. São José dos Campos 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/264870631_introducao_ao_sensoriamento_remoto. Acesso em: 01 jun 2023

DEAN, W. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. Companhia das Letras, 1996.

DEVIDE, A. C. P. **HISTÓRIA AMBIENTAL DO VALE DO PARAÍBA**. 2013. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/19558021.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2023

EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO S.A - EMPLASA. **Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte**. São Paulo: Imprensa Oficial do Governo do Estado de São Paulo, 2012. Disponível em: <https://bibliotecavirtual.sdr.sp.gov.br/CatalogoEmplasa.aspx>. Acesso em: 30 maio 2023

GUEDES, F. B.; SEEHUSEN, S. E. Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios. **Brasília: MMA**, 272 p., 2011.

MALILA, W. A. Change vector analysis: An approach for detecting forest changes with Landsat. In: **LARS symposia**. 1980. p. 385. Disponível em: https://docs.lib.purdue.edu/lars_symp/385/. Acesso em: 25 abr. 2023.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Universidade de Brasília, Brasília, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332292728_introducao_ao_processamento_de_imagens_de_sensoriamento_remoto. Acesso em: 25 maio 2023.

MMA. ENREDD+: estratégia nacional para redução das emissões provenientes do desmatamento e da degradação florestal, conservação dos estoques de carbono florestal, manejo sustentável de florestas e aumento de estoques de carbono florestal. **Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental**, 2016.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/35002501>. Acesso em: 01 maio 2023.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Mistura Espectral: modelo linear e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima / Secretaria de Pesquisa e Formação Científica. - Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2021. Disponível em: <https://repositorio.mctic.gov.br/handle/mctic/4782>. Acesso em: 11 maio 2023.

SANTOS, A. R dos; PELUZIO, TM de O.; SAITO, Nathália Suemi. Spring 5.1. 2: Passo a passo: Aplicações práticas. **Alegre, ES: CAUFES**, 2010. Disponível em: <http://www.mundo-geomatica.com.br/spring5x.htm>. Acesso em: 05 jul 2023.

SOS – Mata Atlântica. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/causas/mata-atlantica/>. Acesso em: 01 maio 2023.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote sensing of Environment**, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19780024582/downloads/19780024582.pdf>. Acesso em: 08 out 2023.

TUCKER, C. J. **Use of near infrared/red radiance ratios for estimating vegetation biomass and physiological status**. 1977. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19770025621/downloads/19770025621.pdf> Acesso em: 08 out 2023.

ZANCHETTA, A; BITELLI, G; KARNIELI, A. Monitoring desertification by remote sensing using the Tasselled Cap transform for long-term change detection. **Natural hazards**, v. 83, p. 223-237, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2342-9>. Acesso em: 15 jun. 2023.