

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Juliana Fernandes Vaz Viegas

**AVALIAÇÃO DAS MUDANÇAS DE COBERTURA VEGETAL DE
ÁREAS RIBEIRINHAS NA BACIA DO RIO VACACAÍ MIRIM**

Santa Maria, RS, Brasil
2017

Juliana Fernandes Vaz Viega

**AVALIAÇÃO DAS MUDANÇAS DE COBERTURA VEGETAL DE ÁREAS
RIBEIRINHAS NA BACIA DO RIO VACACAÍ MIRIM**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Ambiental**.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Gustavo Allasia Picilli

Santa Maria, RS, Brasil
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Fernandes Vaz Viega, Juliana
Avaliação das Mudanças de Cobertura Vegetal de Áreas
Ribeirinhas na Bacia do Rio Vacacaí Mirim / Juliana
Fernandes Vaz Viega.- 2017.
104 p.; 30 cm

Orientador: Daniel Gustavo Allasia Piccilli
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental, RS, 2017

1. Sensoriamento Remoto 2. Imagens de Satélite 3.
Vegetação Ciliar 4. Detecção de Mudanças 5. Landsat 5 I.
Gustavo Allasia Piccilli, Daniel II. Título.

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Juliana Fernandes Vaz Viega. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.


E-mail: julianavazviega@gmail.com

Juliana Fernandes Vaz Vieg

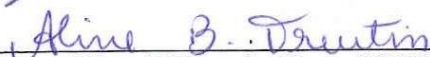
**AVALIAÇÃO DAS MUDANÇAS DE COBERTURA VEGETAL DE ÁREAS
RIBEIRINHAS NA BACIA DO RIO VACACAÍ-MIRIM**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Ambiental**.

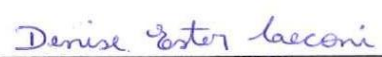
Aprovado em 05 de janeiro de 2017:



Daniel Gustavo Allasia Picilli, Dr.
(Presidente/Orientador)



Aline Biasoli Trentin, Dra. (UNIPAMPA)



Denise Ester Ceconi, Dra. (UFSM)

Santa Maria, RS
2017

Ao meu tio Larri Fonseca Mena (in memoriam),
exemplo de garra, persistência, companheirismo
e amizade. Nosso eterno guerreiro.

AGRADECIMENTO

A Deus, por ter me ajudado durante essa caminhada, dando-me coragem, força e saúde, me auxiliando a enfrentar as dificuldades encontradas no dia a dia;

Aos meus pais, Eddy e Cliz, pelo amor, comprometimento e incentivo constante para permanecer firme ao longo desse desafio, meus amores, os melhores pais do mundo;

À minha irmã Camilla, por ser mais que uma amiga, ser metade do meu coração, minha pequena companheiro de sempre e pra sempre;

Ao meu namorado Felipe, por me ajudar a enfrentar as tempestades, por todo o estímulo, paciência, cumplicidade, ajuda, amor e carinho, que venham mais desafios;

À Universidade Federal de Santa Maria, o alicerce do meu saber;

Ao meu orientador Daniel Gustavo Allasia Piccilli, pela orientação (no real sentido da palavra), pela atenção carinhosa, compreensão, paciência e ensinamentos ao longo dessa jornada que levarei para toda vida, contribuindo para meu crescimento científico, intelectual e pessoal;

À professora Michele Monguilhott, pelo auxílio, atenção e amizade que se estenderam além do Colégio Politécnico;

Às professoras, membros da banca examinadora, pelas contribuições e disponibilidade ao compartilhar esse momento;

Aos professores e a Rosa, secretária do PPGEAmb, sempre dispostos e prestativos a nos auxiliar.

Aos colegas do PPGEAmb e PPGEC que contribuíram com companheirismo, amizade, força e com a expansão dos meus saberes; e

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado, auxiliando no desenvolvimento da pesquisa.

A todos que me trouxeram até este tão importante momento, agradeço de todo coração.

RESUMO

AVALIAÇÃO DAS MUDANÇAS DE COBERTURA VEGETAL DE ÁREAS RIBEIRINHAS NA BACIA DO RIO VACACAÍ MIRIM

AUTORA: Juliana Fernandes Vaz Viega
ORIENTADOR: Daniel Gustavo Allasia Piccilli

A análise constante da condição das vegetações ciliares é fundamental na gestão e conservação dos recursos naturais assim como na manutenção da biodiversidade local. O objetivo principal desse estudo é detectar e analisar as mudanças de cobertura vegetal de áreas ciliares na bacia do Rio Vacacaí Mirim, no estado do Rio Grande do Sul utilizando a técnica de Rotação Radiométrica Controlada por Eixo de Não Mudança (RCEN). A técnica RCEN permite o controle do algoritmo digital da detecção dessas mudanças, através da rotação radiométrica da imagem multitemporal e banda do espectro visível, gerando uma imagem detecção dessas mudanças. Neste estudo foram utilizadas imagens do sensor remoto Thematic Mapper - Landsat 5, para visualização e obtenção de informações das áreas de pesquisa e SIG para realização dos procedimentos da técnica RCEN e visualização das imagens detecção de mudanças. No trabalho, pares de imagens foram analisados, compreendidos entre os anos de 2001 e 2011, em períodos de 5 a 10 anos, possibilitando a análise dessas mudanças ao longo do tempo. As imagens detecção resultantes, após análises estatísticas, foram categorizadas em três classes: degradação, preservação e recuperação da cobertura vegetal. Estes resultados se baseiam nos valores dos pixels analisados em cada uma das cenas estudadas: nas áreas de degradação os pixels se apresentam com valores positivos (mais claros), nas áreas de preservação os pixels se apresentam com valores próximos a zero e nas áreas de recuperação, apresentam valores negativos (mais escuros). A análise do material cartográfico resultante, possibilitou uma visão mais ampla e detalhada da mudança da cena ao longo da bacia do Vacacaí Mirim, através do resultado do impacto das ações antrópicas sofridas e da nova paisagem de cultivo da soja em substituição a áreas de bovinocultura. No estudo verificou-se o quanto a bacia foi degradada ao longo de 10 anos, porém, na análise da drenagem ao longo da mesma aproximadamente 30% da mesma encontrou-se em estágio de conservação e regeneração. A cada dia aumenta a necessidade de estudos, monitoramento e fiscalização de áreas ciliares, tão importantes na manutenção do ecossistema aquático, da disponibilidade e qualidade da água e preservação da biodiversidade, consequentemente, com a obrigatoriedade da inscrição de todos os proprietários rurais no Cadastro Ambiental Rural, demonstrando a importância da pesquisa.

Palavras-chave: Vegetação ciliar. Detecção de mudança. RCEN. Landsat 5.

ABSTRACT

EVALUATION OF COVER VEGETATION CHANGES OF RIPARIAN AREA IN THE WATERSHED OF VACACAÍ MIRIM RIVER.

**AUTHOR: JULIANA FERNANDES VAZ VIEGA
ADVISOR: DANIEL GUSTAVO ALLASIA PICCILLI**

The constant analysis of the condition of ciliary vegetation is fundamental in the management and conservation of natural resources as well as in the maintenance of local biodiversity. The main objective of this study is to detect and analyze the changes of vegetation cover of riparian areas in the Rio Vacacaí Mirim basin, in the state of Rio Grande do Sul, using the technique of Radiometric Rotation Controlled by Axis of Non-Change (RCEN). The RCEN technique allows the control of the digital algorithm of the detection of these changes, through the radiometric rotation of the multitemporal image and band of the visible spectrum, generating an image detection of these changes. In this study, images from the remote sensor Thematic Mapper - Landsat 5 were used to visualize and obtain information from research areas and GIS to perform RCEN procedures and image visualization. At work, pairs of images were analyzed, between the years of 2001 and 2011, in periods of 5 to 10 years, allowing the analysis of these changes over time. The resulting detection images, after statistical analysis, were categorized into three classes: degradation, preservation and recovery of vegetation cover. These results are based on the values of the pixels analyzed in each of the studied scenes: in the areas of degradation the pixels present themselves with positive (clearer) values, in the preservation areas the pixels present themselves with values close to zero and in the recovery areas present negative (darker) values. The analysis of the resulting cartographic material allowed a broader and more detailed view of the change of the scene along the Vacacaí Mirim basin, resulting from the impact of the anthropic actions suffered and the new landscape of soybean cultivation, replacing the bovine farming areas. In the study it was verified how much the basin was degraded during 10 years, but in the analysis of the drainage along the same approximately 30% of the same one was in stage of conservation and regeneration. Increasingly, the need for studies, monitoring and inspection of riparian areas, so important in maintaining the aquatic ecosystem, availability and quality of water and preservation of biodiversity, as a consequence, with the mandatory registration of all rural owners in the Environmental Registry Rural, demonstrating the importance of research.

Keywords: Riparian vegetation. Change detection. RCEN. Landsat 5.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Boletim com os dados do Cadastro Ambiental. | 37 |
| Figura 2 - Espectro de reflectância de uma folha verde e sadia. | 39 |
| Figura 3 - Diagrama analítico das medidas para parâmetros da rotação. | 49 |
| Figura 4 - Fluxograma da metodologia da Técnica RCEN. | 51 |
| Figura 5 - Perda Acumulada de Área da Bovinocultura para Produção de Soja (ha). | 54 |
| Figura 6 - Localização da Bacia Hidrográfica do rio Vacacaí Mirim. | 57 |
| Figura 7 - Municípios que compõem a bacia hidrográfica do Vacacaí Mirim. | 58 |
| Figura 8 - Declividade da bacia hidrográfica do Vacacaí Mirim. | 59 |
| Figura 9 - Tipos de solo da bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim. | 60 |
| Figura 10 - Uso e ocupação da terra na bacia do rio Vacacaí Mirim. | 61 |
| Figura 11 - Fluxograma da Metodologia Empregada. | 62 |
| Figura 12 - Abrangência da área de estudo. | 64 |
| Figura 13 - Comportamento de ponto de não mudança. | 65 |
| Figura 14 - Algoritmo utilizado na geração da imagem detecção. | 67 |
| Figura 15 - Localização dos Pontos Amostrais na área de estudo. | 70 |
| Figura 16 - Relação entre os valores digitais para o período entre 2001-2006. | 71 |
| Figura 17 - Relação entre os valores digitais para o período entre 2006-2011. | 71 |
| Figura 18 - Relação entre os valores digitais para o período entre 2001-2011. | 72 |
| Figura 19 - Imagem Detecção dos Anos de 2001 e 2006. | 74 |
| Figura 20 - Imagem Detecção dos Anos de 2006 e 2011. | 75 |
| Figura 21 - Imagem Detecção dos Anos de 2001 e 2011. | 76 |
| Figura 22 - IDetec Classificada - Anos de 2001 a 2006. | 78 |
| Figura 23 - IDetec Classificada - Anos de 2006 a 2011. | 79 |
| Figura 24 - IDetec Classificada - Anos de 2001 a 2011. | 80 |
| Figura 25 - Uso e Ocupação da Terra no ano de 2001. | 82 |
| Figura 26 - Uso e Ocupação da Terra no ano de 2011. | 83 |
| Figura 27 - Imagem Google Earth PRO® de área da Bacia do rio Vacacaí Mirim - 2001. | 84 |
| Figura 28 - Imagem Google Earth PRO® de área da Bacia do rio Vacacaí Mirim - 2011. | 84 |
| Figura 29 - IDetec 2001-2006 para Buffer de 50 metros. | 86 |
| Figura 30 - IDetec 2006-2011 para Buffer de 50 metros. | 87 |
| Figura 31 - IDetec 2001-2011 para buffer de 50 metros. | 89 |
| Figura 32 - IDetec 2001-2006 para buffer de 30 metros. | 89 |
| Figura 33 - IDetec 2006-2011 para buffer de 30 metros. | 90 |
| Figura 34 - IDetec 2001-2011 para buffer de 30 metros. | 92 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Legislação de acordo com os módulos fiscais..... | 33 |
| Tabela 2 - Legislação de acordo com os módulos fiscais..... | 34 |
| Tabela 3 - Características das bandas espectrais do sensor Thematic Mapper do Landsat 5...42 | |
| Tabela 4 - Métodos de Detecção de Mudanças | 44 |
| Tabela 5 - Valores médios dos pixels dos pontos amostrais em W/m ² | 69 |
| Tabela 6 - Cálculos para fórmula para IDetec 2001-2006..... | 73 |
| Tabela 7 - Dados para fórmula para IDetec 2006-2011. | 73 |
| Tabela 8 - Cálculos para fórmula para IDetec 2001-2011..... | 73 |
| Tabela 9 - Relação entre áreas nos anos de 2001 e 2011. | 81 |
| Tabela 10 - Índices ao longo do rio principal - 2001/2006. | 85 |
| Tabela 11 - Índices ao longo do rio principal - 2006/2011. | 87 |
| Tabela 12 - Índices ao longo do rio principal - 2001/2011. | 88 |
| Tabela 13 - Índices ao longo da drenagem da Bacia - 2001/2006..... | 90 |
| Tabela 14 - Índices ao longo da drenagem da bacia- 2006/2011. | 91 |
| Tabela 15 - Índices ao longo da drenagem da Bacia - 2001/2011..... | 91 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|---|
| ACP | Análise por Componentes Principais |
| APA | Área de Proteção Ambiental |
| APP | Área de Proteção Permanente |
| CAR | Cadastro Ambiental Rural |
| DGI | Divisão de Geração de Imagens |
| EMATER | Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural |
| ERTS | Satélite de Tecnologia de Recursos da Terra, do inglês Earth Resources Technology Satellite |
| FAEG | Federação da Agricultura e Pecuária de Goiás |
| FEPAM | Fundação Estadual de Proteção Ambiental |
| GCP | Pontos de Controle no Terreno, do inglês Ground Control Points |
| IDetec | Imagem Detecção |
| INCRA | Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária |
| IPH | Instituto de Pesquisas Hidráulicas |
| Landsat | Satélite de Detecção Remota Terrestre, do inglês Land Remote Sensing Satellite |
| LCM | Modelagem de Detecção de Mudanças, do inglês Land Change Modeler |
| LPVN | Lei de Proteção da Vegetação Nativa |
| MF | Módulo Fiscal |
| NASA | Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica, do inglês National Aeronautics and Space Administration |
| NDVI | Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, do inglês Normalized Difference Vegetation Index |
| NDWI | Índice de diferença normalizada da água, do inglês Normalized Difference Water Index |
| PDI | Processamento Digital de Imagens |
| PRA | Programa de Regularização Ambiental |
| PROBIO | Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira |
| RCEN | Rotação Radiométrica Controlada por Eixo de Não Mudança, do inglês Radiometric Rotation Controlled by Axis of No Change |
| RCIP | Rotação Controlada por Índice de Precisão |
| REM | Radiação Eletromagnética |
| RMS | Erro Médio Quadrático, do inglês Root Mean Square |
| SiCAR | Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural |
| SIG | Sistema de Informações Geográficas |
| SR | Sensoriamento Remoto |
| SWIR | Radiação de Onda Curta no Infravermelho, do inglês Shortwave Infrared |
| TM | Mapeador Temático, do inglês Thematic Mapper |
| UFRGS | Universidade Federal do Rio Grande do Sul |
| UFMS | Universidade Federal de Santa Maria |
| USGS | Serviço Geológico dos Estados Unidos, do inglês United States Geological Survey |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 23 |
| 2 | OBJETIVO..... | 25 |
| 2.1 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 25 |
| 3 | REVISÃO DE LITERATURA | 27 |
| 3.1 | VEGETAÇÃO CILIAR E SUAS FUNÇÕES..... | 27 |
| 3.1.1 | Degradação da Vegetação Ciliar | 28 |
| 3.1.2 | Recuperação da Vegetação Ciliar | 28 |
| 3.2 | O CÓDIGO FLORESTAL | 29 |
| 3.2.3 | Módulos Fiscais | 32 |
| 3.2.4 | Área de Preservação Permanente | 33 |
| 3.2.5 | Cadastro Ambiental Rural..... | 35 |
| 3.3 | SENSORIAMENTO REMOTO DA VEGETAÇÃO | 37 |
| 3.4 | LANDSAT 5/TM..... | 40 |
| 3.5 | DETECÇÃO DE MUDANÇAS..... | 42 |
| 3.5.1 | Técnicas de Pós Classificação - Supervisionada | 44 |
| 3.5.2 | Técnicas de Pós Classificação - Não Supervisionada..... | 44 |
| 3.5.3 | Técnicas de Pré Classificação - Índices de Diferenciação - NDVI e NDWI | 45 |
| 3.5.4 | Técnicas de Pré Classificação - Análise Composta | 46 |
| 3.5.5 | Técnicas de Pré Classificação - Imagem Diferença | 46 |
| 3.5.6 | Técnicas de Pré Classificação - Razão de Imagens..... | 47 |
| 3.5.7 | Técnicas de Pré Classificação - Análise por Modelo Espectral | 47 |
| 3.5.8 | Técnicas de Pré Classificação - Análise por Componentes Principais..... | 48 |
| 3.5.9 | Técnicas de Pré Classificação - Técnica RCEN | 48 |
| 3.5.10 | Aplicações práticas das técnicas de Detecção de Mudanças | 51 |
| 3.6 | AVANÇO DA SOJA NO RIO GRANDE DO SUL | 53 |
| 4 | MATERIAL E MÉTODOS | 57 |
| 4.1 | ÁREA DE ESTUDO | 57 |
| 4.2 | METODOLOGIA EMPREGADA | 61 |
| 4.3 | ESCOLHA DOS DADOS ESPACIAIS | 63 |
| 4.4 | DETERMINAÇÃO DOS PONTOS DE NÃO MUDANÇA | 65 |
| 4.5 | PROCESSAMENTO DOS DADOS | 66 |
| 4.6 | CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA | 68 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 69 |
| 5.1 | PONTOS AMOSTRAIS | 69 |
| 5.2 | COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO E RETAS DE REGRESSÃO | 70 |
| 5.3 | CÁLCULOS PARA FÓRMULA IDETEC | 72 |
| 5.4 | IMAGENS DETECÇÃO | 74 |
| 5.5 | RESULTADOS DAS IMAGENS DETECÇÃO CLASSIFICADAS | 76 |
| 5.6 | RELAÇÃO DA IMAGEM DETECÇÃO X APP | 85 |
| 6 | CONCLUSÕES..... | 93 |
| 6.1 | RECOMENDAÇÕES | 93 |
| 7 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 95 |

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, mesmo com legislação ambiental específica, as vegetações ciliares, sofreram os impactos da degradação ao longo dos anos. A partir desse cenário é importante a existência de ações que busquem reverter essa situação, reforçando a necessidade da conservação da biodiversidade (SEMA, 2010) e um crescimento sustentável.

O Código Florestal Brasileiro, através da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN), acompanhou essa necessidade sendo objeto de diversas alterações pontuais nos últimos anos. Entre essas mudanças, com a finalidade de aumentar a área nativa como um todo, foram introduzidas dois tipos de áreas de preservação à vegetação nativa: as Áreas de Preservação Permanente (APPs) e a Reserva Legal (GANEM e ARAÚJO, 2010). Tais manobras reforçam que a conservação e reparo dos prejuízos que já foram causados às vegetações ciliares, são essenciais na preservação dos cursos d'água, prevenção da erosão e no sustento à flora e fauna local.

Apesar da nova legislação, em muitos locais houve um retrocesso da vegetação ciliar, fato que deve ser monitorado devido à importância dessa vegetação. A vegetação ciliar auxilia na distribuição gradativa da água pluvial para o corpo d'água e também na recarga dos aquíferos, vale ressaltar que sua degradação dificulta sua função como corredor ecológico e de retenção do solo, o que evita que fenômenos frequentes como os deslizamentos de terra venham a acontecer (KUNTSCHIK, 2014).

Assim, com a finalidade de manter um controle do estado da vegetação ciliar, há um constante desenvolvimento de técnicas e metodologias que permitam monitorar e avaliar o estado e tendências dessas áreas. Essas metodologias, em maior parte, são baseadas em técnicas de sensoriamento remoto e orientadas na identificação quantitativa e qualitativa das mudanças, dessa forma se estabelecem pontos comparativos no tempo e espaço (HEINSCH et al., 2006).

As metodologias se baseiam na comparação e sobreposição de informações retiradas de imagens, de datas distintas, permitindo realizar uma análise temporal que possibilita uma visão detalhada e nítida da mudança ao longo dos anos e, portanto, uma melhor visualização do efeito de eventuais ações antrópicas ocorridas na paisagem. Entre as técnicas podem mencionar-se: Análise por Componentes Principais ((MALDONADO et al., 2002), Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (LUNETTA et al., 2006) e técnica de Rotação Radiométrica Controlada por Eixo de Não Mudança (RCEN) (MALDONADO, 2004), entre outras.

A grande maioria dessas técnicas, dependem de uma etapa preliminar no processo: a correção atmosférica. Segundo Araújo (2010) e Maldonado et al. (2009), como os sinais da radiação eletromagnética (REM) capturadas pelos satélites sofrem alterações causadas pelo espalhamento e absorção de gases e aerossóis, a correção atmosférica é exigida em muitas aplicações de sensoriamento remoto para somente assim gerar resultados aceitáveis.

A técnica RCEN foi escolhida para o desenvolvimento do trabalho por ser uma técnica simples de detecção de mudanças que não necessita de correções atmosféricas simplificando o tempo operacional de tratamento e permitindo obter resultados satisfatórios na detecção de mudanças (MALDONADO, 2005).

A metodologia baseia-se na regressão linear dos valores radiométricos de regiões representativas de não mudança entre duas bandas com datas diferentes e com resolução espectral semelhante (MALDONADO et al., 2007). Apesar de ser uma técnica de utilização rápida, por requerer menos tempo em seu processamento, necessita de coleta de pontos amostrais que permitem viabilizar as classes temáticas que sofrem mudanças (SCHARLAU, 2011).

2 OBJETIVO

Mostrar a aplicabilidade da técnica RCEN na forma proposta por Maldonado (2004), numa comparação multitemporal a partir de imagens Landsat (Land Remote Sensing Satellite) e verificar a habilidade da metodologia na estimativa das áreas de recuperação e degradação da cobertura vegetal e seus níveis de intensidade em trechos de áreas ribeirinhas da bacia do rio Vacacaí Mirim, no estado do Rio Grande do Sul.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar eventuais mudanças na cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Vacacaí Mirim aplicando a técnica RCEN para o período histórico compreendido entre 2001 e 2011;
- Avaliar se o cenário atual das APPs está de acordo com Legislação de Proteção da Vegetação Nativa.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 VEGETAÇÃO CILIAR E SUAS FUNÇÕES

Segundo Barbosa (1989), a vegetação ciliar é uma formação vegetal indispensável ao equilíbrio ambiental e também relacionada com a manutenção de nascentes e demais corpos d'água. Esse tipo de vegetação impede o assoreamento causado pela erosão laminar e pelas águas de escoamento e desempenha importante papel regulador entre o fluxo de água e de sedimentos entre as áreas de maior altitude da bacia e o sistema aquático.

Martins (2007) destaca que as denominações diferem nas regiões do Brasil, sendo chamadas por: floresta ripária, florestas ribeirinhas, matas de galeria, floresta ripícola e floresta beiradeira. O autor define como mata ciliar a vegetação remanescente nas margens dos cursos d'água em uma região que era anteriormente ocupada por mata e, como mata de galeria aquela vegetação mesofílica que margeia os cursos d'água onde a vegetação original não era de mata contínua.

Embora essa vegetação apesar de ser comumente denominada de mata ciliar, nem sempre se apresenta em forma de mata, suas características dependem da vegetação local, portanto é indicado denominá-la de vegetação ciliar. Independente de origem ou denominação, a vegetação que margeia as nascentes e cursos de água é fundamental para a preservação ambiental e em especial para a manutenção das fontes de água e da biodiversidade.

Essa vegetação desempenha a função de filtro de poluentes, e também pode ser chamada de zona tampão, sua extensão espacial varia longitudinalmente e lateralmente ao longo da rede de drenagem. Essa barreira protege o rio de sedimentos do solo e demais resíduos, que poderiam causar erosão, assoreamento e contaminação da água (VOGEL et al., 2009).

Devido à importância das vegetações ciliares no equilíbrio ambiental, a recuperação dessas áreas traz benefícios significativos sob vários aspectos. Em escala local e regional, protegem a água e o solo, oferecem abrigo e sustento à fauna e funcionam como barreira reduzindo a propagação de pragas e doenças nas culturas agrícolas. Em escala global, as florestas em crescimento fixam carbono e contribuem para a redução dos gases de efeito estufa (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2002). Ainda sobre a vegetação ciliar e a forma em que ela se apresenta, Naiman et al. (2005) explica

que a base para a compreensão de sua dinâmica é a geomorfologia da bacia hidrográfica e os processos físicos que nela ocorrem.

3.1.1 Degradação da Vegetação Ciliar

O processo de urbanização exerce pressões antrópicas diversas em relação à vegetação ciliar. Assim, mesmo com amparo legal, que torna obrigatória a preservação dessas áreas, essas pressões resultam na degradação de formações ciliares o que acarreta em vários problemas ambientais (TERRES e MULLER, 2008).

De acordo com Martins (2001), além do processo de urbanização, a vegetação ciliar também sofre com as influências antrópicas por serem áreas favoráveis à construção de estradas, hidrelétricas, para o cultivo agrícola e uso por parte de pecuaristas.

Conforme Braga (2005) é necessário uma estratégia de preservação integrada de floresta e água, tanto no meio rural quanto no urbano. O aumento populacional desordenado, resulta em um incremento do consumo de água e na produção de lixo e esgoto, levando a um iminente colapso na disponibilidade hídrica para o abastecimento humano.

O processo de regeneração e preservação dessas áreas influenciam na qualidade da água, na regulação do regime hídrico, na estabilização de margens do rio, na redução do assoreamento da calha do rio e são influenciadas pelas inundações, pelo aporte de nutrientes e pelos ecossistemas aquáticos que elas margeiam (CASTRO e DILTON, 2012).

Portanto, a preservação dessa vegetação ciliar, uma legislação adequada e o desenvolvimento de pesquisa que detectem essas mudanças são importantes e servem como estímulo para o equilíbrio dos ecossistemas, encontrando-se a proteção de mananciais entre as missões relacionadas à gestão das águas e à política de gerenciamento das águas, consideradas fundamentais (TUNDISI, 2003).

3.1.2 Recuperação da Vegetação Ciliar

A técnica ideal a ser utilizada na recuperação da vegetação ciliar deve ser escolhida de acordo com o estado de degradação da área. Nascimento (2001) descreve alguma dessas técnicas:

- **Regeneração natural:** é a recuperação através do repouso ou isolamento da área. Não é um processo indicado para áreas com forte degradação ou com longos períodos de cultivo. Ela ocorre por meio de sementes e/ou brotação de propágulos

subterrâneos já existentes no solo ou levados por animais ou por meio da dispersão pelo vento.

- **Plantio de Enriquecimento:** tem como objetivo aumentar a população de determinadas espécies, acelerando a recuperação da área. Esse aumento é feito através do plantio de mudas e/ou sementeira direta entre as próprias árvores remanescentes.
- **Reflorestamento:** o processo é adequado para áreas com forte degradação e é a opção final quando as demais técnicas não são indicadas. A técnica tem um maior custo, porém um resultado mais rápido. É feita através do plantio de espécies nativas e/ou exóticas que possuam possibilidade de adaptação ao local. Dependendo da espécie escolhida o agricultor pode utilizá-la como forma de renda, com o uso da madeira, alimentação, por meio de um manejo adequado.

O processo de regeneração natural tem grande importância na restauração de florestas em áreas que necessitam de recuperação ambiental, como também naquelas já estabelecidas. Ele auxilia na manutenção das espécies nativas que resistiram na região como também na renovação da flora local (HULLER et al., 2011).

Através do auxílio de banco de sementes, juntamente com o isolamento de área levemente degradada e a eliminação do processo causador da degradação, é possível uma restauração florestal. Apesar de lenta, a regeneração natural é uma forma de restauração de baixo custo (BARRETO e NETO, 2009).

Como resultado desse processo, o estudo desenvolvido por Fonseca (2013), realizado em parque localizado no município de Cachoeirinha, Rio Grande do Sul, demonstra que área possui uma boa capacidade de regeneração natural. Apesar da área ser anteriormente utilizada para a criação de gado, hoje apresenta cobertura de campo nativo, expansão de arbustos e árvores florestais e uma vegetação ciliar.

3.2 O CÓDIGO FLORESTAL

O Código Florestal brasileiro institui as regras gerais sobre onde e de que forma o território brasileiro pode ser explorado, ao determinar as áreas de vegetação nativa que devem ser preservadas e quais regiões são legalmente autorizadas a receber os diferentes tipos de produção rural (PORTAL BRASIL, 2012, a).

Em 1934, em meio à expansão cafeeira ocorrida no Sudeste, surgiu o primeiro Código Florestal do país. O código foi sancionado pelo governo, através do decreto nº. 23.793, junto com os códigos de Água, Minas, Caça e Pesca, em uma tentativa de ordenar o uso dos recursos naturais.

Com o avanço das plantações em direção às zonas rurais da cidade, sendo empurradas para cada vez mais longe das cidades, o que dificultava e encarecia o transporte de lenha e carvão - insumos energético de grande importância nessa época. O Decreto 23.793/1934 visava, então, enfrentar os efeitos sociais e políticos negativos causados pelo aumento do preço e eventual falta da lenha e carvão, e garantir a continuidade do seu fornecimento. Para isso, o "Código Florestal Brasileiro" obrigou os donos de terras a manterem a chamada "quarta parte" (25%) da área de seus imóveis com a cobertura de mata original, uma espécie de "reserva florestal" (FERREIRA, 2014).

No ano de 1962, o ministro da Agricultura, reivindicou, a reformulação da legislação florestal. Essa reformulação do Código levou três anos e, em 15 de setembro de 1965, a Lei Federal nº. 4.771 foi sancionada (SOS FLORESTAS, 2011).

A Constituição Federal trouxe, em 1988, diversas inovações na matéria ambiental, instituindo em seu artigo 225 o “meio ambiente equilibrado” como um direito fundamental do cidadão Brasileiro. Já em 1989, a Lei Federal nº. 7.803 determinou que a reposição das florestas utilizasse prioritariamente espécies nativas, embora não proibisse a utilização de espécies exóticas. Outra nova determinação foi a de Reserva Legal, um percentual de limitação de uso do solo na propriedade rural, uma área não passível de conversão às atividades que demandem a remoção da cobertura vegetal (ELTZ, 2011).

A lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN), Lei nº 12.651/2012, surgiu em meio a polêmicas entre ambientalistas e ruralistas. Scholz (2013), afirma que não se pode negar que o novo Código Florestal trouxe uma forma inovadora para a dinâmica ambiental, o que ampliou experiências que foram pontualmente bem sucedidas, regionalmente, para o âmbito nacional, na tentativa da preservação das vegetações nativas.

Em estudo desenvolvido por Sparovek et al. (2010), os autores afirmam que a legislação ambiental carecia de uma revisão ou complementação com novos mecanismos, não a fim de impedir o desenvolvimento da nação, mas sim que o desenvolvimento possa coexistir com a preservação dos recursos naturais que ainda existem no Brasil.

Além disso, Ellovitch e Valera (2013) afirma que o Código Florestal vai além de regular o regime jurídico das florestas. Ele contribui, indiretamente, porém de forma decisiva, em uma série de fatores intrínsecos à preservação dessa vegetação: como a preservação da

fauna, biodiversidade, regulação hídrica, qualidade do solo e do ar. Assim, é uma ferramenta essencial e de garantia jurídica para a preservação e recuperação de ecossistemas.

Sparovek et al. (2010) ainda afirmam que a preservação da vegetação natural tem grande importância, pois contribui para a conservação da biodiversidade e minimiza os efeitos nocivos antrópicos, como por exemplo, as emissões de gases de efeito estufa. Portanto é necessário dar ênfase que a vegetação natural não deve ser utilizada sem uma real necessidade e estudo pois, além do processo de regeneração da área ser uma operação cara e complexa, o processo é sempre apenas parcial em termos de valor ecológico. Assim, reforçou-se a necessidade da revisão do Código Florestal de maneira que ele pudesse melhorar sua eficiência pelo caminho não mais simples, porém certamente o mais responsável.

Segundo Fonseca (2012), para tentar conciliar o conflito de interesses entre ambientalistas e ruralistas, a preservação ambiental e o respeito às normas jurídicas, o novo Código Florestal trouxe princípios que merecem atenção, como o reconhecimento das vegetações como bens de interesse comum a todos; o compromisso com a preservação da vegetação, biodiversidade e recursos hídricos; o reconhecimento de uma produção rural baseada na manutenção, recuperação das florestas e utilização de um modo sustentável de produção agropecuária; a responsabilidade da federação e sociedade civil na criação de políticas públicas para a preservação e restauração da vegetação nativa; fomento à inovação ambiental e à promoção do desenvolvimento de atividades sustentáveis.

Dessa forma, Garcia (2012), apresenta alguns dos principais pontos de alterações na legislação e passíveis de conflitos de interesses entre o setor rural e o ambiental, sendo eles:

- Deixam de existir como APP: topos de morro, montanhas e serras; áreas com altitude acima de 1800 metros; linhas de cumeada; escarpas; locais de refúgio ou reprodução de aves migratórias; locais de refúgio ou reprodução de exemplares da fauna ameaçadas de extinção; praias, em locais de nidificação e reprodução da fauna silvestre;
- Deixam de ser consideradas APP os manguezais e veredas;
- Redução da APP ripária para os rios de menos de 5 metros de largura, para uma faixa de 15 metros;
- Adota-se o leito menor como referencial para fins de delimitação das APP de cursos d'água ao invés do leito maior como no código antigo;
- Incorpora a dispensa da Reserva Legal para as “pequenas propriedades ou posses rurais” (até 04 módulos fiscais);
- Permite a redução da Reserva Legal para fins de regularização ambiental; e

- Cômputo das Áreas de Preservação Permanente no cálculo do percentual da Reserva Legal do imóvel;

Vale ressaltar ainda, que na nova legislação, o artigo 62, define que as áreas consolidadas por atividades agrossilvipastoris, de turismo rural e ecoturismo que já existiam em APPs até 22 de julho de 2008 seguirão sendo consideradas áreas consolidadas. Porém, estas não podem estar em áreas de risco e também devem ser observados critérios técnicos de conservação da água e do solo estabelecidos no Programa de Regularização Ambiental (PRA).

Nos critérios analisados, a nova legislação, beneficia o agricultor, nos termos de área consolidada. Já nos critérios de medição das APPs, que leva em conta o leito regular dos rios e cursos d'água, apesar de facilitar o acesso para medição dos locais, acaba diminuindo a área passível de preservação.

3.2.3 Módulos Fiscais

O Módulo Fiscal (MF), termo criado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), é uma unidade de medida agrária para representar a área mínima necessária para que uma propriedade rural seja considerada economicamente viável (BRASIL, 1980).

O tamanho dos MFs foi definido através da Instrução Especial número 20, de 1980, do INCRA e instituído pela Lei nº 6.746, de 10 de dezembro de 1979. Seu tamanho varia de 5 a 110 hectares, conforme o município (BRASIL, 1980).

O tamanho de um MF nunca tinha sido utilizado para fins de legislação ambiental. Com a revisão do Código Florestal, Lei n. 12.651/2012, ele passou a ter um tratamento diferenciado, utilizando a sua medida para a classificação fundiária das propriedades rurais e o enquadramento delas perante à lei. Porém, considera apenas o tamanho, sem diferenciar condições sociais dos proprietários ou possibilidades de possíveis desmembramentos para redução de MF. De maneira geral, municípios das Regiões Sul e Sudeste, bem como aqueles situados no litoral ou próximos de regiões metropolitanas apresentam MF menor que os demais e entre os municípios do Rio Grande do Sul, seu tamanho varia entre 7 e 40 módulos fiscais (LANDAU, 2012).

Quanto aos módulos fiscais, tornou-se impossibilitada uma análise devido a não divulgação desses dados pelo governo durante o período da pesquisa. Esse é um dado essencial no cumprimento da legislação e que merece um aprofundamento de estudos na área.

Os MFs não possuem uma padronização, cada município possui seus próprios valores para a medida de 1 módulo fiscal, porém pouco se aborda sobre quais critérios são utilizados para a definição dessas medidas.

A Tabela 1, de acordo com a Lei 12.651, não representa a área de delimitação da APP, que continuam as mesmas. Ela representa a obrigatoriedade da recomposição de APP em áreas consolidadas.

Tabela 1 - Legislação de acordo com os módulos fiscais.

| Tamanho da Propriedade Modalidade APP | 1 MF | | de 1 a 2 MF | | de 2 a 4 MF | | > 4 MF | |
|---|-----------------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|------------|---|
| | Curso D'água Naturais | Todas as larguras | 5m | Todas as larguras | 8m | Todas as larguras | 15m | 50% rio. Desde que: Mínimo 20 m Máximo 100 m |
| Nascentes | 20m | | 20m | | 20m | | 20m | |
| Lagos e Lagoas Naturais | 5m | | 8m | | 15m | | 30m | |
| Veredas | 30m | | 30m | | 30m | | 50m | |
| Manutenção de Residência e Infraestrutura | Consolida | | Consolida | | Consolida | | Consolida | |
| Exigência de recomposição | 10% | | 10% | | 20% | | Sem limite | |

Fonte: Sistema FAEG (2012).

3.2.4 Área de Preservação Permanente

Por meio da Medida Provisória n.º 2.166/67, de 2001, o conceito de APP foi adicionado ao Código Florestal de 1965, definida como uma área protegida, que pode ser coberta ou não por vegetação nativa, e tem por função preservar os recursos hídricos, a paisagem e a biodiversidade, conservar o solo e assegurar a sua proteção perante à lei. O novo código ainda determina que as APPs têm a função de preservar locais frágeis como beiras de rios, topos de morros e encostas.

As APPs possuem uma função ambiental muito mais ampla e não apenas de preservação da vegetação e da biodiversidade. Essas áreas são responsáveis pela proteção e

pela conservação da qualidade ambiental, garantindo a estabilidade geológica. Por meio da conservação das APPs também garantem a proteção do solo, prevenindo o assoreamento dos corpos d'água, a ocorrência de deslizamentos de terra e enxurradas, garantindo assim o bem estar das populações humanas. (SCHAFFER et al., 2011).

A Lei nº 12.651/2012, torna evidente que a legislação referente à APP deve ser cumprida, tanto nas áreas rurais como em áreas urbanas, já que na vigência da Lei nº 4.771/1965, não ficava explícito e portanto, setores consideravam que o Código Florestal só deveria ser aplicado à área rural (AHMAD e RAMOS, 2012).

Segundo Araújo (2002) ao longo dos cursos d'água, deveriam ser observadas todas as normas que regulam as APPs. Na prática, essas áreas têm sido ignoradas na maioria dos núcleos urbanos, o que resulta em graves prejuízos ambientais como a formação de voçorocas, perda de solo, assoreamento e contaminação dos corpos d'água.

Na legislação florestal existem discrepâncias que evidenciam a dificuldade de sua aplicação e também de seu cumprimento, principalmente quando leva-se em consideração à ocupação de áreas ribeirinhas. Essa ocupação é uma prática histórica na sociedade humana que se estabeleceu desde os primórdios em regiões próximas aos cursos d'água, o que justifica o panorama atual de ocupação das margens pela sociedade contemporânea (NEIVA, 2009).

Lanuci e Borges (2014) explicam que houve uma alteração no novo Código Florestal, na forma da medição da área que deve ser preservada na margem dos rios. Ao invés de ser realizada a partir da cheia dos rios (Lei 4771 de 1965) passou a ser feita a partir do nível regular de água dos rios (Tabela 2). Como aspecto positivo, esta mudança facilitou o acesso aos locais para a medição, entretanto por outro lado, a alteração diminuiu a área passível de preservação.

Tabela 2 - Legislação de acordo com os módulos fiscais.

| | Lei 4.771/1965 | Lei 12.651/2012 |
|-----------------------|-----------------|---------------------|
| Início da Faixa | Nível Mais Alto | Calha Leito Regular |
| Cursos de até 10 m | 30 metros | |
| Cursos de 10 à 50 m | 50 metros | |
| Cursos de 50 à 200 m | 100 metros | |
| Cursos de 200 à 600 m | 200 metros | |
| Cursos acima de 600 m | 500 metros | |

Os impactos negativos causados pelo meio urbano aos recursos naturais são mais acentuados do que em relação ao meio rural, principalmente quando os cursos d'água estão inseridos no contexto da cidade. Assim, mesmo que o Código Florestal Brasileiro estabeleça limites fixos de faixas de vegetação a serem preservadas com base na largura do corpo d'água, ele não leva em consideração critérios científicos que poderiam ser utilizados na determinação da largura dessas faixas de áreas ciliares (CECONI, 2010).

3.2.5 Cadastro Ambiental Rural

Um dos pontos altos do novo Código Florestal é o Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SiCAR), um sistema georreferenciado via Web, obrigatório para todos os imóveis rurais e que permite o registro de mais de 5 milhões de propriedades, melhorando a transparência e servindo de auxílio para a conformidade ambiental (SOARES FILHO et al., 2014).

O decreto do Ministério do Meio Ambiente, exige que o produtor realize o cadastro através do Sistema SiCAR de seu estado. Nos casos em que o estado não tenha criado seu próprio SiCAR, é utilizado o sistema federal. O estado do Rio Grande do Sul possui seu próprio sistema, o Sistema de Cadastro Ambiental do Rio Grande do Sul.

Para os estados que criaram seu próprio módulo de cadastro, as informações de cada propriedade neles cadastradas, deverão ser integradas aos dados federais. Esta lei foi criada, por alguns estados já terem meios virtuais para cadastro de propriedades, antes da instituição da Lei nº 12651/12.

Nos imóveis de até 4 MF, a inscrição no CAR tem o apoio de um técnico do governo. Para estes imóveis é necessário apenas 1 ponto de georreferenciamento. Todos os produtores maiores que 4 MF deverão ter uma planta com todo perímetro georreferenciado. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2012).

Portanto, com a instituição da obrigatoriedade do Cadastro CAR, o sensoriamento remoto fica em evidência através do uso de imagens de satélite atualizadas utilizadas como referência:

Para a delimitação das Áreas de Proteção Permanente (APP), Reserva Legal (RL), remanescentes de vegetação nativa, área rural consolidada, áreas de interesse social e de utilidade pública, com o objetivo de traçar um mapa digital a partir do qual são calculados os valores das áreas para diagnóstico ambiental (mapa de uso e cobertura do solo). Os maiores benefícios são a redução do tempo de análise dos processos em

até 90% e a aquisição de informações mais precisas e atuais captadas pelo satélite (BITTENCOURT et al., 2015).

A inscrição do imóvel no Cadastro Ambiental Rural (CAR) deve ser feita junto ao órgão ambiental municipal, estadual ou federal. O prazo de adesão, inicialmente era de um ano, começando em 25/05/2012, porém o governo federal estendeu o prazo para inclusão de imóveis no CAR, primeiramente até maio de 2016 (PORTAL BRASIL, 2015, b) e em maio de 2016 o prazo foi novamente estendido até 31 de dezembro de 2017, para todos os agricultores do país, através de Medida Provisória 707/2015.

A prorrogação para o Cadastro Ambiental Rural demonstra a dificuldade para a adequação às novas exigências do novo Código Florestal. Além do mais, a dimensão do território brasileiro e suas particularidades dificultam a conservação e fiscalização pelos órgãos competentes de vegetações ciliares e do uso e ocupação adequados do solo rural e urbano.

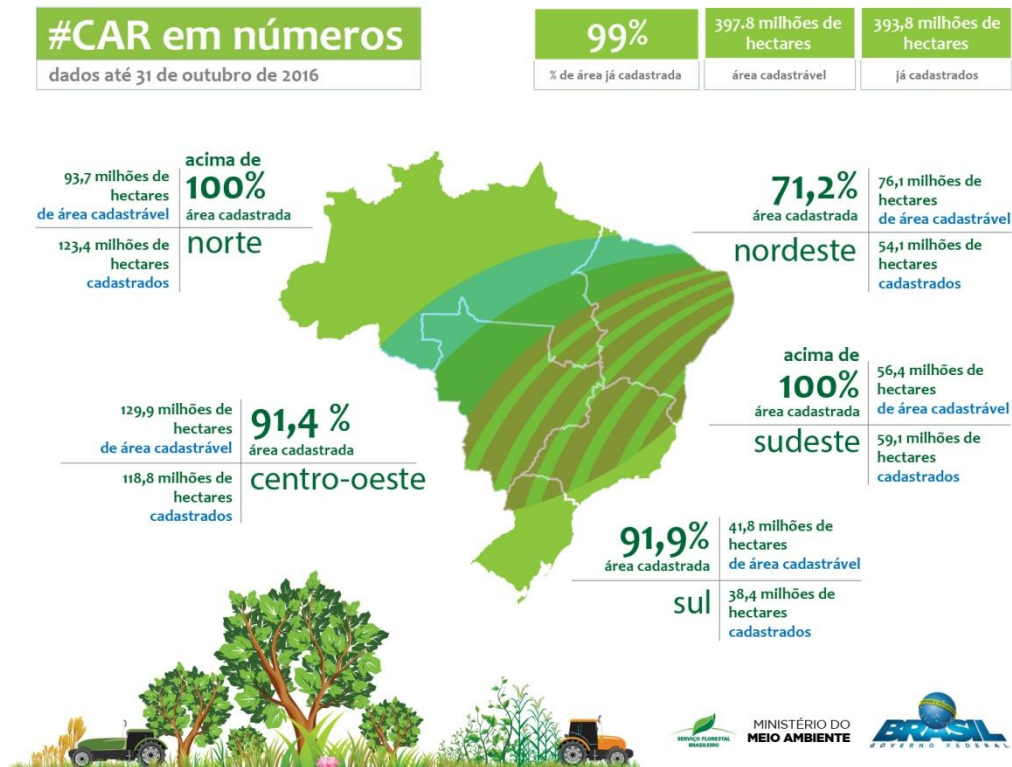
Segundo o INCRA (2015) no ano de 2015, dos mais de 397 milhões de hectares passíveis de regularização ambiental, apenas 52,8% da área total encontravam-se regularizadas, ou seja, apenas um pouco mais de 1,4 milhão de imóveis rurais de todo o país estavam dentro da lei.

Já o ano de 2016 mostra um grande avanço, mesmo com o prazo final para dezembro de 2017, mais de 3,19 milhões de imóveis rurais brasileiros já estão cadastrados no CAR (Figura 1), totalizando mais de 393 milhões de hectares (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2016).

No dia 29 de novembro de 2016 foi anunciado pelo governo o lançamento do mapa do CAR através de um portal online para acesso público dos dados do cadastramento ambiental dos imóveis rurais em todo o Brasil (FLORESTAL BRASIL, 2016). Nesse portal são disponibilizados dados como: áreas cadastradas, total de imóveis, total de APPs a serem recompostas, total de RL, além de uma base de *downloads* com arquivos em formato *shapefiles* e Excel.

Para a realização do cadastro ambiental são analisados aspectos com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento, juntamente às técnicas de Sensoriamento Remoto (SR). Verifica-se a importância das técnicas de detecção de mudanças e da análise de características espectrais da vegetação no levantamento das informações e na identificação de alterações ambientais.

Figura 1 - Boletim com os dados do Cadastro Ambiental.



Fonte: Serviço Florestal Brasileiro (2016).

3.3 SENSORIAMENTO REMOTO DA VEGETAÇÃO

Considerando a exigência na legislação vista acima de faixas de preservação ao longo dos cursos d'água, é conclusivo que no Brasil, considerando o seu tamanho, a tarefa de definição e controle desta faixa seja facilitado a partir de informações de sensoriamento remoto. As imagens derivadas do sensoriamento remoto são designadas:

Por sua natureza digital ou discreta, são constituídas por um arranjo de elementos sob a forma de uma malha ou grid. Cada célula desse grid tem sua localização definida em um sistema de coordenadas do tipo "linha e coluna", representados por "x" e "y", respectivamente. Por convenção, a origem do grid é sempre no seu canto superior esquerdo. O nome dado a essas celas é pixel, derivado do inglês "picture element". Para um mesmo sensor remoto, cada pixel representa sempre uma área com as mesmas dimensões na superfície da Terra. Cada cela possui também um atributo numérico "z", que indica o nível de cinza dessa cela, que obviamente vai variar do preto ao branco; esse nível de cinza é conhecido em inglês por DN, de "digital number" (CEPSRM, 2015).

Conforme Boggione (2004), os fenômenos de espalhamento de luz e efeitos atmosféricos, também contribui na medida da radiância representada em cada pixel da

imagem, portanto seu nível de cinza, não é apenas resultado da radiação refletida pela superfície contida na cena do pixel.

Assim, os números digitais existentes em cada banda da imagem de satélite são proporcionais aos valores de radiância que foram medidos pelos detectores, em cada faixa do espectro eletromagnético. Cada objeto reflete a quantidade relativa de radiação eletromagnética, portanto valores elevados de reflectância apresentam valores de cinza altos e caso reflitam pouca radiação eletromagnética apresentam valores baixos (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010).

Uma imagem de satélite é composta por várias bandas, elas são determinadas por parcelas do espectro eletromagnético e limitadas por dois comprimentos de onda. Por exemplo, o satélite Landsat 5, através do seu sensor TM (Thematic Mapper), possui 6 bandas que compreendem as regiões do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio com resolução espacial de 30 metros e 1 banda do infravermelho termo com 120 metros (ARAUJO e MELLO, 2010).

Moraes (2002), apresenta as características de algumas bandas do espectro eletromagnético relacionadas com alguma propriedade especial:

- Espectro óptico: região que engloba as energias que podem ser coletadas por sistemas ópticos (ultravioleta, visível e infravermelho).
- Espectro solar: região que compreende os tipos de energia emitidas pelo Sol, cerca de 99% da energia solar que atinge a Terra e encontra-se concentrada na faixa de 0,28 a 4 μm .
- Espectro visível: região que é passível de percepção pelo sistema visual humano, também denominado de luz.
- Espectro termal: região das energias emitidas pelos objetos terrestres, localizada nos intervalos espectrais que corresponde ao infravermelho médio e distante.

De acordo com Ponzoni (2002), é importante levar em consideração que um dossel vegetativo é constituído por elementos como: folhas, galhos, frutos, flores, entre outros elementos e que cada um desses elementos da vegetação se comporta espectralmente de maneira diferenciada, portanto é importante o estudo de suas reflectâncias espectrais.

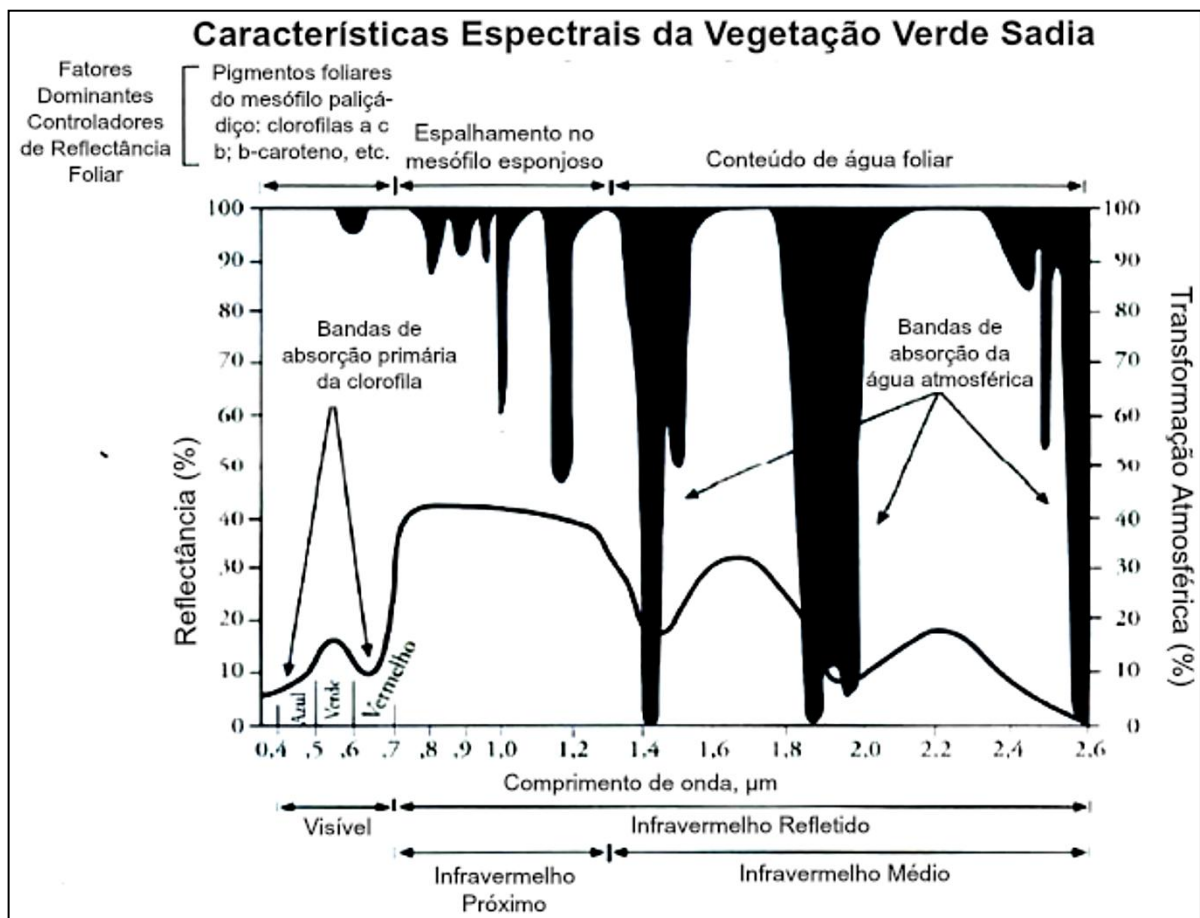
A energia incidente que atinge cada um dos elementos vegetativos, através do fluxo de Radiação Eletromagnética (REM), varia de acordo com o seu tipo e a capacidade do alvo estudado para: absorver (alvos apresentam menores valores de energia transmitida e refletida), transmitir (alvos permitem que a energia o atravesse e atinja as demais camadas) e refletir

(alvos apresentam comportamento característico de reflexão e espalhamento da energia incidente) (MOREIRA, 2005).

Segundo Jensen (2009), a reflectância da vegetação tem um aumento considerável no infravermelho próximo, na região entre 700 e 1200 nm. Nessa banda, a vegetação verde sadia caracteriza-se por ser de alta reflectância (40 - 60%), alta transmitância (40 - 60%) e relativamente baixa absorptância (5 - 10%), conforme a Figura 2. As principais razões pelas quais os dosséis de plantas saudias refletem tanto no infravermelho próximo são as seguintes:

- A folha já reflete de 40 a 60% da energia do infravermelho próximo incidente devido ao mesófilo esponjoso; e
- Dos restantes, 45 a 50 % da energia penetra (ou seja, são transmitidos) na folha e pode ser refletida uma vez mais pelas folhas abaixo. Fenômeno chamado reflectância foliar aditiva.

Figura 2 - Espectro de reflectância de uma folha verde e sadia.



Fonte: Jensen (2009).

O monitoramento das mudanças de cobertura vegetal via satélite é um dos usos do sensoriamento remoto e contribui para a obtenção de dados e informações referentes à situação da vegetação e recursos naturais em áreas de estudos desejadas.

3.4 LANDSAT 5/TM

De acordo com Alves et al. (1998) a utilização de imagens de satélite vem possibilitando estudos de desmatamento em várias regiões do Planeta, particularmente em regiões tropicais, onde extensões significativas de florestas não poderiam ser monitoradas facilmente sem o recurso dos satélites de Sensoriamento Remoto.

No final da década de 60, teve início o sistema Landsat (Land Remote Sensing Satellite), por meio de um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana. Seu principal objetivo foi possibilitar o mapeamento multiespectral em alta resolução dos recursos naturais terrestres. Em 1972, foi lançado o primeiro satélite da série, o ERTS-1 e desde então vem obtendo êxito por permitir o mapeamento da dinâmica espaço temporal do uso das terras. Desde os anos setenta, a antena de captação do INPE, localizada em Cuiabá, recebe as imagens que constituem um acervo único de dados ao redor do planeta (EMBRAPA, 2016).

O programa Landsat, administrado pela NASA e gerenciado pela USGS, fornece imagens que permitem avaliar os recursos naturais terrestres. A plataforma do Landsat, inicialmente chamada de ERTS (Earth Resources Technology Satellite) gera imagens que ajudam em análises regionais, embora falte aos sensores a resolução desejada para um maior detalhamento para as análises (MARQUES, 2009).

A resolução geométrica do sensor TM do satélite Landsat 5, de acordo com Loch (1988) fornece condições para identificar, quantificar, avaliar e acompanhar as alterações provocadas na estrutura fundiária do uso do solo e na rede viária.

O Sensor TM, segundo Teixeira (2008) é composto por sete bandas, representadas por algarismos de 1(um) a 7 (sete). Cada banda corresponde a uma determinada faixa do espectro eletromagnético (Tabela 3). A resolução geométrica das imagens obtidas nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 é de 30 metros, sendo que cada pixel da imagem equivale a uma área do terreno referente a 0,09 hectares. Já na banda 6 a resolução geométrica da imagem é de 120 metros, representando no terreno uma área equivalente a 1,4 hectares.

O Landsat 5 possui órbita polar e circular heliossíncrona, passando na mesma hora em qualquer ponto observado e seu sistema funciona por meio da utilização da energia solar, captada por painéis solares. Também, possui tecnologias de auto correção de órbita e

posicionamento, o que garante produtos geometricamente constantes. Ele possui dois subsistemas: o satélite (aquisição de dados) e o apoio terrestre (processamento dos dados) (NOVO, 1992).

A longevidade do satélite é reconhecida pelo Livro dos Recordes, o Landsat 5, desativado em 2013, orbitou o planeta mais de 150 mil vezes e captou e transmitiu mais de 2,5 milhões de imagens da superfície da Terra, superando seu projeto original, que era de três anos, por mais de 29 anos (KLEMP, 2015).

Tabela 3 - Características das bandas espectrais do sensor Thematic Mapper do Landsat 5.

| Banda | Comprimento de Onda | Descrição |
|--|----------------------------|--|
| Banda 1 (azul) | 0,45 – 0,52 μm | A banda pode ser utilizada em análises de uso do solo e características da vegetação e possui a maior capacidade de penetração em corpos hídricos. Os comprimentos de onda < 0,45 μm caracterizam-se pela influência do espalhamento e absorção atmosférica. |
| Banda 2 (verde) | 0,52 – 0,60 μm | A banda abrange a região da absorção da clorofila no azul e no vermelho e é a região que apresenta resposta à reflectância da vegetação sadia no verde. |
| Banda 3 (vermelho) | 0,63 – 0,69 μm | A banda de absorção por clorofila da vegetação verde sadia e é útil para a discriminação da vegetação. Essa banda pode exibir mais contraste do que as bandas 1 e 2 devido ao efeito reduzido da atenuação atmosférica. O limite superior de 0,69 μm é importante porque compreende o início de uma região espectral de 0,68 a 0,75 μm em que a reflectância muda abruptamente (borda vermelha ou red edge), o que pode reduzir a precisão das investigações da vegetação. |
| Banda 4 (infravermelho próximo). | 0,76 – 0,90 μm | A banda é útil na identificação de culturas e no realce de contrastes, como solo x cultura e terra x água. Apresenta sensibilidade à quantidade de biomassa da vegetação e/ou área foliar presente. |
| Banda 5 (infravermelho médio) | 1,55 – 1,75 μm | A banda é importante para estudos de estresse de cultivos e vigor de plantas. Destaca-se também sua sensibilidade à quantidade de água e turgidez nas plantas. |
| Banda 6 (infravermelho termal). | 10,4 – 12,5 μm | A banda é capaz de mensurar a quantidade de energia radiante infravermelha emitida pelas superfícies. Tem importância em estudos como o: geotermal, investigações geológicas, umidade do solo e estresse de vegetação. |
| Banda 7 (infravermelho médio – SWIR – shortwave infrared, ou infravermelho de ondas curtas). | 2,08 – 2,35 μm | A banda é utilizada na diferenciação entre formações geológicas e também na identificação de zonas de alterações hidrotermais em rochas. |

Fonte: Adaptado de Jensen (2009).

3.5 DETECÇÃO DE MUDANÇAS

A detecção de mudanças é o processo que avalia alterações, no estado de um objeto ou fenômeno, por intermédio da identificação das diferenças entre dois conjuntos de imagens tomadas da mesma área e em diferentes épocas (HAYES e SADER, 1997).

Segundo Guimarães (2000) são analisadas alterações quanto ao uso, detecção de mudanças nos componentes da paisagem e suas implicações no ambiente. O mapeamento do uso e da cobertura da terra considera o estudo da dinâmica de evolução do ambiente e o potencial de utilização.

Um bom resultado na detecção de mudanças é influenciado por determinados fatores. Silva (2004) lista alguns dos principais para as condições do cerrado brasileiro:

- Diferenças no sistema sensor: é fundamental que os sensores utilizados sejam semelhantes. Utilizando bandas que sejam correspondentes ao mesmo trecho do espectro, podem existir respostas espectrais distintas, fazendo com que os valores dos pixels sejam diferentes independente de o alvo ser o mesmo.
- Diferenças na época do ano e hora de aquisição das cenas: a utilização de períodos sazonais distintos podem acarretar em diferenciações causadas por mudanças na arquitetura do dossel, senescência da planta, diferentes cultivos e diferentes estações e horas do dia podem afetar a elevação e o azimute solar.
- Diferenças nas condições atmosféricas: condições de tempo dominantes podem afetar a transmitância e o espalhamento atmosférico. Essas alterações podem ser frequentemente associadas a mudanças sazonais. Por exemplo, uma diferença atmosférica comum e considerável é o conteúdo de água na atmosfera.
- Diferenças na calibração das imagens: é importante trabalhar com imagens calibradas. Ao menos uma calibração relativa pode ser necessária, especialmente se os instrumentos que coletam as imagens tiverem intervalos dinâmicos diferentes.
- Diferenças na resolução espacial das imagens: diferentes tamanhos de pixels podem conduzir a falsa detecção de mudanças, portanto é necessário que tenham a mesma resolução espacial.

As metodologias de detecção de mudanças podem ser diferenciadas pelo número de imagens utilizadas na comparação. Sendo que com o uso de duas imagens é bitemporal e se forem utilizadas três ou mais imagens, a metodologia é chamada de análise da trajetória temporal. Quando se utiliza duas imagens, a escolha das datas de aquisição das imagens é fundamental para evitar que resulte em falsas mudanças, causadas por efeitos fenológicos e sazonais, como as diferentes condições de iluminação da cena (COPPIN, 2004, a).

Howarth e Wickware (1981) afirmam que as técnicas de detecção de mudança tornaram-se uma ferramenta importante, sobretudo em aplicações para análise de mudanças no uso do solo, monitoramento de cultivos agrícolas, mapeamento de desflorestamento,

estudos de mudanças na fenologia vegetal e planejamento urbano. Essas aplicações ocorrem a partir de métodos de modelagem para análise das imagens multitemporais.

Lunetta et al. (2006) descreve o método de pré-classificação como uma técnica que se baseia em análises semiautomáticas das imagens e também na análise de principais componentes. Os autores classificam a pós-classificação como um método mais confiável, por serem mais robustos, como possuem maior credibilidade, são mais utilizados.

A seguir são mencionadas algumas das técnicas de detecção de mudanças, elas diferenciam-se basicamente entre técnicas de pré-classificação e pós-classificação (Tabela 4).

Tabela 4 - Métodos de Detecção de Mudanças

| Método de Detecção de Mudanças | Técnicas de Detecção de Mudanças |
|---------------------------------------|--|
| Pós-Classificação | Supervisionada |
| | Não Supervisionada |
| Pré-Classificação | Índices de Diferenciação |
| | Análise Composta |
| | Imagem Diferença |
| | Razão de Imagens |
| | Análise por Modelo Espectral |
| | Análise por Componentes Principais |
| | Rotação Controlada por Eixo de Não Mudança |

Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

3.5.1 Técnicas de Pós Classificação - Supervisionada

Ferreira e Hartel (2013) descreve a detecção de mudanças a partir da classificação supervisionada como uma análise comparativa entre imagens temáticas obtidas por meio da classificação de imagens multiespectrais obtidas em datas distintas. Porém como desvantagem a técnica requer amostras de treinamento, ou seja, informações de verdade do terreno, o que se torna uma tarefa muitas vezes de alto custo e difícil execução.

3.5.2 Técnicas de Pós Classificação - Não Supervisionada

De acordo com Ferreira e Hartel (2013), as abordagens não supervisionadas baseiam-se em imagens diferença. Na detecção de mudanças através da Classificação Não Supervisionada é feita uma comparação direta entre duas imagens multitemporais e não utiliza-se nenhum outro dado adicional. O processo é feito por meio da aplicação de operações matemáticas e também de métodos estatísticos não supervisionados. A técnica é operacionalmente de mais fácil acesso e tem sido utilizada em pesquisas e desenvolvimento de trabalhos, porém com menor frequência que os métodos supervisionados (ZANOTTA e HARTEL, 2013).

3.5.3 Técnicas de Pré Classificação - Índices de Diferenciação - NDVI e NDWI

Os índices de diferenciação são técnicas de realce da vegetação que utilizam operações matemáticas simples, usadas em processamento digital de imagens de sensoriamento remoto (CRÓSTA, 1992).

A diferença normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), tem sido a combinação mais utilizada, porém essa operação é muito sensível às condições da atmosfera (JACKSON et al., 1983).

O NDVI é calculado pela seguinte equação válida para o sensor TM do Landsat 5:

$$NDVI = \frac{\text{Banda 4 (infravermelho próximo)} - \text{Banda 3 (vermelho)}}{\text{Banda 4 (infravermelho próximo)} + \text{Banda 3 (vermelho)}} \quad (1)$$

Através da utilização da equação, quando se dá o aumento da cobertura vegetal a quantidade de reflectância do vermelho diminui aumentando a reflectância na faixa de radiação do infravermelho.

No trabalho desenvolvido por Rosendo e Rosa (2007), as técnicas de realce de imagem por meio de índices de vegetação aumentam o brilho das áreas vegetadas, o que melhora a aparência da distribuição espacial de informações das imagens, tornando-as de fácil interpretação visual e computacional. Foi utilizado o índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) que detém a habilidade para minimizar efeitos topográficos ao produzir uma escala linear de medida e possui a propriedade de variar entre -1 a $+1$ (quanto mais próximo de 1 , maior a densidade de cobertura vegetal), o 0 representa valor aproximado para ausência de vegetação, ou seja, representa superfícies não vegetadas.

Em alguns casos, Chaves et al. (2013), explicam que existe a necessidade da aplicação do processamento de correção atmosférica, em especial para estudos que procuram caracterizar espectralmente os alvos de interesse. Porém, dependendo da aplicação, nem sempre é necessário realizar este procedimento, como nos casos em que se procura apenas demonstrar a distribuição do índice, sem fazer relação com algum parâmetro biofísico.

Dentre os métodos e técnicas de processamento de imagens de sensoriamento remoto com vistas à análise hidrológica, temos o Índice da Diferença Normalizada de Água (Normalized Difference Water Index – NDWI), um método desenvolvido com o intuito de delinear feições presentes no ambiente aquático, e realçar a presença das mesmas nas imagens. Um método derivado do Índice da Diferença Normalizada de Vegetação (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index). McFeeters (1996), modificou a fórmula do NDVI invertendo as variáveis e usando a banda verde ao invés da banda vermelha, a fim de obter melhores resultados voltados à água.

3.5.4 Técnicas de Pré Classificação - Análise Composta

A técnica é realizada por meio do empilhamento ou combinação de uma série de imagens. Essas imagens devem ser de diferentes datas. Reforça-se que as épocas de imagens devem ser as mesmas e as condições de iluminação do imageamento devem coincidir (KIEL, 2008).

De acordo com Coppin et al. (2004, b), através da técnica de análise das séries temporais compostas, pode-se realizar a detecção de mudanças. Essas mudanças podem ser temporárias ou possuir caráter permanente, como também realizar distinções entre mudanças naturais ou por atividades antrópicas.

Arantes (2014) utilizou-se da técnica para a análise de dados temporais utilizando imagens MODIS e Landsat - TM. A autora evidencia as dificuldades encontradas em regiões tropicais devido a constante cobertura de nuvens, portanto, como solução utilizou o processo de fusão das imagens de satélite para o estudo, apesar das limitações a técnica se mostrou uma alternativa viável no monitoramento de mudanças da superfície terrestre.

3.5.5 Técnicas de Pré Classificação - Imagem Diferença

A técnica da imagem diferença é feita através da subtração, pixel a pixel, das imagens adquiridas em duas diferentes datas. Essas diferenças são calculadas, por meio de dados

extraídos dos dados originais, através da ACP ou NDVI ou também dos próprios dados originais. Como produto resultante é obtida uma imagem das diferenças e aplica-se um limiar para distinguir os pixels onde houveram mudanças e aqueles que permaneceram inalterados (FERREIRA e HARTEL, 2013).

Rosendo e Rosa (2007) descrevem a técnica como realçadora das mudanças que ocorreram no recorte temporal e espacial pretendidos. Pode ser utilizada como realce no estudo de fenômenos como o de mudanças no uso da terra, expansão urbana, desmatamento, diferenças sazonais, queimadas, entre diversos outros.

3.5.6 Técnicas de Pré Classificação - Razão de Imagens

É realizada através da combinação, ou empilhamento, de um conjunto de imagens, co-registradas de diferentes datas, valendo igualmente a recomendação de que as épocas do ano devem coincidir, assim como as condições do imageamento quanto à iluminação (BITTENCOURT, 2011).

Como resultado obtêm-se a imagem razão de bandas, essa imagem é criada através do valor médio de parcelas de pixels de duas imagens distintas dentro da mesma área. A técnica une informações de duas bandas espectrais e auxiliam na minimização de resultados indesejado, como o de ruído, por exemplo (JENSEN, 2007).

3.5.7 Técnicas de Pré Classificação - Análise por Modelo Espectral

Em trabalho de Haertel et al. (2004), foi utilizado o conceito da mistura de pixels como um problema na detecção de mudanças. Isso ocorre quando um único pixel pertence a duas ou mais classes diferentes, sendo assim denominadas como componentes (endmembers). Assim, a partir da técnica, é gerado um novo conjunto de dados, as imagens-fração, nessas imagens é informado a cada pixel a porção a ser ocupada por cada uma das classes (componentes) do terreno, como: vegetação, solo, água, etc. Logo, a Análise por Modelo Espectral apresenta como vantagem a possibilidade de ser feita a nível de sub-pixel, eliminando a necessidade de processos de normalização radiométrica nas imagens de datas distintas, pois na técnica são utilizados os pixels puros extraídos da imagem nas respectivas datas. Como resultado, as imagens de diferenças são produzidas a partir da subtração desses componentes gerados através das imagens multiespectrais (ANGELO e FERREIRA, 2015).

3.5.8 Técnicas de Pré Classificação - Análise por Componentes Principais

A Análise por Componentes Principais (ACP) que também é conhecida como transformação por principais componentes, ou ainda como transformada de Karhunen-Loeve, é considerada uma das funções mais eficientes de processamento de imagens em relação à manipulação de dados multitemporais. A principal função da ACP é determinar a extensão da correlação existente entre as bandas e, através de uma transformação matemática apropriada, remover a correlação existente entre estas. Assim, a ACP é aplicada da seguinte forma: um conjunto de N imagens de entrada, depois de processadas pela ACP, vai produzir um outro conjunto de N imagens de saída com nenhuma correlação entre si. O primeiro conjunto de saída será chamado de primeira componente principal ou CP1, o segundo conjunto de saída será chamado de CP2, o terceiro, de CP3, e assim por diante. A primeira componente principal ou CP1 irá conter a informação que é comum a todas as bandas N originais. A CP2 conterá a feição espectral mais significativa do conjunto. As CPs seguintes conterão feições espectrais cada vez menos significantes, até a última CP, que conterá a informação que sobrar, ou seja, a menos significativa (CRÓSTA, 1992).

Para a aplicação da ACP não há necessidade da utilização de um conjunto com todas as bandas da imagem, podendo-se selecionar e compor apenas as bandas de interesse para o objeto da pesquisa, que no referido trabalho se resume às bandas que melhor expressam as respostas dos alvos solo e vegetação. Portanto, nos estudos de detecção de mudanças, pode-se desenvolver a aplicação do método somente com duas imagens de duas datas diferentes, na mesma faixa espectral. Desta forma, a CP1 possuirá as informações comuns entre as bandas, que em geral diminui à medida que o período de tempo entre as imagens aumenta. A CP2 terá a expressão das mudanças ocorridas de uma data para outra, ou seja, o conjunto de componentes de maior importância para análise de mudanças na cobertura do terreno (MALDONADO, 1999).

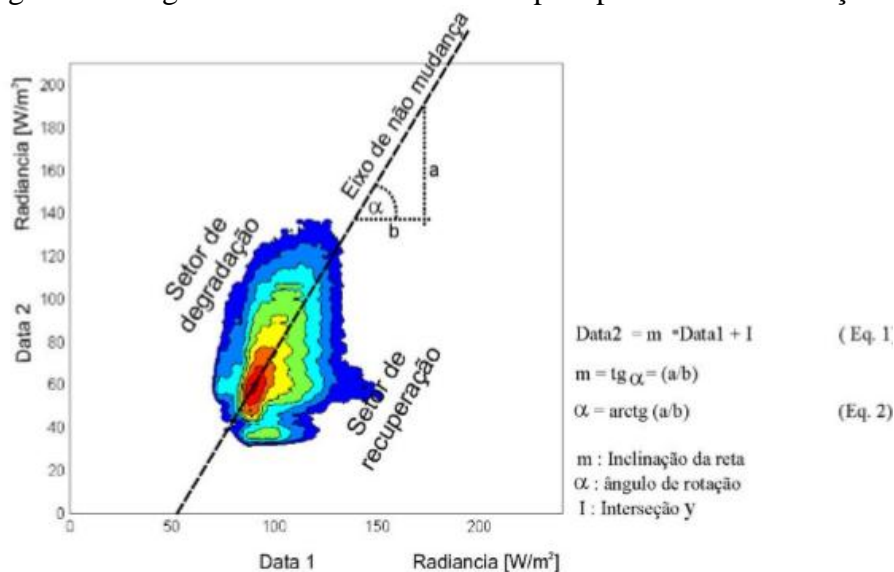
De acordo com Souza (2007), apesar de ser um método rápido, viável e de grande importância ao monitoramento ambiental, torna-se essencial um processamento digital de imagens para que seus dados sejam utilizados com maior precisão. Portanto, vários métodos estatísticos e matemáticos são direcionados para aplicação com sensoriamento remoto, entre eles, a análise ACP, que é um método estatístico que pode ser usado facilmente para fazer correlações entre imagens de satélite.

3.5.9 Técnicas de Pré Classificação - Técnica RCEN

A detecção de mudanças parte do princípio de que mudanças no fenômeno estudado produzem alterações proporcionais aos valores resultantes das transformações radiométricas das imagens, considerando que os elementos de mudança sejam maiores que os produzidos por outros fatores de menor importância, ou seja, condições atmosféricas, ângulo de inclinação solar e umidade do solo, entre outros. A seleção de imagens adequadas minimiza o efeito desses fatores, sugerindo o uso de imagens da mesma época para a redução do ângulo de iluminação, minimizando, também, as diferenças sazonais em áreas onde a vegetação é predominante (MALDONADO, 2001).

A técnica de Rotação Controlada por Eixo de Não mudança (RCEN), técnica desenvolvida por Maldonado (2004), é uma transformação linear, que produz uma rotação dos eixos ortogonais do espaço radiométrico da imagem. Esta é aplicada no eixo formado pela reta de regressão da radiometria dos pixels de não mudança identificado previamente no terreno. Este eixo descreve a correlação radiométrica entre os pixels de não mudança nas imagens da primeira e segunda data, conforme demonstrado na Figura 3.

Figura 3 - Diagrama analítico das medidas para parâmetros da rotação.



Fonte: Maldonado (2004).

O eixo de regressão descreve a correlação radiométrica entre os pixels de não mudança das imagens da primeira e segunda data. Nesta técnica, o ângulo (α) é conhecido como arco-tangente da inclinação da reta de regressão linear dos pontos de não mudança e está baseado na interpretação dos indicadores de campo, que permitem inferir sobre a estatística da paisagem. Alguns destes indicadores podem representar a estrutura adulta da cobertura vegetal, elementos arbóreos no estado adulto (SCHARLAU, 2011).

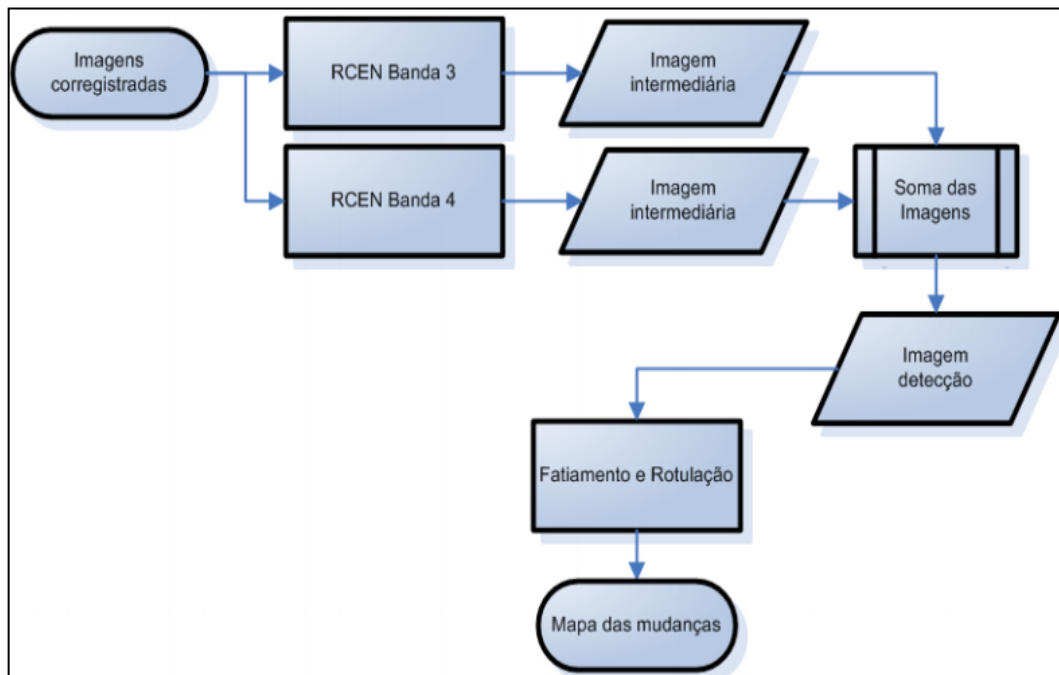
Maldonado et al. (2009) explica que quando o ângulo do arco tangente é maior de 45° , os efeitos atmosféricos da primeira data são minimizados e quando menor do que 45° verifica-se um maior efeito atmosférico na segunda data. Portanto, para minimizar as diferenças atmosféricas, quanto maior for a diferença nas intensidades dos efeitos atmosféricos nas datas analisadas, maior será a diferença no ângulo de 45° .

Portanto, a técnica baseia-se em uma rotação radiométrica da imagem multitemporal composta por bandas do espectro visível. A RCEN utiliza a equação de uma diferença entre bandas com dois coeficientes em cada termo da diferença, relacionados a um parâmetro angular, que caracteriza e minimiza as diferenças entre elas, cujo principal parâmetro de funcionamento é o ângulo de rotação inferido da inclinação em relação ao "eixo de não-mudança" definido por uma equação (MALDONADO, 2001).

O processo (Figura 4) se baseia numa regressão linear da radiometria dos pontos de não-mudança, a partir do espaço bitemporal das imagens em duas datas (MALDONADO, 2007):

- Pontos são obtidos localizando nas imagens as amostras georreferenciadas rotuladas durante o trabalho de campo, e extraindo a radiometria destes pontos na imagem.
- A regressão, no processo, utiliza os valores de uma imagem de duas bandas na faixa espectral do visível.
- A primeira banda corresponde à primeira data do período da detecção e a segunda banda corresponde à segunda data.
- A operação é repetida em forma independente para uma imagem do infravermelho próximo.
- A equação da regressão dos pontos de não-mudança na dispersão é obtida pelo cálculo derivado dos pares de valores dos sítios amostrais obtidos em número suficiente.

Figura 4 - Fluxograma da metodologia da Técnica RCEN.



Fonte: Maldonado (2007).

A imagem detecção (IDetec) corresponde às alterações de ocupação do solo informando a radiância de cada pixel em termos de "mudou ou não mudou", delimitando as regiões com e sem mudança de uma data para a outra, através das assinaturas espectrais dos alvos, tendo como produto uma nova imagem.

A utilização da técnica RCEN permite assim, avaliar as alterações na cobertura vegetal das áreas ribeirinhas, por intermédio de um algoritmo, possibilitando que a pesquisa possa analisar se essas modificações foram significativas.

3.5.10 Aplicações práticas das técnicas de Detecção de Mudanças

No trabalho desenvolvido por Miura et al. (2009), foram avaliados alguns métodos de processamento digital de imagens para detecção de mudanças no uso das terras no Município de Pelotas (RS, Brasil) como: índices de vegetação, transformação de Kauth-Thomas (1976), conhecida também por transformação *Tasseled Cap*, análise por componentes principais e modelo linear de mistura espectral, no intervalo temporal compreendido entre 1985 e 2007. Os autores concluíram que em áreas mais planas do município o mapeamento é facilitado, já em áreas mais elevadas, a rugosidade do terreno e tamanho das propriedades rurais são de difícil discriminação e portanto, são os locais onde há maior incerteza no produto da

classificação. As principais mudanças verificadas referem-se à diminuição da área ocupada por culturas agrícolas e a ampliação da área urbana, ocasionadas pelo declínio da atividade do polo agroindustrial e pela ampliação do setor de serviços, em especial o comércio.

No trabalho desenvolvido por Fujaco et al. (2010), a partir de dados de imagens Ikonos e imagens aéreas, foram utilizadas técnicas variadas de Processamento Digital de Imagens (PDI) para definir classes vegetacionais e possibilitar a avaliação das mudanças no uso e na ocupação do solo. A pesquisa desenvolveu-se no Parque Estadual do Itacolomi, localizado em Minas Gerais. Como resultado, verificou-se que as unidades de paisagem podem ser controladas por ações antropogênicas e que a redução e o aumento da área estudada foram consequências da situação econômica e social das últimas décadas mas que a vegetação nativa lentamente se recupera, como resultado de atividades conservacionistas.

Maldonado et al. (2002) estudando uma região no semiárido brasileiro, fizeram uso de componentes principais também em imagens multitemporais Landsat5/TM, quantificando dois níveis de degradação, dois de recuperação da cobertura vegetal e um de não mudança. Através do INPE, Maldonado e Carvalho (2003) desenvolveram duas técnicas de detecção de mudança: a Rotação Controlada por Índice de Precisão (RCIP) e a técnica RCEN, e um estudo comparativo entre as técnicas: ACP, RCIP e RCEN. A área do estudo é uma porção central do semiárido brasileiro, estado de Pernambuco. A aplicação da técnica RCEN apresentou os melhores resultados para a pesquisa.

Lorena et al. (2002) empregaram duas técnicas: a de Análise por Vetor de Mudanças (AVM) e a de comparação pós-classificação (algoritmo classificatório por regiões Battacharyya), na região do projeto de colonização Pedro Peixoto (Acre), indicando o ganho e perda de biomassa, em relação às mudanças de áreas de floresta primária para áreas de atividades agrícola e de pecuária. Silva et al. (2003) também utilizaram a técnica por Vetor de Mudanças para caracterizar e quantificar a dinâmica de uso e cobertura da terra, em áreas de floresta tropical sob influência da atividade de exploração madeireira no Estado do Mato Grosso.

Coppin et al. (2004) apresentaram uma revisão dos métodos atuais de detecção de mudanças aplicados ao monitoramento de ecossistemas no domínio visual, com dados multisensores, através de uma análise crítica das técnicas.

No âmbito dos SIGs, o software Idrisi Andes, conta com a ferramenta de detecção de mudanças, Land Change Modeler (LCM). Luís (2011) utilizou o modelador do Idrisi para analisar a mudança do uso da terra em mangais na Cidade de Beira, em Moçambique. O estudo permitiu observar as mudanças dos mangais para as áreas regularmente inundáveis e

para as dunas, os campos de cultivo para as áreas urbanizadas e demais vegetações para as áreas urbanizadas. Na região altimontana do Sinclinal Moeda, localizada ao sul de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, Oliveira (2012) investigou a dinâmica de uso e cobertura da terra por meio da identificação das principais tendências de mudanças ao longo do histórico recente de transformações da paisagem e da simulação de mudanças futuras, também utilizando o software.

Já na Índia, no estado de Tamil Nadu, Gandhi et al. (2015), desenvolveram sua pesquisa de detecção de mudanças através do uso do NDVI diferencial associado a imagens de satélite. Foi verificada diminuição de cerca de 6 a 23% de áreas de florestas e nativas, enquanto as áreas agrícolas e construídas tiveram um importante aumento. Os resultados obtidos mostram o quanto o NDVI é útil na detecção de características da superfície e como o uso e avaliação dessas detecções podem ser importantes na previsão de desastres naturais, como também na tomada de decisões no âmbito político.

Os autores Gonçalves, Francisco e Vieira (2013), também desenvolveram sua pesquisa utilizando o índice NDVI na identificação de áreas degradadas. A área de estudo foi o município de Taperoá, no estado da Paraíba. No trabalho ficou demonstrado uma recuperação de 38% da vegetação da localidade, fato observado entre os anos de 1987 e 2009, mostrando a importância no uso de imagens de satélite associadas a técnicas de geoprocessamento.

No âmbito do Rio Grande do Sul, Kiel (2008) realizou um trabalho comparativo e avaliativo entre diversas técnicas de detecção de mudanças. No seu estudo, realizado em área da região da Campanha gaúcha nenhum das técnicas se sobressaiu as demais, tiveram resultados equivalentes, porém o autor ressalta que isso pode ser justificado pelo fato do trabalho ter se desenvolvido em uma escala regional.

3.6 AVANÇO DA SOJA NO RIO GRANDE DO SUL

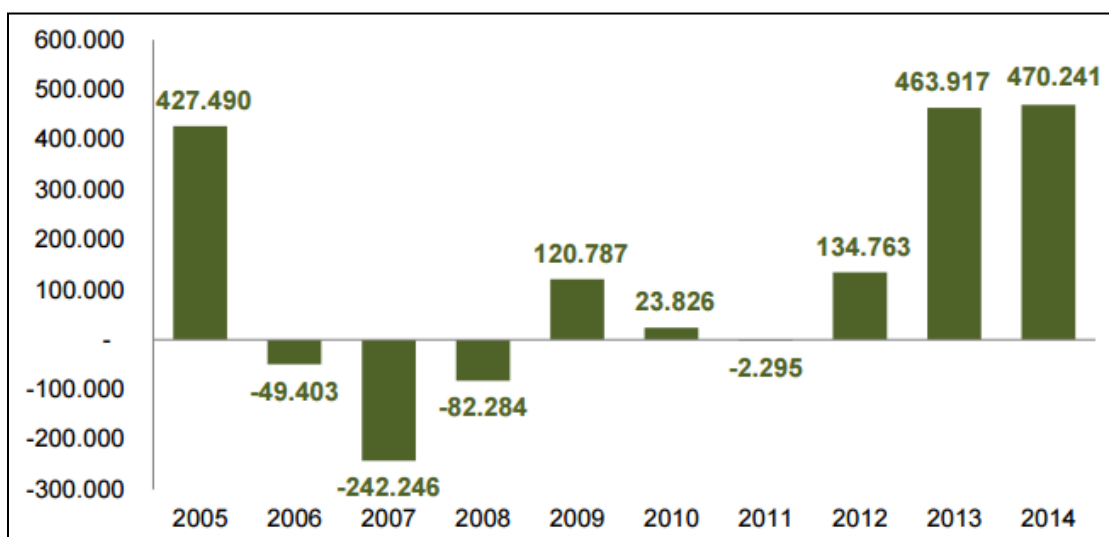
Nos últimos 15 anos, os pesquisadores Feix e Leusin Júnior (2015), ressaltam que dentre todos os cultivos, a produção de soja foi a que mais avançou no estado do Rio Grande do Sul. Esse avanço deve-se à valorização do produto, conseqüentemente, maior lucro do produtor e pelo crescimento da demanda externa. Culturas como arroz, milho e trigo também registraram um crescimento notável culturas com crescimento expressivo nesse período foram o arroz, o milho e o trigo. Os autores também afirmam que o crescimento da monocultura da soja vem atrelado a impactos sociais e ambientais, que por ser relativamente recente, ainda

são difíceis de serem determinados e portanto é necessário um acompanhamento técnico-científico dessa mudança.

Essa mudança de cenário também deve-se à elevação dos preços destas commodities no mercado. Para se ter uma ideia, no primeiro semestre de 2012 enquanto o preço do milho teve um aumento de 30% no mercado internacional, o valor da soja aumentou cerca de 50%, fator que motivou o agricultor a aderir à cultura. Desde 2004, quando a soja se destacou no mercado internacional, houve uma intensa e rápida expansão de sua cultura, motivando uma alteração na paisagem, neste ano, cerca de 354 mil hectares de bovinocultura foram substituídas por áreas de plantio da soja (SPEROTTO, 2013).

Na Figura 05 percebe-se a perda acumulada de áreas da bovinocultura de corte para áreas dedicadas à produção de soja desde 2005 até 2014.

Figura 5 - Perda Acumulada de Área da Bovinocultura para Produção de Soja (ha).



Fonte: Sistema Farsul a partir dos dados do IBGE (SPEROTTO, 2013).

Em artigo publicado por Domingues e Bermann (2012), os autores fizeram uma análise desse novo cenário e analisaram o avanço da soja em relação à pecuária e ao desmatamento na região Norte do país e Mato Grosso. A pesquisa verificou a expansão tanto da pecuária quanto da soja nessas áreas e as decorrências ambientais em razão dessas culturas.

Impulsionada pela expansão da demanda, principalmente internacional, a cultura de soja começou a se expandir mais vigorosamente no Brasil na segunda metade dos anos de 1970. A pesquisa ainda aborda os estados do sul do país, onde a soja passou a ocupar áreas de

pastagem e lavouras. Entretanto, o desmatamento da região analisada não tem relação direta com o cultivo da soja, apesar de seus impactos ambientais.

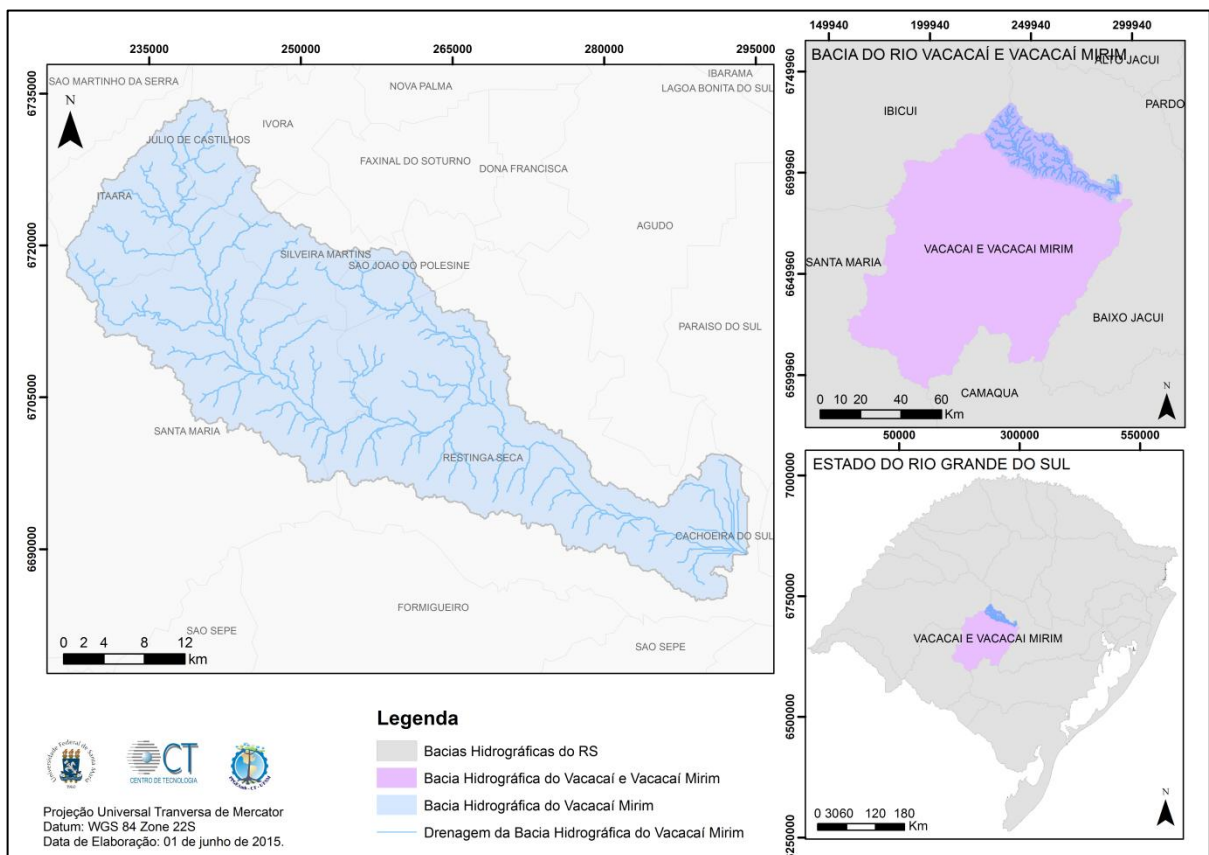
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida na bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim (Figura 6), localizada na região central do estado do Rio Grande do Sul e está situada entre as coordenadas geográficas 53°46'30" a 53°49'29" de longitude Oeste e 29°36'55" a 29°39'50" de latitude Sul e abrange uma área total de 1152 km².

Faz parte da bacia G60 – Vacacaí – Vacacaí Mirim, da Região Hidrográfica do Guaíba, do Sistema Estadual de Recursos Hídricos, sancionada através da Lei nº 10350/94 e do Decreto nº 37034/96, responsáveis pela regulamentação do Artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul e possui Comitê de Gerenciamento funcionando regularmente (FORMENTINI ; GASTALDINI, 2011).

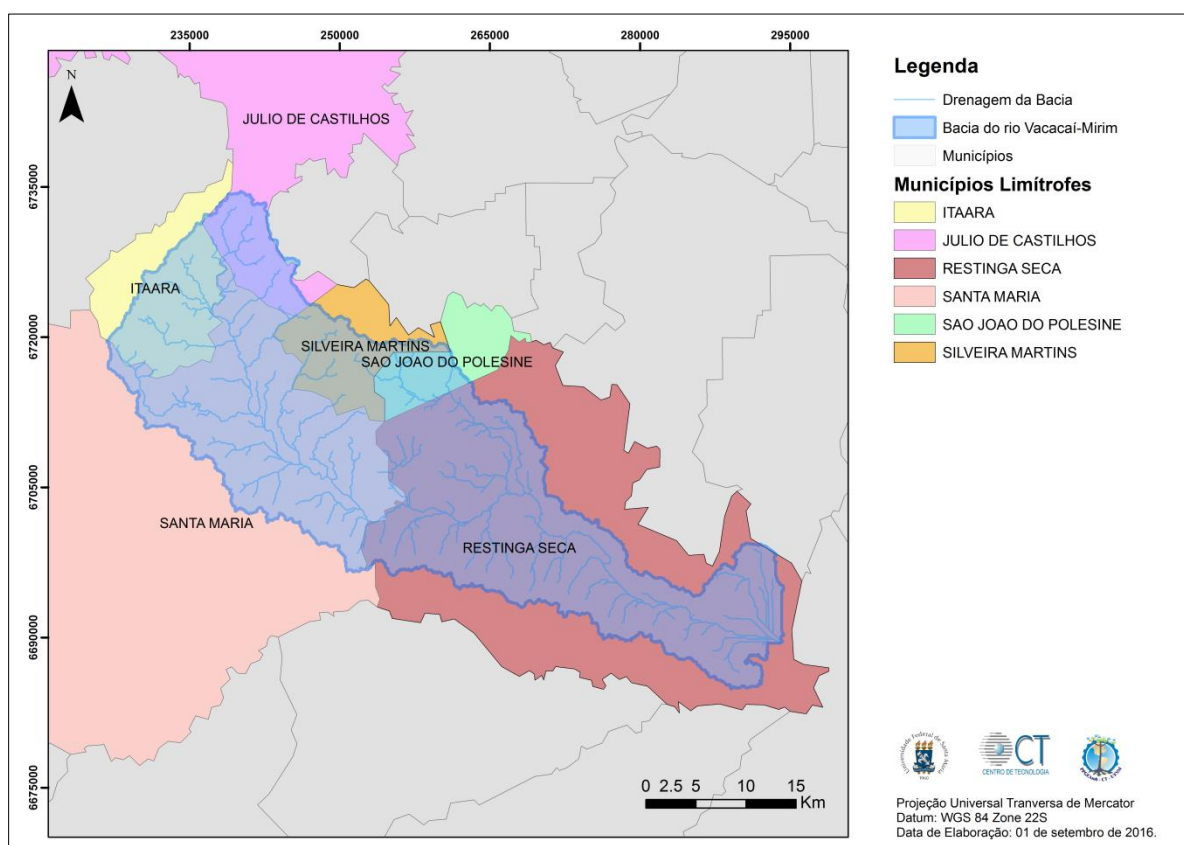
Figura 6 - Localização da Bacia Hidrográfica do rio Vacacaí Mirim.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, utilizando dados disponibilizados pelo IBGE e SEMA.

A área da bacia hidrográfica abrange cinco municípios: Santa Maria, Restinga Seca, Itaara, São João do Polêsine e Silveira Martins, sendo que o município de Santa Maria e de Restinga Seca concentram a maior parte de sua totalidade (Figura 7).

Figura 7 - Municípios que compõem a bacia hidrográfica do Vacacaí Mirim.



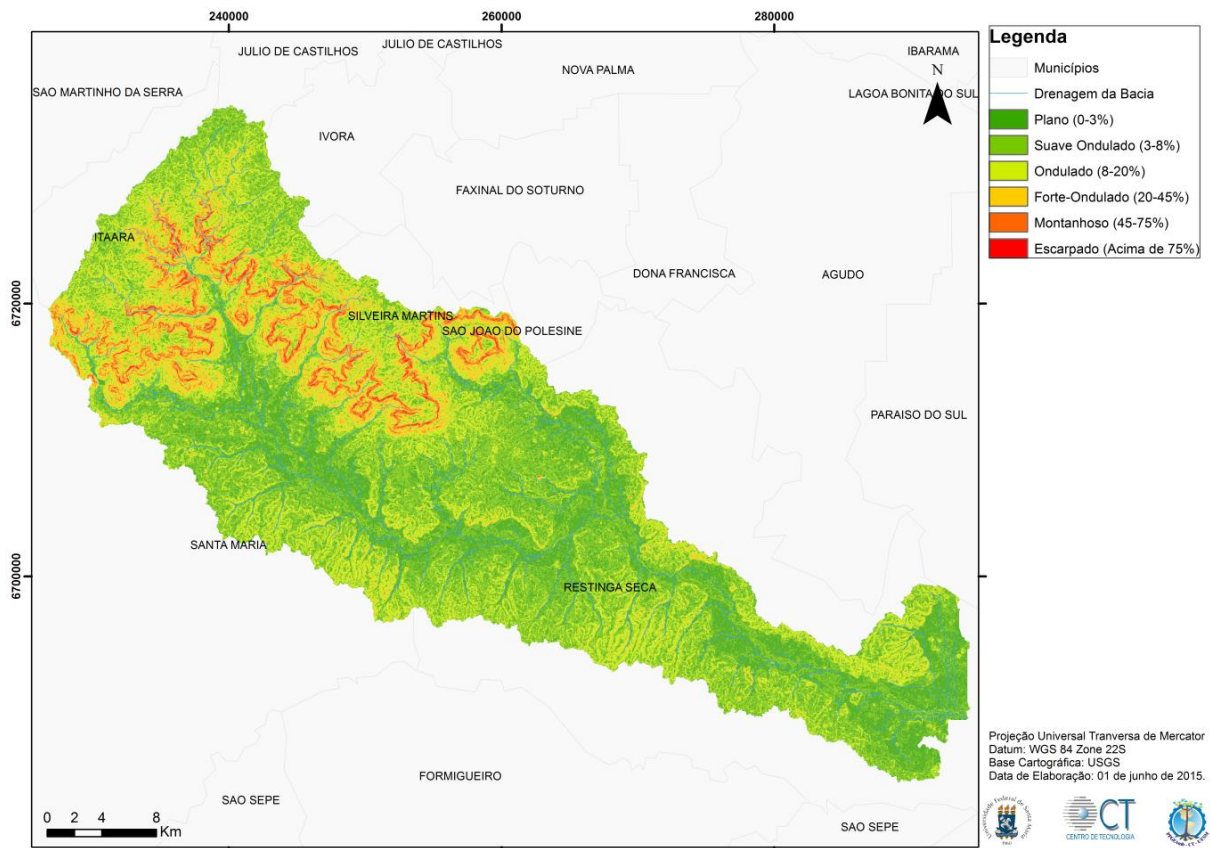
Fonte: Elaborado pelo próprio autor, utilizando dados disponibilizados pelo IBGE e SEMA.

O clima na área de estudo é o subtropical úmido, definido por invernos rigorosos, com mínima absoluta que podem atingir 0°C, e verões com temperaturas que ultrapassam os 30° C. De acordo com o sistema de classificação de Köppen o clima é subtropical Cfa, ou seja, caracteriza-se por precipitações médias anuais superiores a 1.600 mm e bem distribuídas ao longo do ano com estações bem definidas (TONIOLO et al., 2013).

A região caracteriza-se por possuir um relevo ondulado e suavemente ondulado (Figura 8), segundo classificação de declividade da Embrapa (1999) e com altitudes que variam de 40 a 200 metros, ocasionado por um trabalho de dissecação fluvial na superfície do Planalto. Sua drenagem possui padrão dendrítico, com vales em V ou de fundo plano (KEMERICH, 2013).

O mapa de declividade foi elaborado com base em dados SRTM, através do projeto Topodata, disponibilizados pelo INPE.

Figura 8 - Declividade da bacia hidrográfica do Vacacaí Mirim.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, utilizando dados disponibilizados pelo IBGE, EMBRAPA, INPE e USGS.

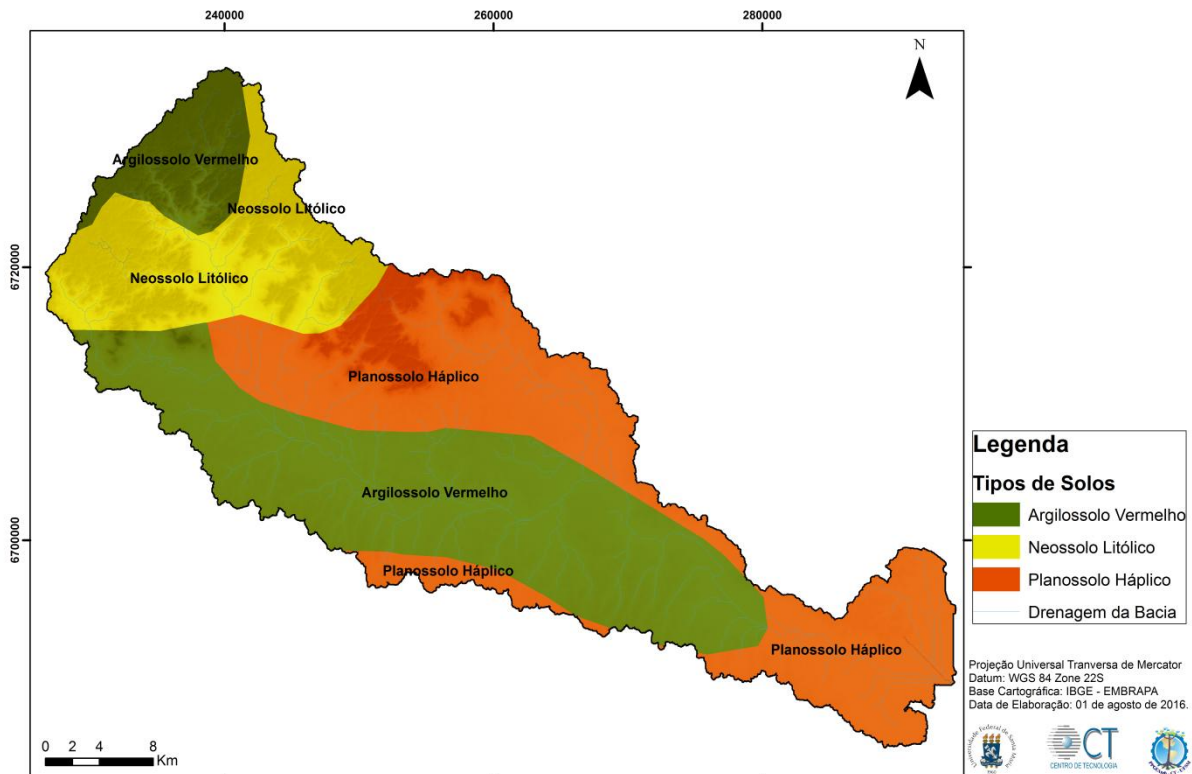
Na bacia do rio Vacacaí Mirim são encontrados três principais classes de solos (Figura 9), predominando o Argissolo Vermelho e Planossolo Háplico. O mapa de solos foi elaborado através de dados do Mapa de Solos do Brasil, processados pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos (IBGE, EMBRAPA, 2001).

O Argissolo Vermelho presente na bacia encontra-se em área de relevo ondulado, onde é mais comum sua apresentação, porém também podem ser encontrados em áreas de menor declividade. Esse tipo de solo também possui como característica uma diversidade de materiais de origem e por isso apresentam uma fertilidade natural muito variável. Há ainda a ocorrência de Neossolo Litólico na porção da bacia com relevo mais acidentado (SANTOS; ZARONI; ALMEIDA, 2016).

Já o Planossolo Háplico é composto por solos minerais com fertilidade natural variável

e imperfeitamente ou mal drenados, no estado do Rio Grande do Sul e também do Mato Grosso do Sul, esse solo é muito utilizado em plantação de arroz e pastagem, também possui uma ocorrência expressiva no Nordeste brasileiro (IBGE, 2007).

Figura 9 - Tipos de solo da bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor, utilizando dados disponibilizados pelo IBGE e EMBRAPA.

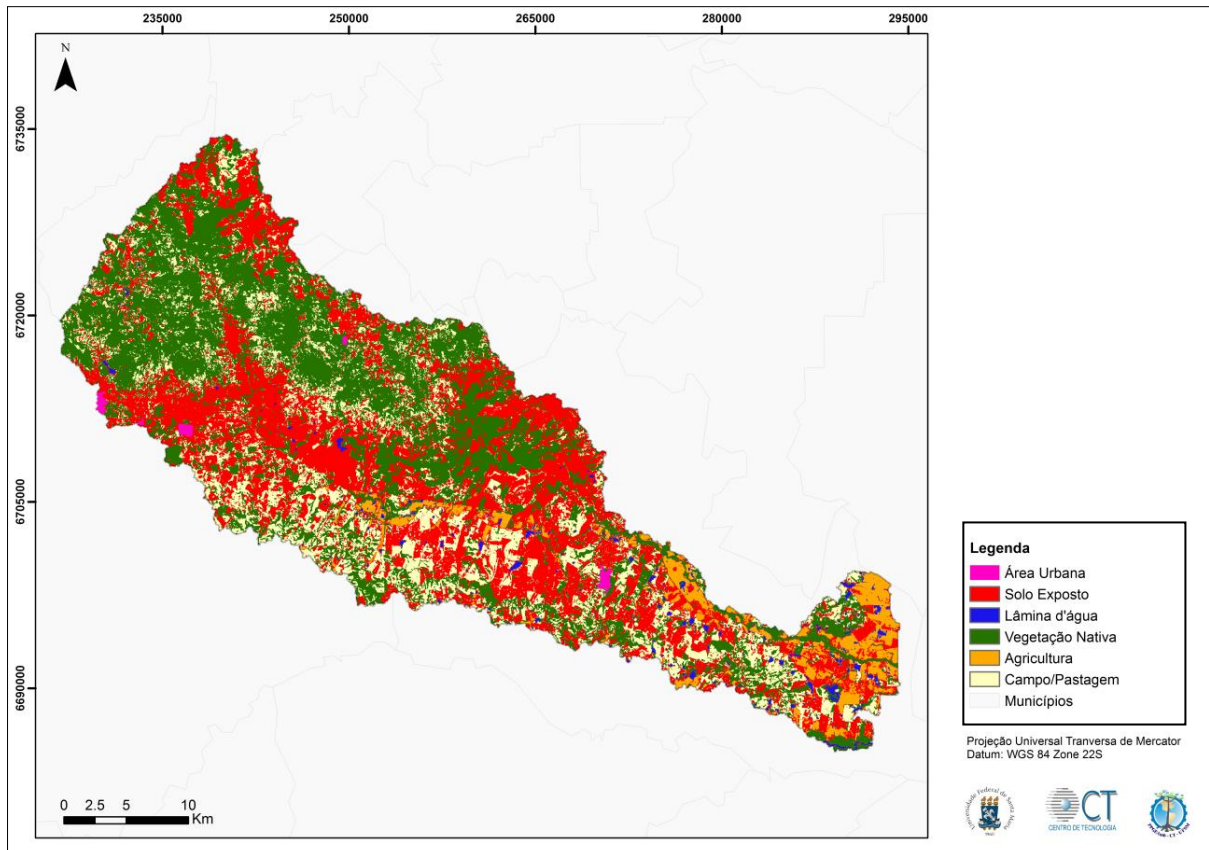
Gastaldini e Oppa (2011) verificaram que a bacia do rio Vacacaí Mirim sofre com a expansão urbana e atividade agrícola. Alguns dos motivos do aumento da poluição na bacia hidrográfica e declínio da qualidade de sua água são: a indisponibilidade de rede coletora e de tratamento de esgoto em algumas localidades das áreas urbanas e a poluição difusa oriunda do meio rural.

O mapa de uso e ocupação da terra do ano de 2011 (Figura 10) foi elaborado através de imagem Landsat 5/TM, adquiridas no site da Divisão de Geração de Imagens do INPE. O método utilizado foi o de classificação supervisionada, utilizando o software de geoprocessamento SPRING. A bacia envolvida no estudo possui 4,99% de sua área ocupada por agricultura, 18,39% por campos ou pastagens, 38,94% por vegetação nativa, 35,3% está ocupado com áreas de solo exposto, 1,37% por lâminas d'água, 1,01% por área urbana.

De acordo com relatório divulgado pela SEMA (2008) os principais usos de água na

bacia hidrográfica são para fins de irrigação, dessedentação de animais e abastecimento público. Outro fato que merece atenção é o cultivo do arroz por inundação, que ocupa a maioria das várzeas que situam-se próximas de rios e arroios, e é responsável por cerca de 95% da disponibilidade hídrica superficial anual da bacia.

Figura 10 - Uso e ocupação da terra na bacia do rio Vacacaí Mirim.



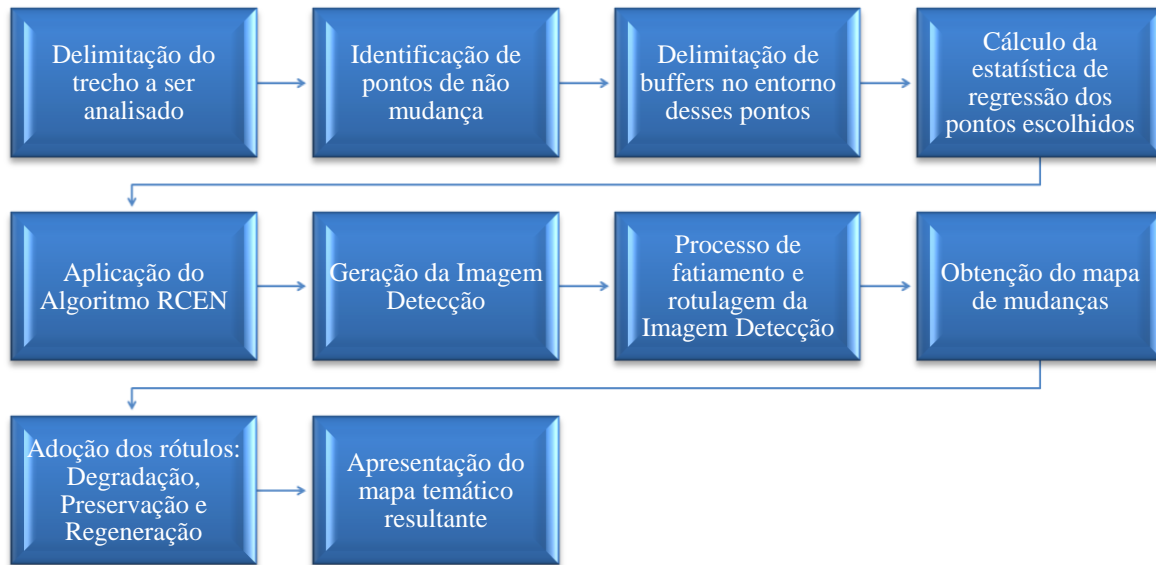
Fonte: Elaborado pelo próprio autor, utilizando dados disponibilizados pelo IBGE, EMBRAPA, INPE e SEMA.

No estudo, para a detecção e análise das mudanças de cobertura vegetal, serão analisados trechos de vegetações ribeirinhas ao longo da bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim e avaliadas características como o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica.

4.2 METODOLOGIA EMPREGADA

Após a determinação das características da área de estudo, o trabalho desenvolveu-se conforme o fluxograma (Figura 11) que segue, após cada um dos passos da metodologia foram descritos brevemente e são posteriormente retratados detalhadamente.

Figura 11 - Fluxograma da Metodologia Empregada.



Fonte: Próprio autor.

- 1 Delimitação do trecho a ser analisado: Foi delimitada como área de estudo, uma área total de 97,12% da bacia analisada, através da área de cobertura da cena do Landsat 5/TM, 222/81.
- 2 Identificação de pontos de não mudança: Foram identificados por meio de análise visual, 22 pontos amostrais de não mudança de áreas de vegetação e água.
- 3 Delimitação de buffers no entorno desses pontos: Foram gerados buffers de 50 metros para cada um dos 22 pontos de não mudança e determinada a média dos valores digitais dos pixels amostrais de cada um deles.
- 4 Cálculo da estatística de regressão dos pontos escolhidos: A partir das plotagens das retas de regressão, foram analisados os valores do coeficiente de determinação R^2 ;
- 5 Aplicação do algoritmo RCEN: O algoritmo RCEN foi construído através do software ERDAS IMAGINE2010®, o algoritmo quantifica as radiâncias e as classifica quanto à mudança.
- 6 Geração da imagem detecção: A partir das novas assinaturas espectrais geradas pelo algoritmo, foi gerada uma imagem, a imagem detecção de mudanças.
- 7 Processo de fatiamento e rotulagem da imagem detecção: Dados estatísticos como desvio padrão (σ), moda (M_o), mediana (M_d) e média (\bar{x}) foram calculados e a partir dos valores centrais dos níveis digitais as imagens foram fatiadas e rotuladas em função dos pixels em termos de "mudou ou não mudou".
- 8 Obtenção do mapa de mudanças: Nas imagens detecção resultantes os pixels representando áreas de degradação se apresentam em tons mais claros, nas áreas de preservação os níveis

digitais se apresentam com valores próximos a zero e as áreas de recuperação, apresentam pixels em tonalidades mais escuras.

- 9 Adoção dos rótulos: degradação, preservação e regeneração: Para melhor visualização foram adotadas três classes facilitando o entendimento da imagem detecção: degradação, preservação e regeneração.
- 10 Apresentação do mapa temático resultante: A partir da adoção dos rótulos foram gerados mapas temáticos finais de detecção de mudanças e as três classes apresentadas nas seguintes cores: vermelho (degradação), amarelo (preservação) e verde (regeneração).

4.3 ESCOLHA DOS DADOS ESPACIAIS

Para a detecção de mudanças na cobertura do solo na área em estudo, foram selecionados pares de imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM), do Satélite Landsat 5. Os pares de imagens analisados compreendem períodos de 5 e 10 anos, entre os anos de 2001 e 2011, verificando a qualidade e disponibilidade das imagens e de mesmo período estacional.

As imagens foram obtidas através do Catálogo de Imagens da DGI/INPE e o satélite foi escolhido por ter o maior período de imagens disponibilizadas gratuitamente no Brasil, o que possibilita uma base significativa de dados orbitais similares para análise temporal. De acordo com Rosa (2003) as faixas para detecção de mudança na vegetação mais utilizadas são as do vermelho e do infravermelho próximo, pois essas contêm mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação e mostram-se correlacionadas com os parâmetros biofísicos da mesma.

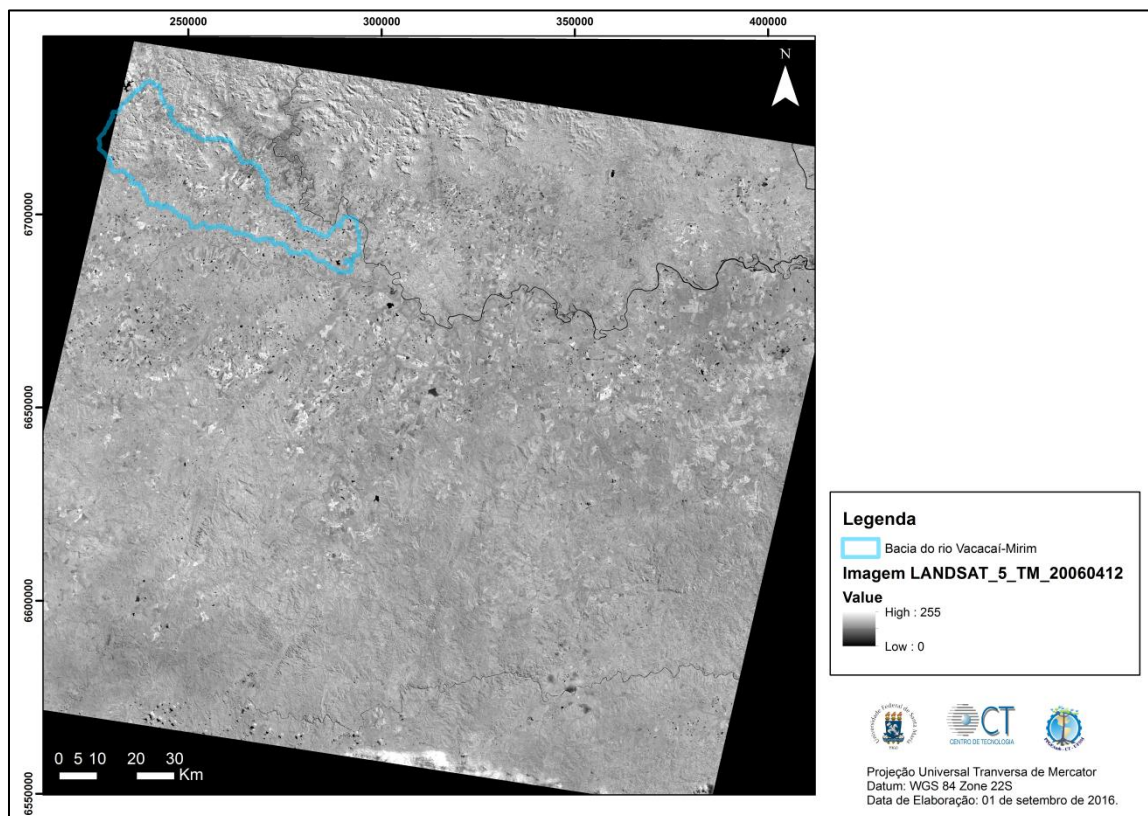
Para o registro (georreferenciamento) das imagens foi primeiramente trabalhada a imagem mais recente (2011) que foi georreferenciada com o auxílio da base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - Escala 1:50000 (HASENACK e WEBER, 2014). Após o georreferenciamento da imagem de 2011, foi feito o registro das imagens dos demais anos (2001 e 2006). Esse registro foi feito a partir da ferramenta "imagem para imagem", assim as imagens receberam os valores dos pares de pixels homólogos e também o mesmo sistema de Datum e coordenadas. O processo foi feito até que o RMS (Erro Médio Quadrático, do inglês *Root Mean Square*) resultante do processo fosse o adequado, menor que 0,5 pixel, os valores apresentados foram de 0,17 (153 m²) e 0,24 pixel (216 m²). A resolução espacial da banda utilizada na pesquisa das imagens Landsat 5 é de 30 metros, portanto cada pixel representa uma área no terreno de 900 m². Com os valores de RMS encontrados temos um erro compatível com a resolução espacial da imagem.

No trabalho foi utilizada a banda 4 (0,76 a 0,90 μ m), do sensor TM do Landsat 5, e a escolha justificou-se devido a sensibilidade da banda à vegetação e realce de contrastes entre terra e água (JENSEN, 2009). O INPE (2015), também define que a vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens, ainda apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal), sensibilidade à morfologia do terreno e permite a identificação de áreas agrícolas. Corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. Portanto, dois elementos essenciais para a realização da pesquisa.

A cena utilizada do Landsat 5 foi a 222/81, que abrange um total de 97,12% da área da bacia (Figura 12) com datas de aquisição de:

- 08 de abril de 2001;
- 12 de abril de 2006; e
- 26 de abril de 2011.

Figura 12 - Abrangência da área de estudo.

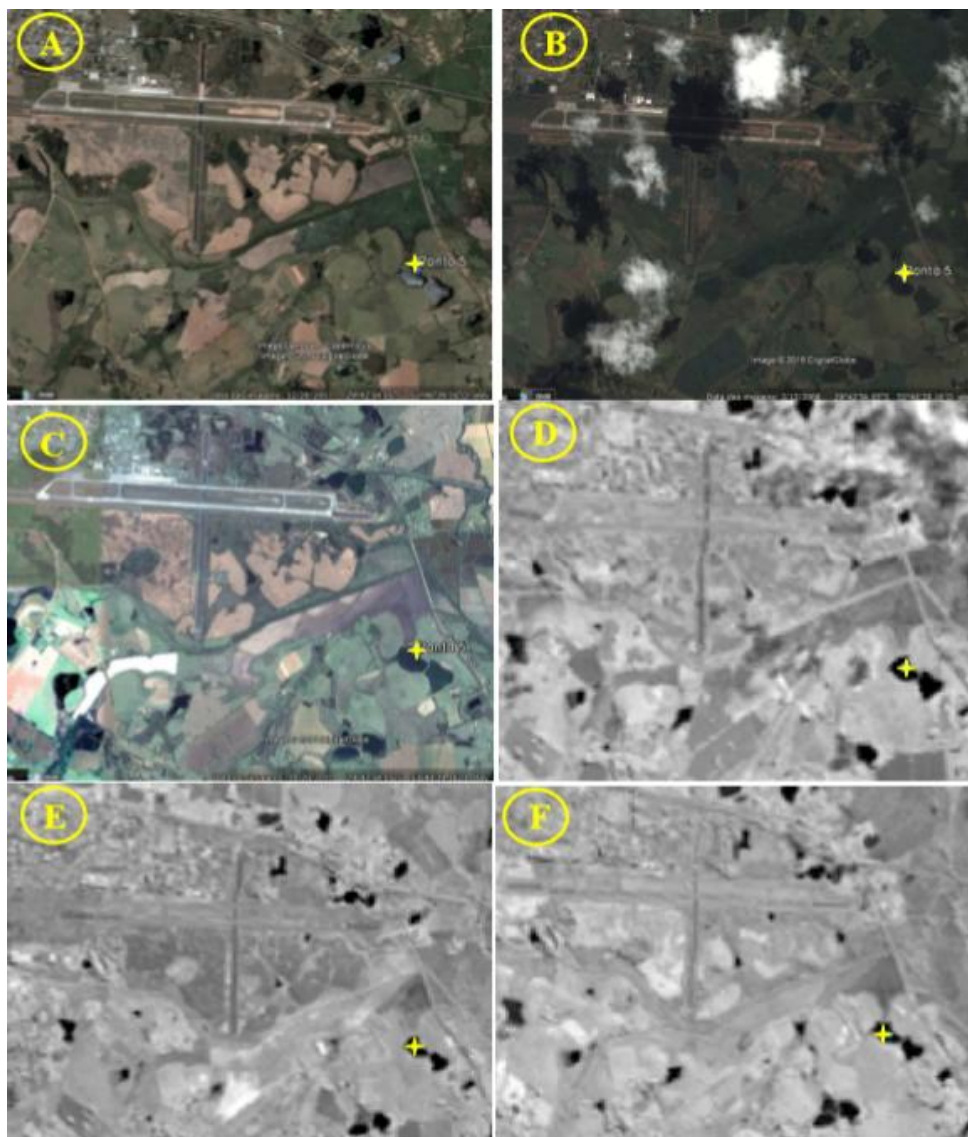


Fonte: Elaborado pelo próprio autor, utilizando dados disponibilizados pelo IBGE, SEMA e DGI/ INPE.

4.4 DETERMINAÇÃO DOS PONTOS DE NÃO MUDANÇA

Para determinação e verificação dos pontos amostrais de não mudança utilizou-se como auxílio o Google Earth PRO®. As imagens que seguem (Figura 13) mostram, como exemplo, o ponto de não mudança de número 05, de coordenadas $53^{\circ} 40' 75''\text{O}$ e $29^{\circ} 43' 77''\text{S}$, representando a classe de lâmina d'água e seu comportamento equivalente ao longo dos anos. O procedimento foi repetido para que a determinação dos 22 pontos de mudança fossem bem definidos.

Figura 13 - Comportamento de ponto de não mudança.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor. Imagens respectivamente, Google Earth Pro®, anos de 2007 (A), 2008 (B) e 2009 (C) e imagens Landsat 5, banda 4, anos de 2011 (D), 2006 (E) e 2001 (F), demonstrando o ponto de não mudança de número 05.

4.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Através do software ArcGIS 10.2®, pontos amostrais de não mudança foram determinados e identificados por meio da análise visual da imagem. Esses pontos caracterizam-se como amostras representativas de áreas de vegetação e água, utilizando a Banda 4 (0,76 a 0,90 μm) do infravermelho próximo.

Para cada um dos pontos de não mudança, foram gerados buffers de 50 metros e determinada a média dos valores digitais dos pixels amostrais presentes neles. Essas médias foram plotadas em um gráfico de dispersão, com auxílio de planilha de cálculo, Excel®. Os valores são os pontos de não mudança e através da reta de regressão, se obtém o valor do ângulo de rotação radiométrica ($\theta = \text{arco tangente do coeficiente angular da reta de regressão}$). No eixo x são plotados os valores da Data 1 (data mais antiga) e no eixo y, os valores da Data 2 (data mais recente).

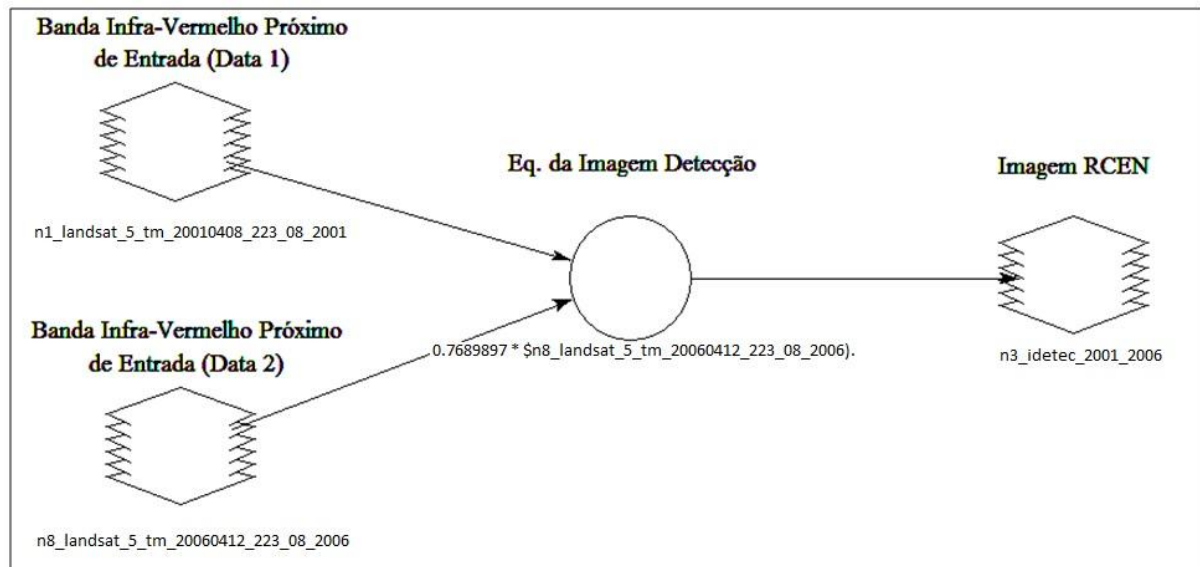
Assim, através da equação (2), as mudanças foram detectadas utilizando uma rotação radiométrica:

$$\text{IDetec} = [(\text{Data}_2 * \cos\theta) - (\text{Data}_1 * \text{sen}\theta)] \quad (2)$$

sendo: IDetec = imagem detecção de mudança; θ = ângulo de rotação; Data_1 = banda 4 TM da região do infravermelho próximo (0,63-0,69 μm) da primeira data, e Data_2 = banda 4 TM da região do infravermelho próximo (0,63-0,69 μm) da segunda data.

O algoritmo quantifica automaticamente os valores das radiâncias e as classifica quanto à mudança. Através de novas assinaturas espectrais, uma nova imagem foi gerada, a imagem detecção de mudanças. Para a obtenção dessa nova imagem foram construídos algoritmos na ferramenta Model Maker, do aplicativo ERDAS IMAGINE 2010®, como o apresentado na Figura 14.

Figura 14 - Algoritmo utilizado na geração da imagem detecção.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor utilizando ferramentas do software ERDAS IMAGINE®.

Para essas novas imagens geradas, valores como desvio padrão (σ), moda (M_o), mediana (M_d) e média (\bar{x}) foram calculados e após observações dos valores centrais dos níveis digitais da IDetec, os novos valores digitais distribuíram-se em três classes: degradação, preservação e regeneração com as seguintes amplitudes:

$$\text{Regeneração} - VMin a (\bar{x} - \sigma) \quad (3)$$

$$\text{Preservação} - (\bar{x} - \sigma) a (\bar{x} + \sigma) \quad (4)$$

$$\text{Degradação} - (\bar{x} + \sigma) a VMax \quad (5)$$

Assim, as imagens detecção correspondem às alterações de ocupação do solo, informando a radiância de cada pixel em termos de "mudou ou não mudou" e delimitando as regiões com e sem mudança de uma data para a outra, através das assinaturas espectrais dos alvos, tendo como produto a nova imagem. Para determinação da qualidade do produto gerado foi realizada uma avaliação do coeficiente de determinação e da reta de regressão.

4.6 CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA

A partir de cada uma das IDetec, um mapa temático final de detecção de mudanças foi gerado e apresentado em três classes: degradação (vermelho), preservação (amarelo) e regeneração (verde). Logo, tornou-se possível realizar uma análise comparativa entre o uso e a ocupação do solo e Legislação de Proteção da Vegetação Nativa (novo Código Florestal), permitindo a verificação do panorama geral da situação das áreas ribeirinhas da bacia hidrográfica envolvida no estudo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PONTOS AMOSTRAIS

A caracterização das amostras de treinamento resultou em 22 pontos amostrais de não mudança que foram determinados e identificados por meio da análise visual da imagem. Os pontos são amostras representativas de áreas de vegetação e lâminas d'água.

Em cada um dos 22 pontos amostrais de não mudança definidos nas imagens, foram gerados buffers de 50 metros e seus dados exportados do programa ArcGIS 10.2® para tabelas do Excel® (Tabela 5). Esse procedimento possibilitou que os valores médios das áreas comuns dos pixels pudessem ser encontrados e analisados através das retas de regressão plotadas em gráficos de dispersão.

Tabela 5 - Valores médios dos pixels dos pontos amostrais em W/m².

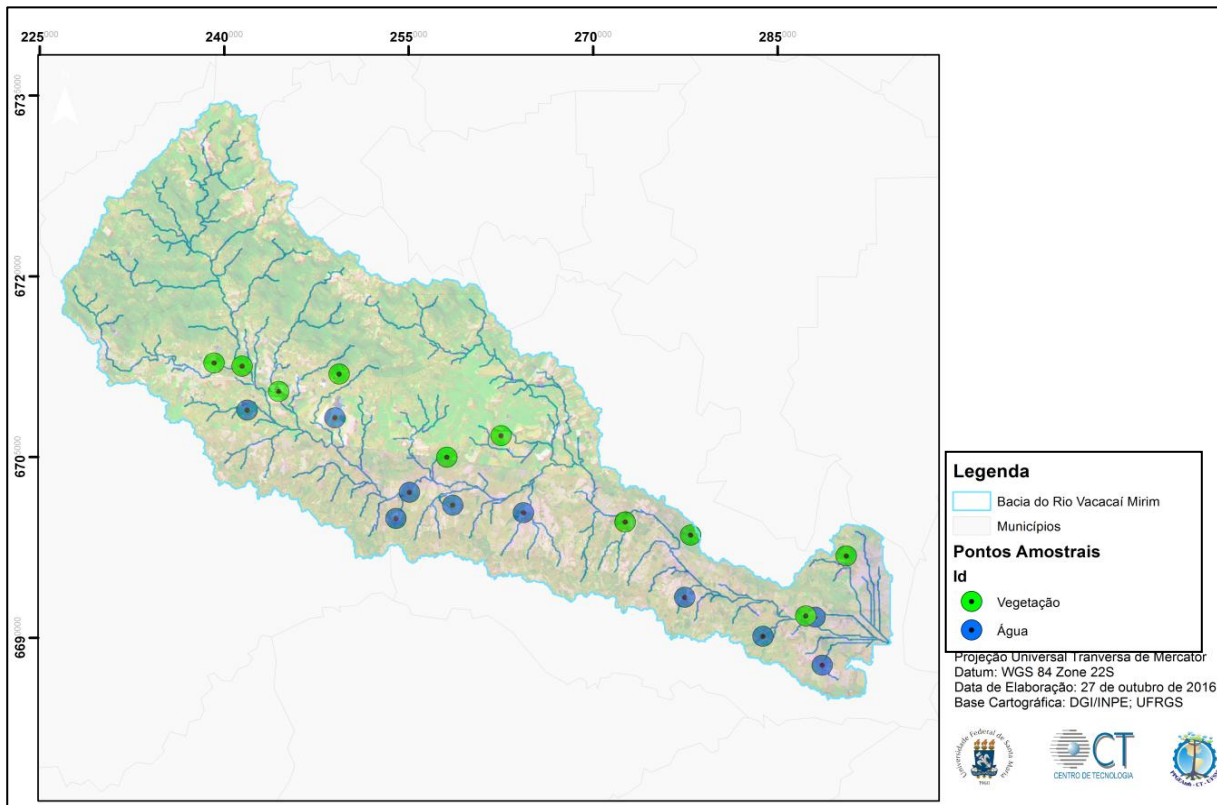
| Pontos | Ano 2001 | Ano 2006 | Ano 2011 | Longitude | Latitude |
|--------|----------|----------|----------|---------------|---------------|
| 1 | 12.281 | 23.727 | 16.647 | 53° 59' 49" O | 29° 73' 05" S |
| 2 | 9.688 | 7.941 | 7.324 | 53° 18' 95" O | 29° 92' 30" S |
| 3 | 20.727 | 35.813 | 32.882 | 53° 53' 36" O | 29° 78' 73" S |
| 4 | 13.406 | 41.844 | 25.636 | 53° 54' 56" O | 29° 80' 66" S |
| 5 | 23.750 | 33.543 | 34.143 | 53° 40' 75" O | 29° 43' 77" S |
| 6 | 13.969 | 24.000 | 23.563 | 53° 66' 85" O | 29° 72' 32" S |
| 7 | 10.688 | 17.861 | 15.344 | 53° 43' 82" O | 29° 80' 44" S |
| 8 | 35.656 | 53.853 | 47.647 | 53° 19' 47" O | 29° 88' 69" S |
| 9 | 10.531 | 16.171 | 13.156 | 53° 23' 88" O | 29° 90' 05" S |
| 10 | 13.125 | 18.500 | 23.606 | 53° 19' 84" O | 29° 87' 93" S |
| 11 | 10.438 | 9.125 | 11.030 | 53° 30' 40" O | 29° 87' 02" S |
| 12 | 47.781 | 66.412 | 58.000 | 53° 50' 16" O | 29° 76' 17" S |
| 13 | 42.000 | 53.853 | 41.029 | 53° 45' 56" O | 29° 74' 64" S |
| 14 | 24.375 | 44.303 | 34.030 | 53° 35' 29" O | 29° 81' 29" S |
| 15 | 41.030 | 62.281 | 61.114 | 53° 20' 25" O | 29° 88' 58" S |
| 16 | 42.750 | 70.676 | 66.829 | 53° 16' 74" O | 29° 84' 14" S |
| 17 | 48.000 | 64.000 | 46.281 | 53° 29' 80" O | 29° 82' 37" S |
| 18 | 32.688 | 49.647 | 51.853 | 53° 44' 40" O | 29° 75' 10" S |
| 19 | 18.250 | 24.879 | 20.471 | 53° 59' 05" O | 29° 69' 78" S |
| 20 | 21.125 | 33.000 | 27.343 | 53° 69' 54" O | 29° 68' 74" S |
| 21 | 27.281 | 41.324 | 23.594 | 53° 67' 17" O | 29° 69' 01" S |
| 22 | 27.781 | 48.688 | 30.941 | 53° 64' 16" O | 29° 70' 97" S |

Fonte: Próprio autor.

A Figura 15 mostra como os pontos amostrais apresentam-se distribuídos conforme

sua localização e categoria ao longo da bacia em estudo. Os pontos de não mudança de vegetações apresentam-se em verde e os pontos de não mudança de lâminas d'água são apresentados em azul, verifica-se a distribuição homogênea desses pontos de não mudança ao longo do trecho.

Figura 15 - Localização dos Pontos Amostrais na área de estudo.



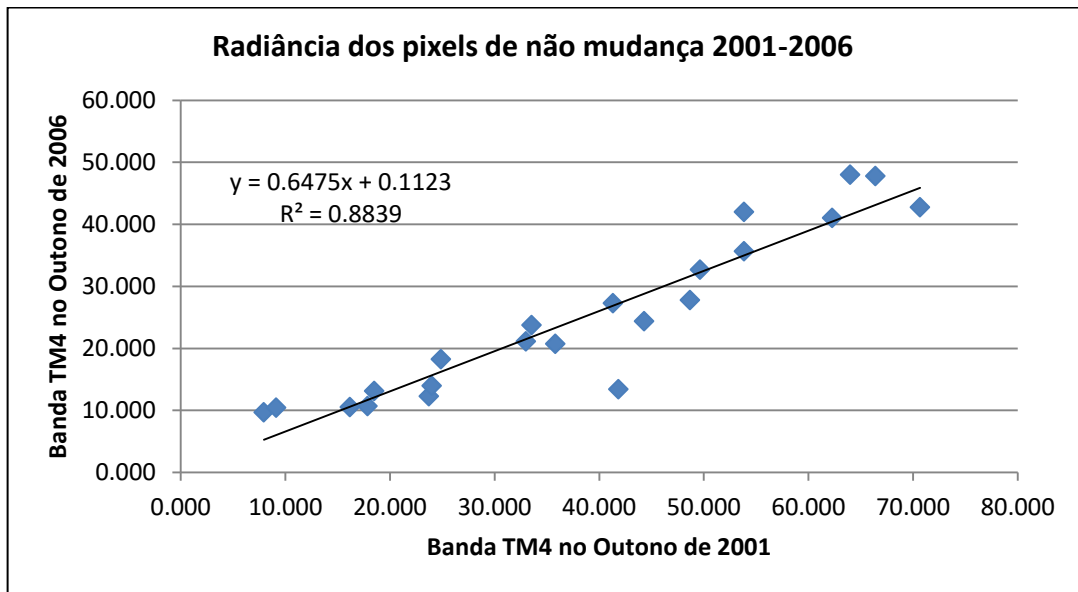
Fonte: Elaborado pelo próprio autor, utilizando dados disponibilizados pelo DGI/INPE e LabGeo/UFRGS.

5.2 COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO E RETAS DE REGRESSÃO

Para avaliar a correlação da média espectral dos pixels amostrais foi analisado o coeficiente de determinação (R^2). Por meio da análise dos valores de R^2 , gerados a partir das retas de regressão verificou-se pouca variabilidade espacial para todos os pares de anos analisados (Figuras 16, 17 e 18).

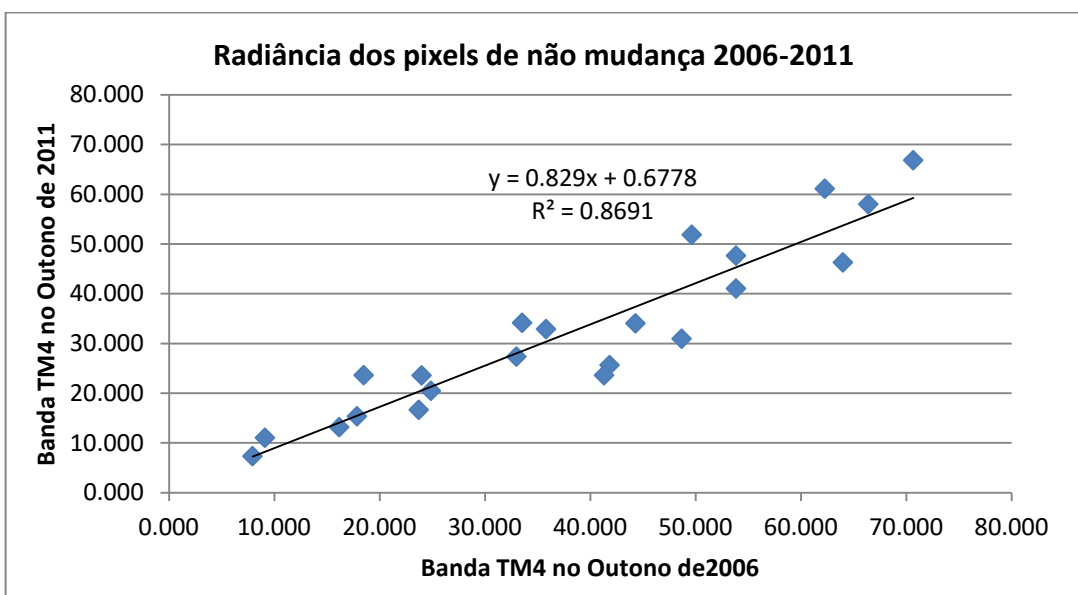
Os períodos analisados mostram todos os coeficientes de Determinação superiores a 80%. Para esse resultado são necessários: um bom georreferenciamento nas imagens trabalhadas (através de uma imagem base), pontos de não mudança bem definidos (lâminas d'água, barragens, florestas, etc.) e a verificação da presença desses pontos em todas as imagens.

Figura 16 - Relação entre os valores digitais para o período entre 2001-2006.



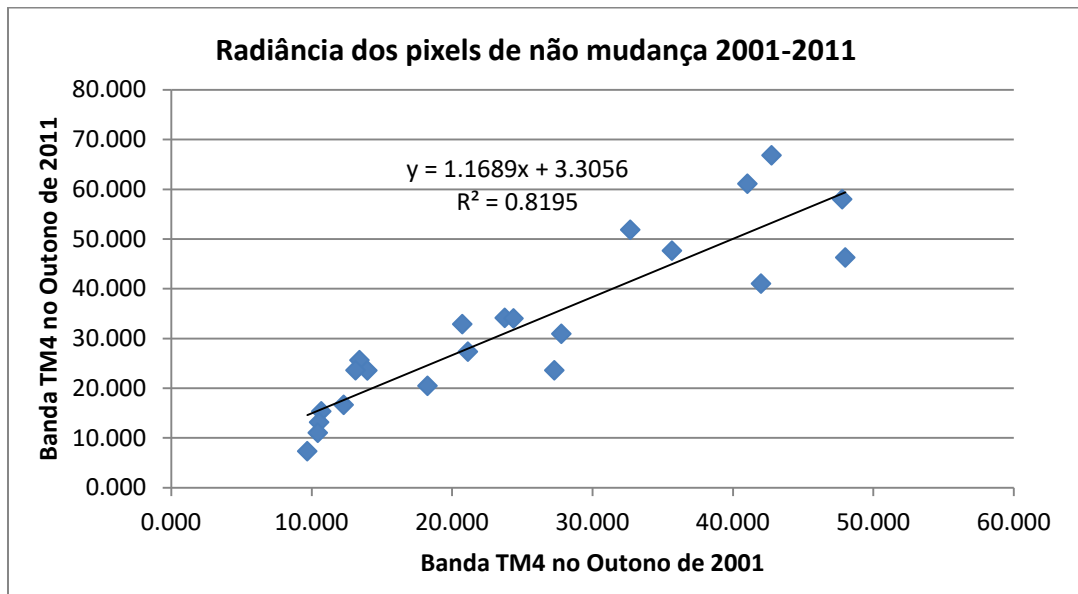
Fonte: Próprio autor.

Figura 17 - Relação entre os valores digitais para o período entre 2006-2011.



Fonte: Próprio autor.

Figura 18 - Relação entre os valores digitais para o período entre 2001-2011.



Fonte: Próprio autor.

A partir dos gráficos de dispersão foi analisada a dispersão média dos pixels amostrais como também a obtenção da reta de regressão e coeficiente de determinação R^2 .

Nas retas de correlação, mostradas nas Figuras 16, 17 e 18, pode-se observar os pontos localizados próximos ao ângulo de rotação de 45° . De acordo com Maldonado et al. (2005), essa proximidade mostra a compatibilidade dos dados e datas analisadas. Os mesmos autores afirmam que, ainda que o intervalo de tempo seja pequeno, a correlação nunca é perfeita, pois depende de uma conjunção de fatores naturais e técnicos que são atrelados à aquisição da imagem pelo sensor e no processo de correção geométrica das imagens disponibilizadas.

Ao analisar as retas de regressão conclui-se que os pixels amostrais de não mudança apresentaram uma baixa variação nas respostas espectrais e pequena variabilidade, pois menores radiâncias possuem menores variações.

5.3 CÁLCULOS PARA FÓRMULA IDETEC

Os valores digitais médios foram obtidos através dos pontos amostrais de não mudança, esses valores foram plotados e ajustados às retas de regressão, para assim obter o ângulo de rotação radiométrica (arco tangente do coeficiente angular).

Após a plotagem desses dados foram obtidos os valores que são utilizados nas

fórmulas para geração das imagens detecção e são apresentados a seguir (Tabelas 6, 7 e 8):

Tabela 6 - Cálculos para fórmula para IDetec 2001-2006.

| | | | | | | |
|---|---------|-----------|--------------------|------|-----------|------|
| Coeficiente Angular: | | 0.6475 | Data 1: | 2001 | Data 2: | 2006 |
| Arco Tangente (rad): | | 0.574616 | Arco Tangente (°): | | 32.923057 | |
| Imagem Detecção: | cos(q): | 0.8394012 | | | | |
| | sen(q): | 0.5435123 | | | | |
| I Detec = [(0.839401212670273 x Img 2006) - (0.543512285204001 x Img 2001)] | | | | | | |

Fonte: Próprio autor.

Tabela 7 - Dados para fórmula para IDetec 2006-2011.

| | | | | | | |
|---|---------|-----------|--------------------|------|-----------|------|
| Coeficiente Angular: | | 0.8337 | Data 1: | 2006 | Data 2: | 2011 |
| Arco Tangente (rad): | | 0.694955 | Arco Tangente (°): | | 39.817967 | |
| Imagem Detecção: | cos(q): | 0.7680828 | | | | |
| | sen(q): | 0.6403506 | | | | |
| I Detec = [(0.768082754891158 x Img 2011) - (0.640350592752759 x Img 2006)] | | | | | | |

Fonte: Próprio autor.

Tabela 8 - Cálculos para fórmula para IDetec 2001-2011.

| | | | | | | |
|---|---------|-------------|--------------------|------|-----------|------|
| Coeficiente Angular: | | 1.1369 | Data 1: | 2001 | Data 2: | 2011 |
| Arco Tangente (rad): | | 0.849375498 | Arco Tangente (°): | | 48.665631 | |
| Imagem Detecção: | cos(q): | 0.6604522 | | | | |
| | sen(q): | 0.7508681 | | | | |
| I Detec = [(0.660452192945321 x Img 2011) - (0.750868098159535 x Img 2001)] | | | | | | |

Fonte: Próprio autor.

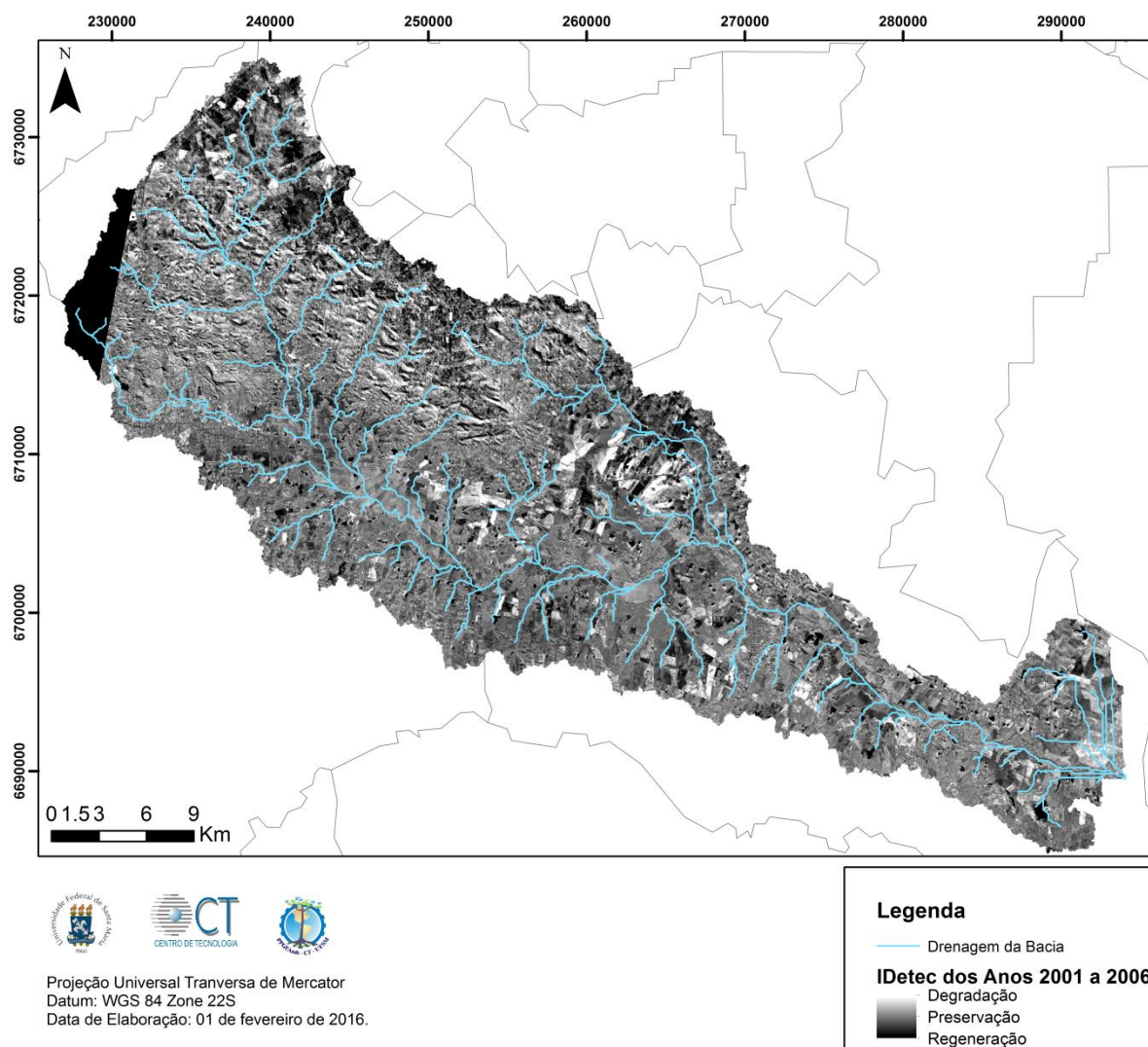
No período analisado entre os anos de 2001 e 2006 foi calculado para o ângulo o valor de arco tangente de 32,92° e entre 2006 e 2011 apresentou um valor de arco tangente de 39,82°.

O ângulo menor de 45° evidencia um maior efeito atmosférico entre as datas de imageamento. Já entre os anos de 2001 e 2011 esse ângulo é maior de 45°, o que minimiza o efeito atmosférico da primeira data, conforme explica Maldonado et al. (2009).

5.4 IMAGENS DETECÇÃO

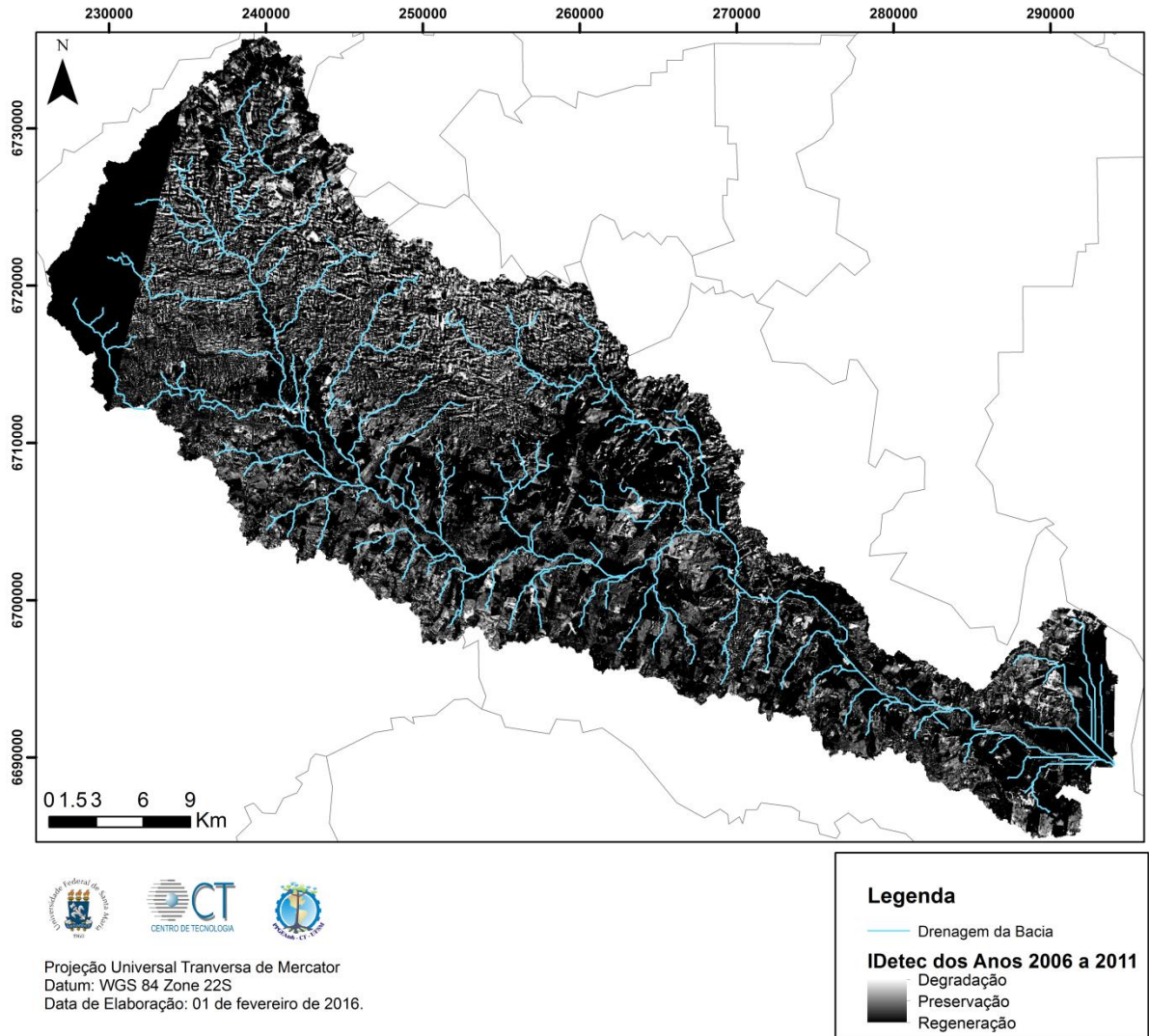
Como demonstrado em trabalho desenvolvido por MALDONADO (2015), a IDetec (Figuras 19, 20 e 21) é formada por valores contínuos, portanto apresenta em sua imagem os pixels de tons claros como aqueles que sofreram mais perda de cobertura vegetal, os de tons médios representam aqueles em que a cobertura vegetal foi preservada e as áreas de ganho da cobertura vegetal são representadas pelos pixels de tons escuros.

Figura 19 - Imagem Detecção dos Anos de 2001 e 2006.



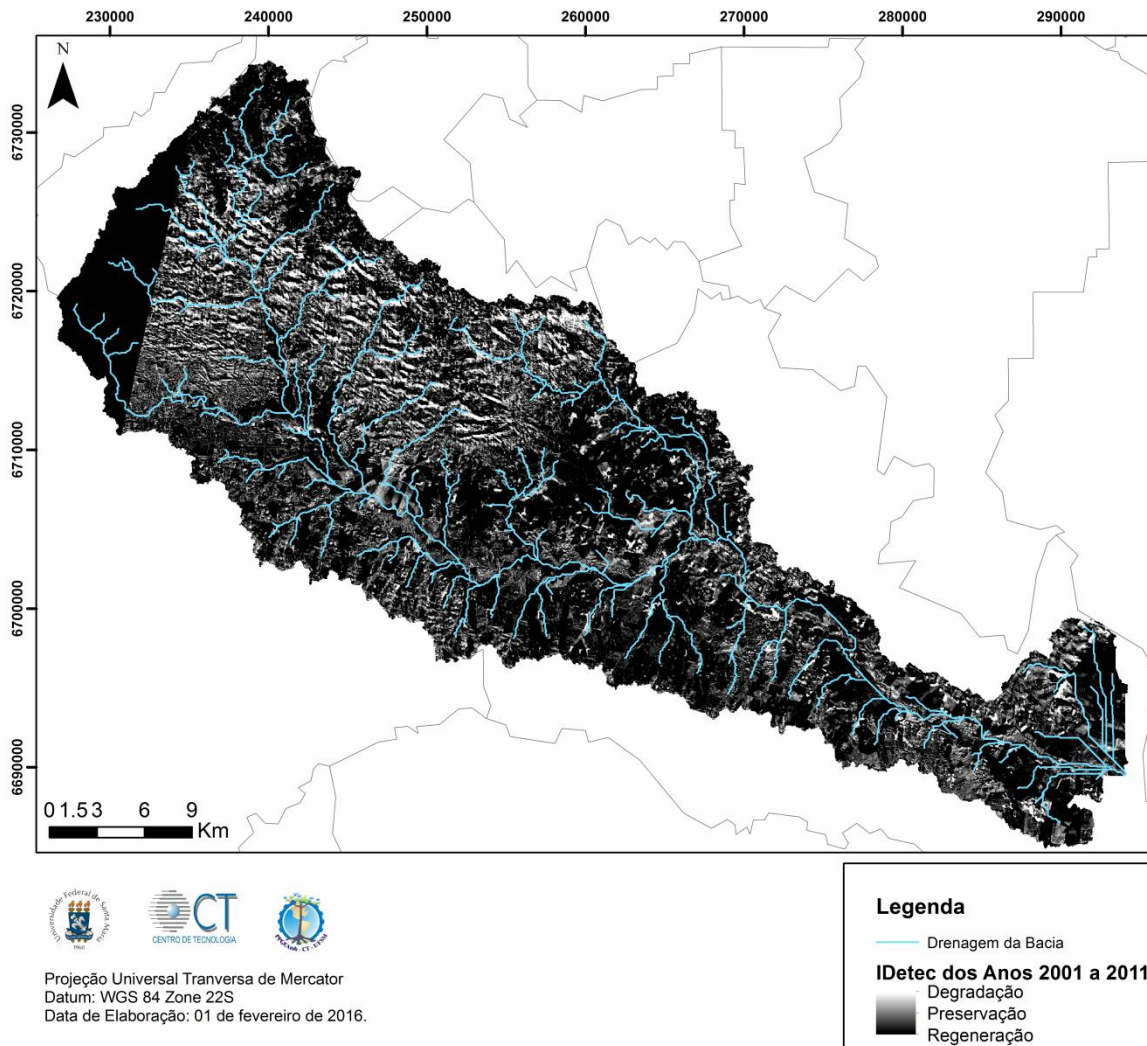
Fonte: Próprio autor.

Figura 20 - Imagem Detecção dos Anos de 2006 e 2011.



Fonte: Próprio autor.

Figura 21 - Imagem Detecção dos Anos de 2001 e 2011.



Fonte: Próprio autor.

5.5 RESULTADOS DAS IMAGENS DETECÇÃO CLASSIFICADAS

Como a IDetec resultante do processamento possui uma análise visual dificultada devido a semelhança de seus tons, foram gerados mapas temáticos com o resultado dessas mudanças detectadas. Esses mapas são resultantes de processos de fatiamento e rotulação, utilizando como amplitude das classes: para a classe de regeneração os valores de $VMin$ a $(\bar{x} - \sigma)$, para a classe de preservação os valores de $(\bar{x} - \sigma)$ a $(\bar{x} + \sigma)$ e para a classe de degradação os valores de $(\bar{x} + \sigma)$ a $VMax$.

Como resultado desses mapas temáticos temos as Figuras 22, 23 e 24, apresentados abaixo apresentando as 3 classes: mudança (vermelho), preservação (amarelo) e regeneração (verde).

A análise da IDetec dos anos de 2001 e 2006 (Figura 22), mostra a maior parte da bacia em análise preservada abrangendo 53,64% da área, o que corresponde a 618,16 km². Já 21,23% da bacia apresenta degradação, correspondendo a 244,73 km². O que merece destaque é a área de 242,06 km² em regeneração, o que equivale a 21% do tamanho da área de estudo.

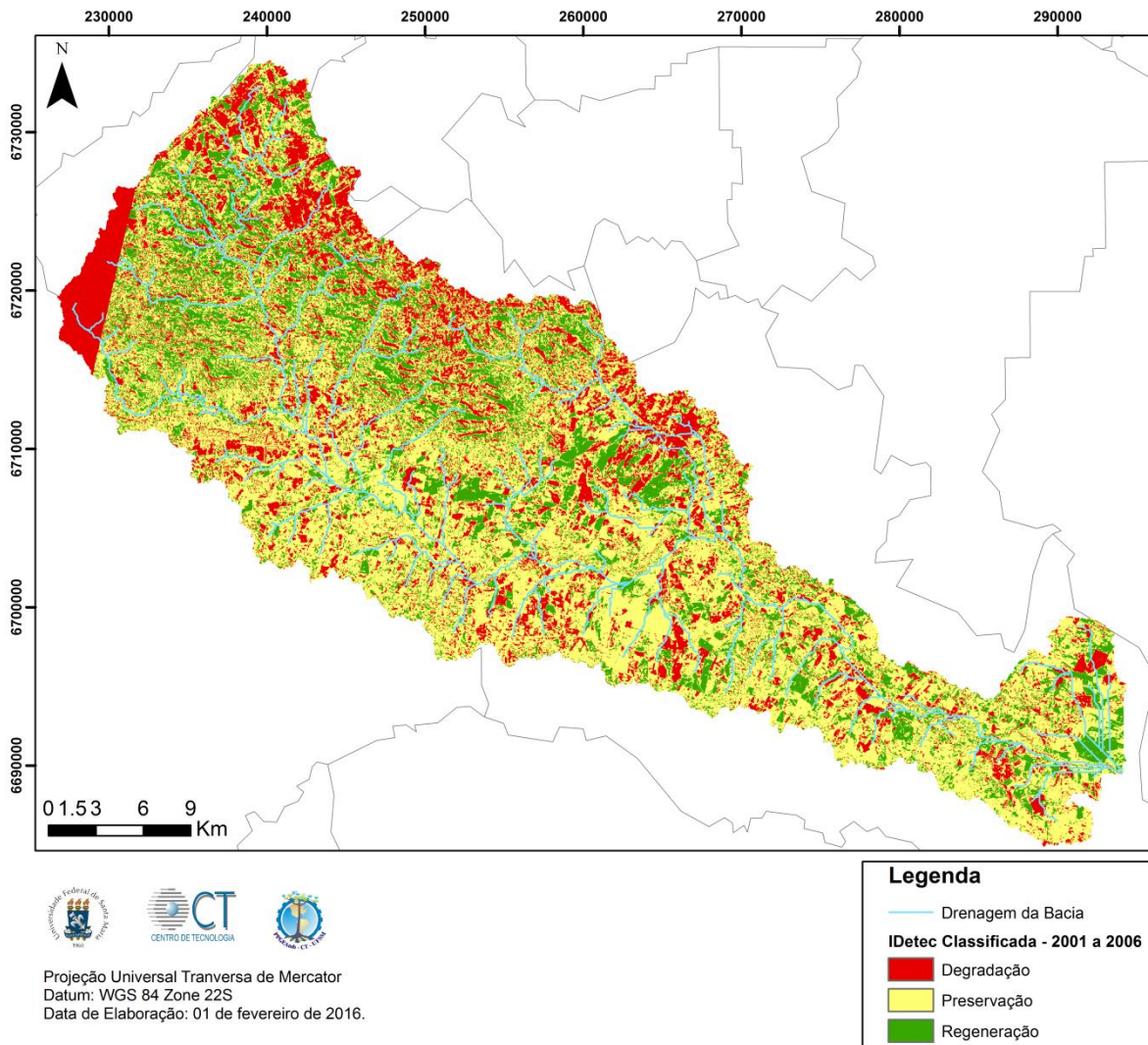
Os dados expressam que a maior parte da área da bacia no período analisado está em estado de preservação e/ou regeneração, um total de 74,64%, o que demonstra a prevalência do tom amarelo ao longo do mapa temático.

Ao longo dos cinco anos seguintes (Figura 23) o cenário já se apresenta de forma distinta, o que é nítido na tonalidade vermelha que o mapa adquire. Um total de 67,84% da área está em degradação, resultando em um acréscimo de 46,6%, um total de 537,13 km² a mais em área degradada. Apenas 23,38% da área preservada, o equivalente a 268,84 km² da extensão estudada e com relação à regeneração apenas 68,60 km², um total de 5,95% da bacia.

O fato merece destaque pois em um período de 5 anos observou-se um cenário completamente diferenciado, envolvendo um conjunto de fatores que engloba autoridades ambientais, população local, agricultores da região e evidentemente o descumprimento da legislação ambiental.

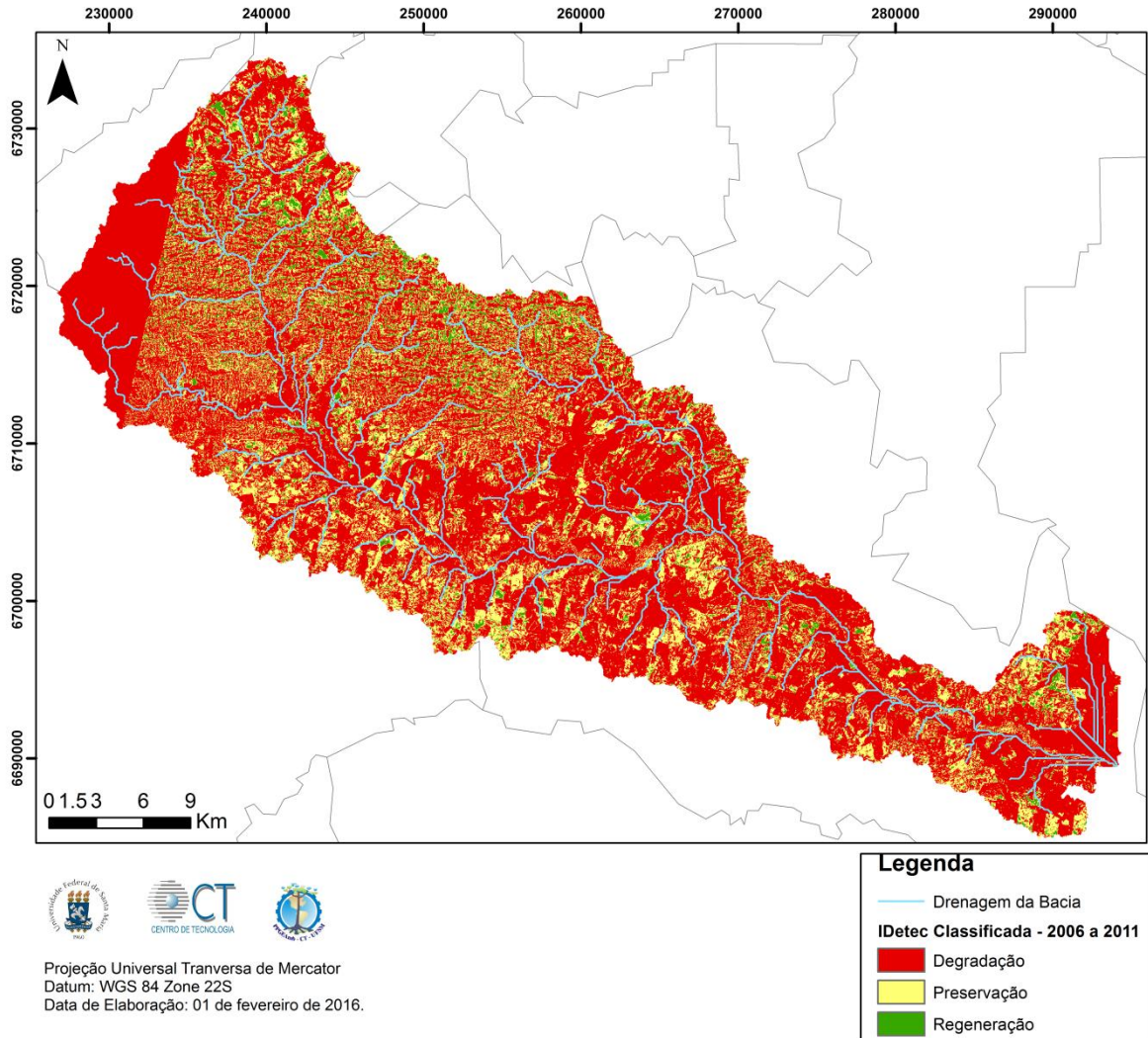
Diante da paisagem estudada se mostra necessária e importante a análise da área em um período maior, por isso o mapa equivalente a 10 anos, de 2001 a 2011 é apresentando a seguir (Figura 24) e demonstra uma pequena melhoria no cenário em relação à análise de apenas 5 anos (2006 a 2011).

Figura 22 - IDetec Classificada - Anos de 2001 a 2006.



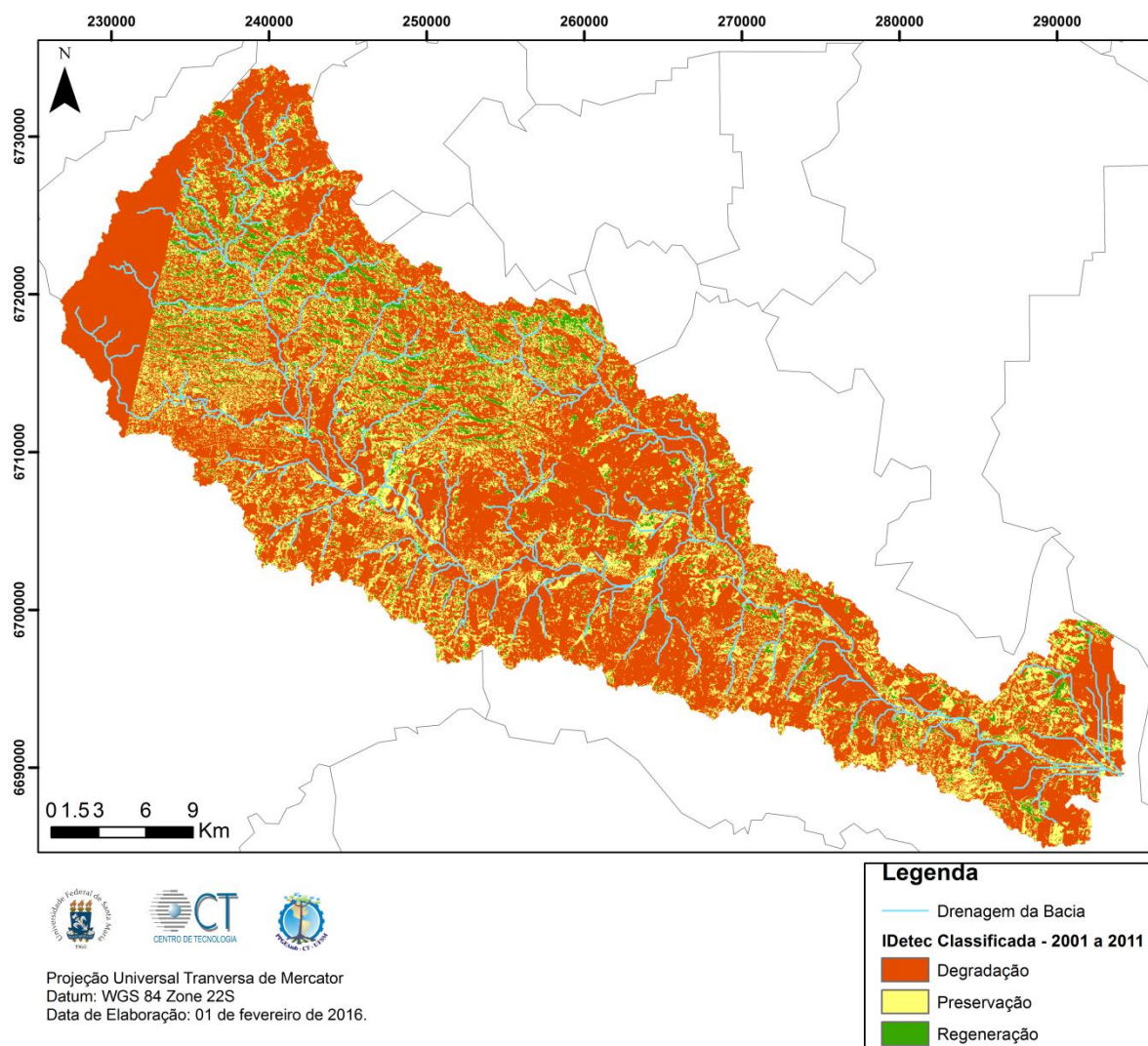
Fonte: Próprio autor.

Figura 23 - IDetec Classificada - Anos de 2006 a 2011.



Fonte: Próprio autor.

Figura 24 - IDetec Classificada - Anos de 2001 a 2011.



Fonte: Próprio autor.

Entre os anos de 2001 a 2011, o cenário de degradação ainda prevalece, 67,05% da área encontrava-se nessa situação, o equivalente a 772,76 km². Em situação de preservação temos 271,38 km², 23,55% da área. Como áreas regeneradas observou-se um total de 6,51% , o equivalente a 75,06 km².

Em relação ao mapa anterior (2006-2011) a área regenerada teve um acréscimo de 6,46 km² da área, a área preservada um aumento de 2,54 km² e a área em degradação um decréscimo de 9,1 km².

Através dessas análises pode-se inferir que grande parte das áreas de degradação encontradas no período de 10 anos, ocorreram ao longo dos últimos 5 anos estudados. O fato reforça a necessidade de uma reformulação na lei ambiental, o que ocorreu em 2012 através da Lei de Proteção à Vegetação Nativa (BRASIL, 2012). A legislação abrange todos aqueles que se utilizam da terra, acrescentou novas regras, alterou outras e prevê uma fiscalização mais rígida e atuante.

A fim de obter um parâmetro comparativo para o resultado das imagens detecção, foram confeccionados dois mapas temáticos de uso da terra (Figuras 25 e 26), dos anos de 2001 e 2011. Os mapas foram elaborados através do software Spring, por meio de classificação supervisionada utilizando imagens do satélite Landsat 5, dos anos 2001 e 2011. Em ambos os mapas temos como classe predominante a Vegetação Nativa, destaque para o decréscimo de 2,19% da área entre 2001 e 2011, o que caracteriza a degradação, também encontrada no mesmo período da Imagem Detecção.

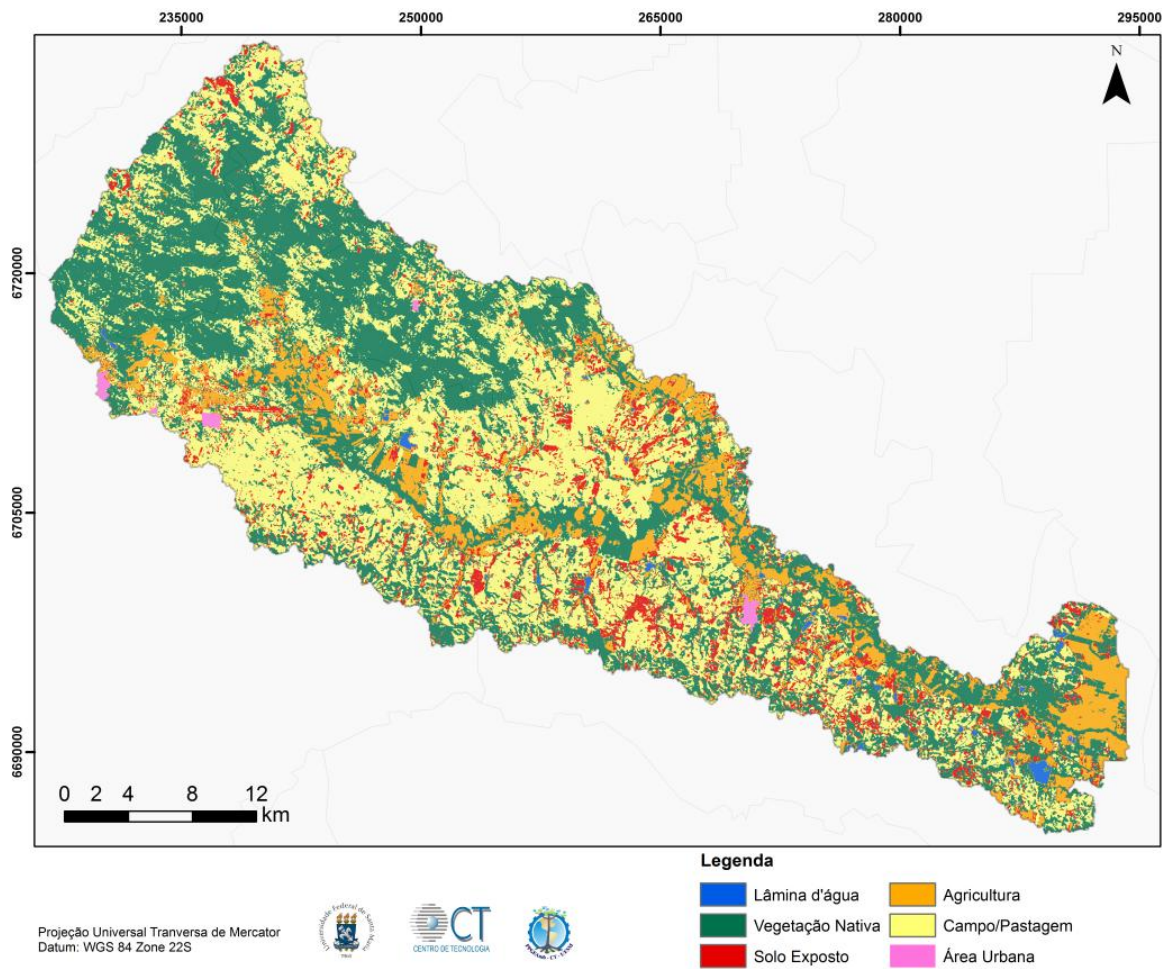
Entre as seis classes definidas nos mapas temáticos (Solo Exposto, Lâmina d'água, Vegetação Nativa, Agricultura, Campo/Pastagem e Área Urbana) temos as seguintes distribuições ao longo da área da Bacia do Vacacaí Mirim (Tabelas 09 e 10):

Tabela 9 - Relação entre áreas nos anos de 2001 e 2011.

| CLASSES | 2001 (%) | Km ² | 2011 (%) | Km ² | Relação 2001 - 2011 (%) |
|------------------|----------|-----------------|----------|-----------------|-------------------------|
| Lâmina d'água | 0.65 | 7.49 | 1.37 | 15.76 | +0.71 |
| Vegetação Nativa | 41.13 | 473.82 | 38.95 | 448.65 | -2.19 |
| Solo Exposto | 8.17 | 94.17 | 35.30 | 406.66 | +27.12 |
| Agricultura | 11.06 | 127.47 | 4.99 | 57.46 | -6.08 |
| Campo/Pastagem | 38.09 | 438.80 | 18.39 | 211.82 | -19.70 |
| Área Urbana | 0.89 | 10.25 | 1.01 | 11.66 | +0.12 |

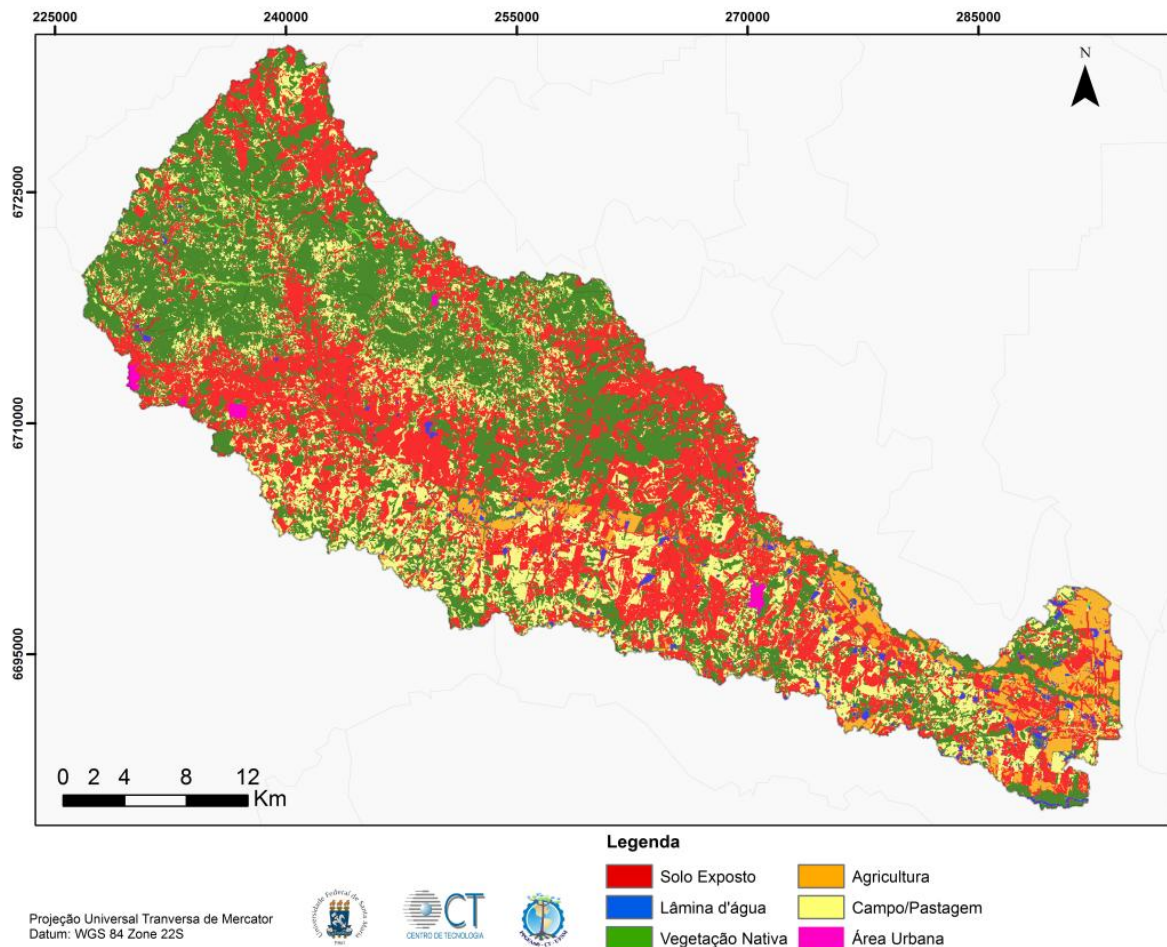
Fonte: Próprio autor.

Figura 25 - Uso e Ocupação da Terra no ano de 2001.



Fonte: Próprio autor.

Figura 26 - Uso e Ocupação da Terra no ano de 2011.



Fonte: Próprio autor

Como demonstrado através da técnica RCEN, entre os anos de 2006 e 2011 a bacia apresentava um total de 67,05% de sua área em degradação. Através dos mapas temáticos de uso da terra, reforça-se o que foi encontrado através da IDetec e pode-se observar que no período em estudo, apesar da redução nas áreas de agricultura, houve um considerável acréscimo nas áreas de solo exposto e diminuição nas áreas de campo/pastagem e de vegetação nativa o que engloba também as áreas de vegetações ciliares ao longo da bacia.

As lâminas d'água tiveram um aumento que pode se justificar pelo aumento de barragens, lagos artificiais ou a próprio processo erosivo causado pela não conservação da vegetação ciliar. Já a área urbana teve um pequeno aumento devido à expansão urbana.

O mesmo quadro encontrado entre os anos de 2001 e 2011 (Figura 27 e 28) utilizando a técnica RCEN foi facilmente identificado em trecho da bacia localizado próximo à área da pista da Base Aérea de Santa Maria, RS, através de imagens disponibilizadas pelo Google Earth PRO® no mesmo período analisado.

Figura 27 - Imagem Google Earth PRO® de área da Bacia do rio Vacacaí Mirim - 2001.



Fonte: Google Earth PRO®.

Figura 28 - Imagem Google Earth PRO® de área da Bacia do rio Vacacaí Mirim - 2011.



Fonte: Google Earth PRO®.

Assim como ressaltado por Alves et al. (1998), na presente pesquisa, a utilização de imagens de satélite possibilitou o estudo de extensões significativas de área, o que dificilmente seria possível de monitorar sem o uso dos recursos de Sensoriamento Remoto.

Vale ressaltar que, como sugerido por Jensen (2009), a escolha da banda 4 foi a mais adequada, levando em consideração o objetivo da pesquisa, a banda auxiliou no realce de

contrastes como: solo x água x vegetação, já que o uso da banda 3 poderia reduzir a precisão das investigações da vegetação.

Seguindo uma série de critérios recomendados por Silva (2004), obteve-se um bom resultado no trabalho, devido a fatores como a utilização de mesmos sensores e bandas, mesmos períodos sazonais de aquisição das imagens, minimizando as diferenças nas condições atmosféricas e a manipulação de imagens com a mesma resolução espacial.

Porém, ao contrário do trabalho de Fujaco et al. (2010), ainda não se pode afirmar que há uma recuperação gradual da vegetação nativa. A área envolvida no estudo, como no trabalho dos autores, também é controlada por ações antropogênicas que prejudicam a área que a bacia engloba. Entretanto, apesar do alto índice de degradação, verifica-se um crescimento nas áreas de preservação, fato que merece destaque.

5.6 RELAÇÃO DA IMAGEM DETECÇÃO X APP

Considerando à Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei 12.651/2012) e a drenagem da bacia do Vacacaí Mirim, cuja largura do leito ao longo da mesma varia entre 8 e 19 metros, predominando as larguras superiores a 10 metros, tem-se que, cursos d'água de até 10 metros devem ter um limite de 30 metros de vegetação preservadas a partir de cada uma de suas margens. Para cursos d'água de 10 a 50 metros a faixa preservada deve ser de 50 metros (BRASIL, 2012).

Como a largura média do leito principal é superior a 10 metros, foi adotado um buffer geral de 50 metros para visualização e análise da IDetec em relação às APPs. Na Figura 29 observa-se a IDetec ao longo da drenagem do rio Vacacaí Mirim, durante os anos de 2001 e 2006. Entre os anos de 2001 e 2006, a área degradada ao longo do rio é de 16,95%, correspondendo a 3,87 km², já de áreas preservadas são 15 km² (63,16%) e como áreas de regeneração temos 19,89% ou 4 km² (Tabela 10). Um total de 83,05% entre áreas de preservação e regeneração.

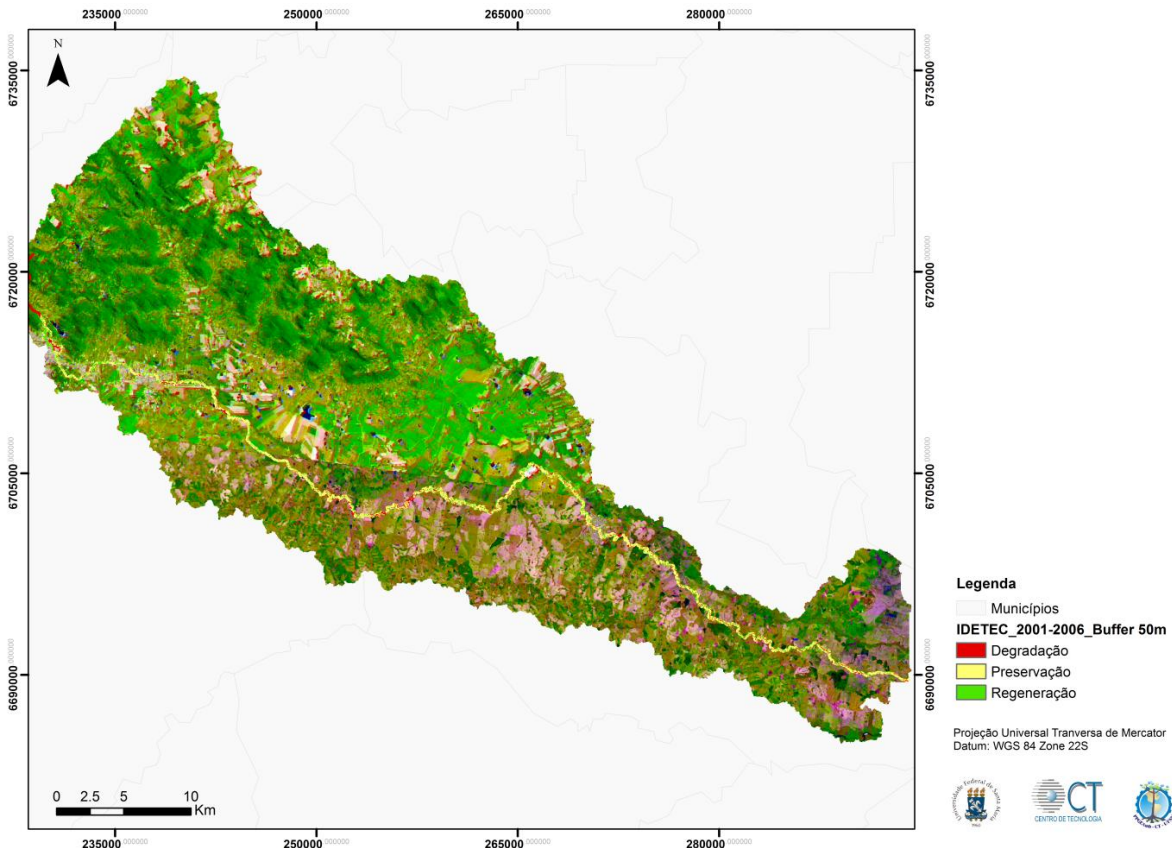
Tabela 10 - Índices ao longo do rio principal - 2001/2006.

| 2001 - 2006 | |
|-------------|--------|
| Degradação | 16.95% |
| Preservação | 63.16% |

| | |
|-------------|--------|
| Regeneração | 19.89% |
|-------------|--------|

Fonte: Próprio autor.

Figura 29 - IDetec 2001-2006 para Buffer de 50 metros.



Fonte: Próprio autor

Com a IDetec entre os anos de 2006 e 2011, novamente é possível perceber uma forte degradação (Figura 30). Entre os anos de 2006 e 2011, a área degradada ao longo do rio é de 74,52%, correspondendo a 17,77 km², essa degradação está distribuída ao longo do rio e provavelmente refere-se ao uso consolidado do solo rural permitido se anterior a 2008. De acordo com o artigo 62, da Lei 12.651/2012, as áreas consolidadas por atividades agrossilvipastoris, de turismo rural e ecoturismo que já existiam em APPs até 22 de julho de 2008 seguem sendo consideradas áreas consolidadas. Vale observar que estas não podem estar em áreas de risco e, também, é necessário observar os critérios técnicos de conservação água e do solo estabelecidos no PRA, além disso devem estar de acordo com o número de módulos fiscais (MF) da propriedade rural, esses módulos fiscais variam entre os municípios e estados, não tendo um valor pré definido. Entre áreas preservadas 4,73 km² (22,83%) e como áreas de

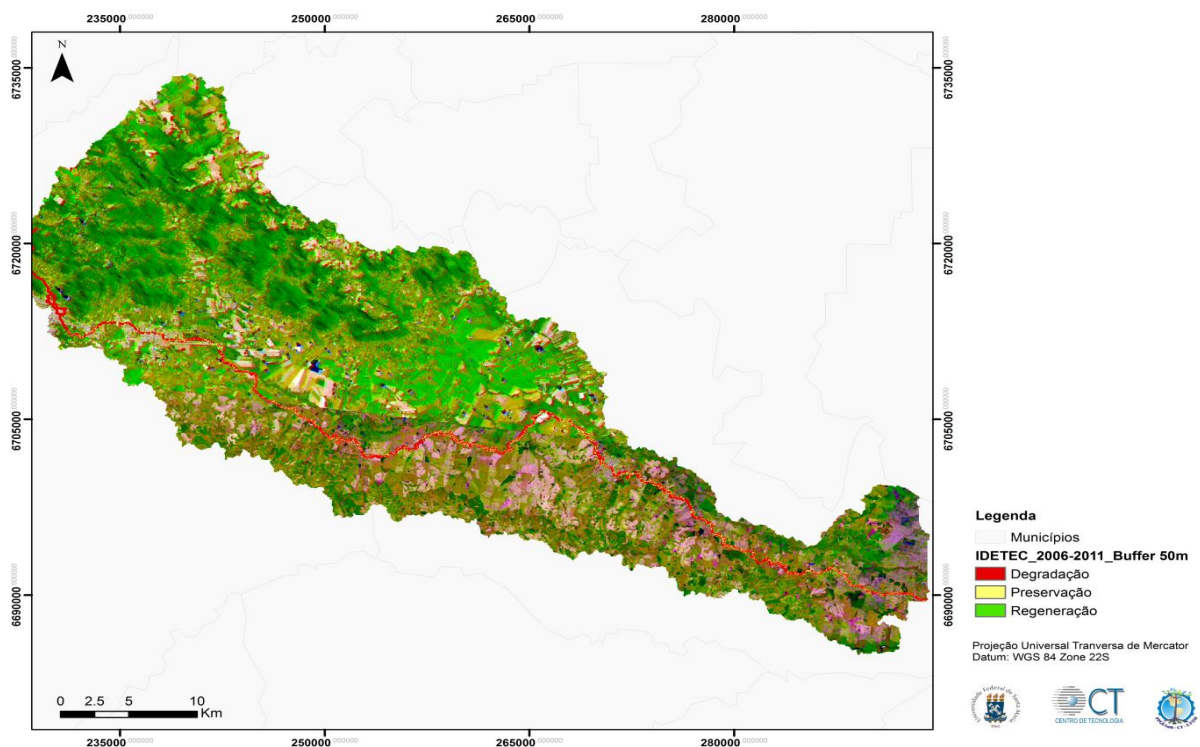
regeneração temos 2,65% ou 0,6 km². Um total de apenas 25,48% entre áreas de preservação e regeneração, conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Índices ao longo do rio principal - 2006/2011.

| 2006 - 2011 | |
|-------------|--------|
| Degradação | 74,52% |
| Preservação | 22,83% |
| Regeneração | 2,65% |

Fonte: Próprio autor.

Figura 30 - IDetec 2006-2011 para Buffer de 50 metros.



Fonte: Próprio autor.

A maior parte da APP na IDetec analisada ainda está em área de degradação abrangendo 57,19% da área total do trecho, o equivalente a 13,50 km². Já a área preservada apresenta uma melhora em relação ao período de 2006 a 2011, 36,87% está classificada como preservação, um total de 8,51 km² e uma área de 5,94% em regeneração (1,15 km²), conforme Tabela 12.

Tabela 12 - Índices ao longo do rio principal - 2001/2011.

| 2001 - 2011 | |
|-------------|--------|
| Degradação | 57,19% |
| Preservação | 36,87% |
| Regeneração | 5,94% |

Fonte: Próprio autor.

Em relação ao mapa anterior (Figura 30) a área regenerada teve um acréscimo de 3,29%, a preservada um aumento de 14,04% e em degradação um decréscimo de 17,33%.

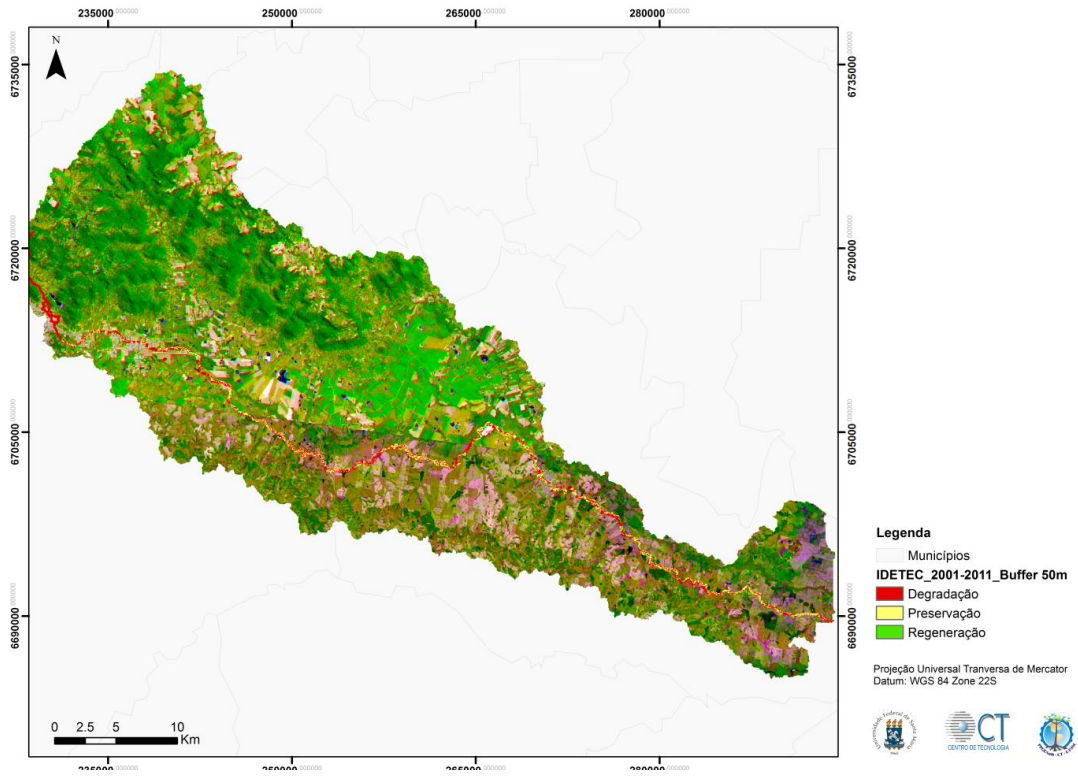
A IDetec do buffer de 50 metros no período de 2001 e 2011 (Figura 30), apresenta uma melhora significativa quando comparada a IDetec da bacia num todo. Essa característica tem grande importância na análise da APP ao longo da drenagem do rio Vacacaí Mirim.

Ainda vale ressaltar que a APP agora é com base na largura do corpo d'água desde a borda da calha do leito regular dos rios e cursos d'água. Anteriormente, a medida do que deveria ser preservado era feito a partir da cheia dos rios. Apesar de ter facilitado o acesso aos locais para a medição das áreas, houve uma diminuição da área passível de preservação.

A LPVN ainda define um critério mais objetivo para as APPs, impedindo interpretações que geravam arbitrariedades, tanto em áreas rurais como urbanas. Durante a vigência da Lei nº 4.771/1965, era levado em consideração que o Código Florestal só deveria ser aplicado à área rural, já que a legislação não era explícita e gerava dúvidas.

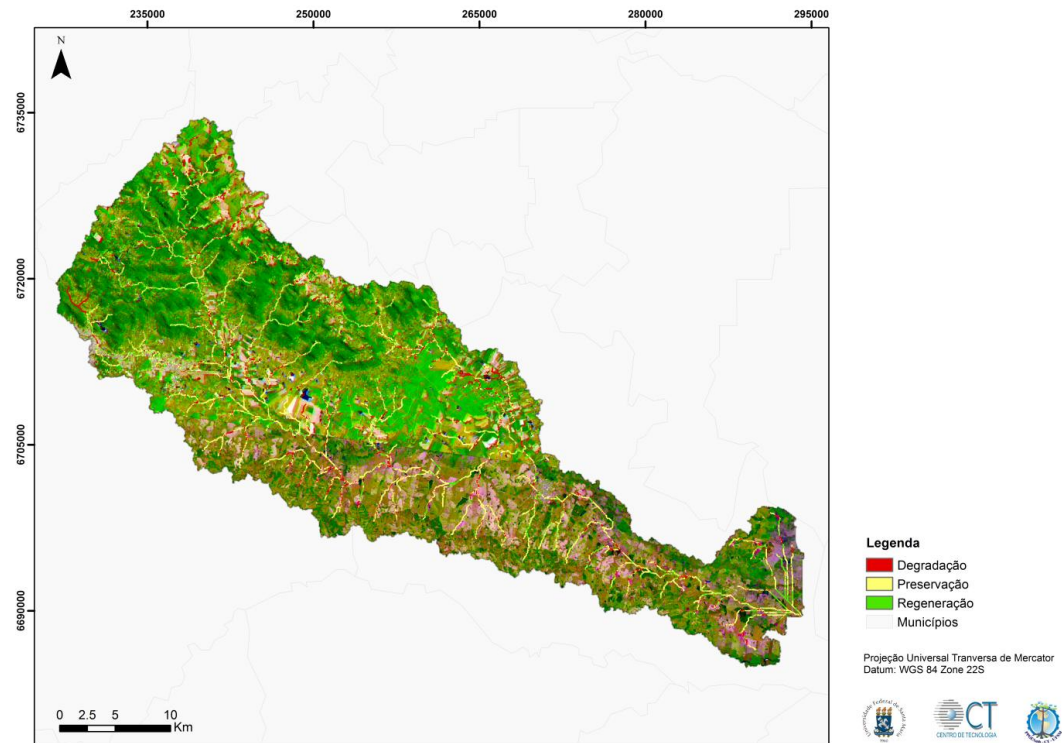
A largura média geral das demais drenagens da bacia do Vacacaí Mirim é de até 10 metros. Portanto foi adotado um buffer geral de 30 metros, área a ser preservada de acordo com a Lei 12.651/2012, para visualização e análise da IDetec em relação as APPs. Na Figura 31 observa-se a IDetec ao longo dos canais da drenagem com até 10 metros de largura durante os anos de 2001 e 2006.

Figura 31 - IDetec 2001-2011 para buffer de 50 metros.



Fonte: Próprio autor

Figura 32 - IDetec 2001-2006 para buffer de 30 metros.



Fonte: Próprio autor.

Entre os anos de 2001 e 2006 (Figura 32), a área degradada nas áreas de APP no entorno da drenagem é de 20,26%, correspondendo a 14,67 km², de áreas preservadas a área possui 41,49 km² (57,31%) e como áreas de regeneração tem-se 22,43% ou 16,24 km² (Tabela 13). Um total de 79,74% entre áreas de preservação e regeneração.

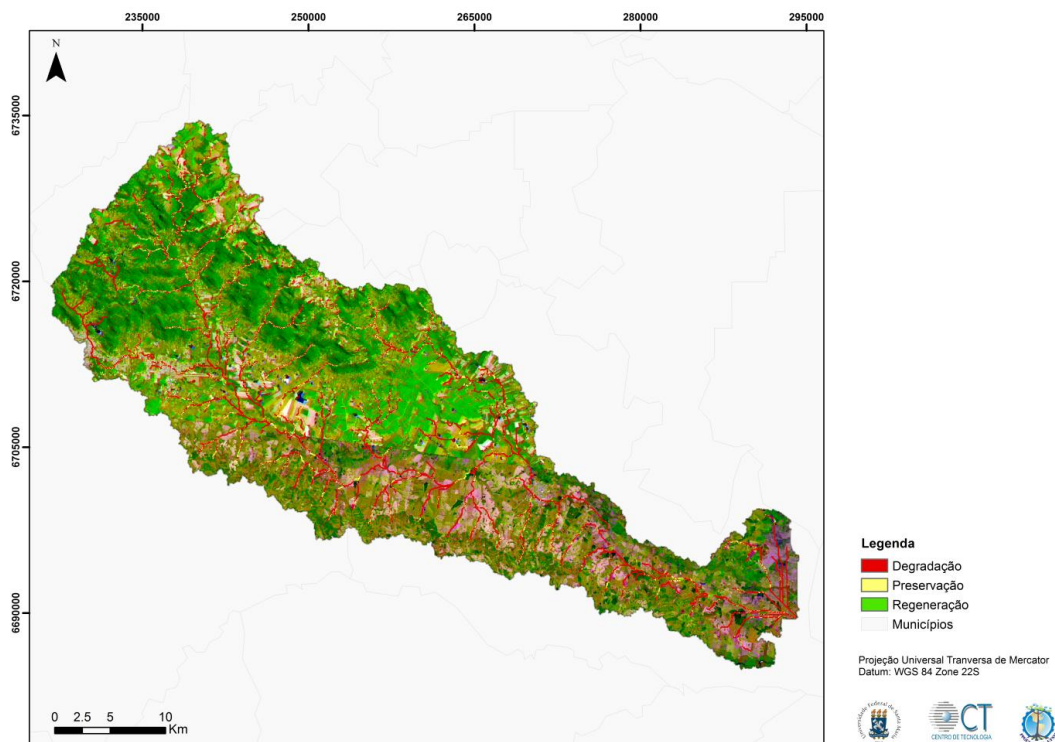
Tabela 13 - Índices ao longo da drenagem da Bacia - 2001/2006.

| 2001 - 2006 | |
|-------------|--------|
| Degradação | 20.26% |
| Preservação | 57.31% |
| Regeneração | 22.43% |

Fonte: Próprio autor.

Na IDetec do período entre 2006 e 2011, é igualmente possível notar a presença do estado de degradação na bacia (Figura 33).

Figura 33 - IDetec 2006-2011 para buffer de 30 metros.



Fonte: Próprio autor.

Entre os anos de 2006 e 2011 (Tabela 14) a área degradada predomina ao longo da bacia e representa 76,83% da área, correspondendo a 56,34 km². De áreas preservadas tem-se 13,29 km² (18,12%) e como áreas de regeneração 5,59% ou 3,7 km². Um total de apenas 23,71% entre áreas de preservação e regeneração, uma porcentagem ainda menor que em comparação ao rio Vacacaí Mirim, principal drenagem da bacia que é de 29,28%.

Tabela 14 - Índices ao longo da drenagem da bacia- 2006/2011.

| 2006 - 2011 | |
|-------------|--------|
| Degradação | 76.83% |
| Preservação | 18.12% |
| Regeneração | 5.65% |

Fonte: Próprio autor.

A análise da IDetec do buffer de 30 metros no período de 10 anos (Figura 34), entre 2001 e 2011, também apresenta uma melhora significativa quando comparada a IDetec da bacia como um todo, porém apresenta um decréscimo entre áreas preservadas e regeneradas em comparação à análise do rio Vacacaí Mirim.

Em relação Figura 34 a área regenerada teve um acréscimo de 1,75%, a área preservada um pequeno aumento de 3,73% e a área em degradação um decréscimo de 6,15%.

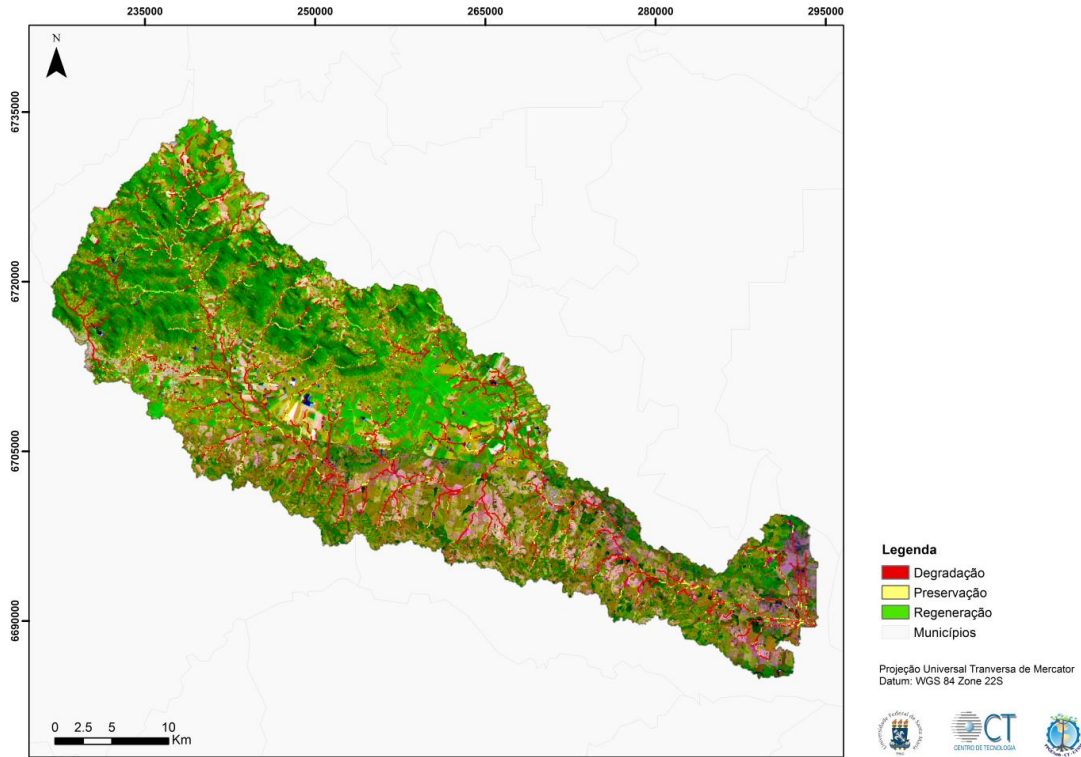
A maior parte da APP na IDetec de 2001 a 2011 analisada está em área de degradação, um trecho de 70,68%, o equivalente a 51,87 km². Quanto a área preservada 21,85% está classificada como preservação, um total de 16,03 km² e uma área de 7,49% em regeneração (5,49 km²), conforme Tabela 15.

Tabela 15 - Índices ao longo da drenagem da Bacia - 2001/2011.

| 2001 - 2011 | |
|-------------|--------|
| Degradação | 70.68% |
| Preservação | 21.85% |
| Regeneração | 7.4% |

Fonte: Próprio autor.

Figura 34 - IDetec 2001-2011 para buffer de 30 metros.



Fonte: Próprio autor

6 CONCLUSÕES

A aplicação da técnica RCEN na Bacia do rio Vacacaí Mirim se mostrou adequada para a análise, evidenciando mudanças ao longo da área da bacia, que resultaram em alterações significativas de uso e ocupação do solo na bacia do Vacacaí Mirim.

O estudo demonstra que entre 2001 e 2006 predominaram áreas de preservação, tanto na totalidade do local de estudo, no rio principal e na drenagem total da bacia. Entre os anos de 2006 e 2011 a classe predominante é de degradação em todos os aspectos analisados. Já entre o período total do estudo de 10 anos, entre os anos de 2001 e 2011, a classe predominante segue sendo a da degradação, porém verificou-se uma importante melhora na área preservada quando analisada a drenagem total da bacia e a drenagem principal.

A nova prorrogação para o Cadastro Ambiental Rural demonstra a dificuldade para a adequação às exigências da LPVN, tanto por parte do agricultor quanto por parte dos órgãos fiscalizadores. Devido as particularidades e dificuldades envolvidas na conservação dessas áreas e o fato da grande dimensão do território brasileiro, há uma dificuldade em determinar quem fará e como será feita a fiscalização para verificar o cumprimento ou não da legislação.

O processo de degradação na bacia do rio Vacacaí Mirim deve reforçar a importância de uma vegetação ciliar que é conservar os cursos d'água, prevenir a lixiviação e os processos erosivos. Apesar da degradação encontrada, vale destacar as áreas com trechos de regeneração e preservação que aumentaram na avaliação dos 10 anos analisados em comparação aos período de cinco anos estudados (2001-2006/2006-2011).

6.1 RECOMENDAÇÕES

Sugere-se a continuidade do estudo, viabilizando o aperfeiçoamento da pesquisa através de trabalho e aquisição de dados de campo. Recomenda-se também a expansão do trecho analisado para as demais bacias hidrográficas do estado do Rio Grande do Sul, trabalhando com uma maior variedade de imagens, dessa forma podendo aprofundar o conhecimento e estudos a respeito do acompanhamento dessas áreas tão importantes e tão vulneráveis à pressão antrópica.

Através da disponibilização dos novos dados do CAR, recomenda-se sua utilização para pesquisas futuras, possibilitando a divulgação de um panorama atualizado dessas áreas e relacionando-as com a vegetação, uso consolidado e culturas locais, como a soja que ao longo dos anos do estudo alterou toda uma paisagem em substituição às áreas de bovinocultura.

Reforça-se a importância de estudos e publicações que englobem a técnica RCEN e detecção de mudanças em vegetações ciliares, já que existem poucos trabalhos que exploram essas áreas tão essenciais. São necessárias também pesquisas que busquem alternativas de reparação aos prejuízos já causados nessas áreas, englobando alternativas viáveis dentro das regras exigidas na legislação ambiental brasileira.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, I. T.; RAMOS, R. I. **Código Florestal apreciação atualizada**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES-SP. São Paulo, p.41, agosto de 2012.
- ALVES, D. S. et al. **Análise comparativa de técnicas de classificação de imagens do sensor LANDSAT/TM para caracterização de áreas desflorestadas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, 1998, Santos. Anais. INPE, p. 1409 - 1419, 1998.
- ANGELO, N. P.; FERREIRA, R. H. da S. **Detecção de Mudanças em Imagens Multitemporais de Sensoriamento Remoto Empregando SVM com Kernel RBF e Nova Métrica de Pertinência**. Revista de Ciências Ambientais - RCA (ISSN 1981-8858). Canoas, vol. 9, n. 2, 2015.
- ARANTES, T. B. **Análise de séries temporais compostas por imagens sintetizadas a partir da fusão de dados MODIS-TM**. 2014. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.
- ARAÚJO, S. M. V. **As Áreas de Preservação Permanente e a Questão Urbana**. Brasília-DF, p. 03, 2002.
- ARAÚJO, de C. A. S. **Aplicações de Técnicas de Sensoriamento Remoto na análise multitemporal do ecossistema manguezal na Baixada Santista, SP**. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, 2010.
- ARAUJO, T. P.; MELLO, F. M. **Processamento de imagens digitais - Razão entre Bandas**. Revista Geociências. Rio Claro/SP: UNESP, 2010.
- ARAUJO, T. D. **Análise espaço-temporal dos lençóis maranhenses com o uso de imagens de satélite para o planejamento ambiental**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO RIO GRANDE DO SUL. **Cartilha Meio Ambiente e Sustentabilidade**. Comissão de Saúde e Meio Ambiente, 2012.
- BARBOSA, L. M. **Estudos interdisciplinares do Instituto de Botânica em Moji Guaçu, SP**. In: SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR. Anais. Campinas: Fundação Cargill, 1989.
- BARRETO, D. L.; NETO, J. L. S. **Proposta de Recuperação da Mata Ciliar do Córrego Brejo Comprido Palmas-TO**. Faculdade Católica do Tocantins (FACTO). Palmas, 2009.
- BITTENCOURT, H. R. **Detecção de Mudanças a partir de Imagens de Fração**. Tese (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- BITTENCOURT, C. D.; CARVALHO, L. S.; FERREIRA, N. M.; DIAS, R. L.; OLIVEIRA, V. T. **Geoprocessamento aplicado ao Cadastro Ambiental Rural: estudo de caso do**

Assentamento Serra Dourada, Goiás. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17º (SBSR). João Pessoa, 2015.

BOGGIONE, G. A. **Restauração de imagens do satélite LANDSAT-7.** São José dos Campos: INPE, 2003. 160p - (INPE-10462-TDI/929).

BRAGA, R. A. P. **Avaliação dos instrumentos de políticas públicas na conservação integrada de florestas e água, com estudo de caso na bacia do Corumbataí - SP.** Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-24102008-103711/>>. Acesso em: 19 set. 2015.

BRASIL. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Instrução Especial/Incrá/nº 03, de 11 de abril de 2005. Estabelece o Módulo Fiscal para os Municípios constantes da tabela anexa.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 12 abr. 2005. Seção 1. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/diarios/321585/dou-secao-3-12-04-2005-pg-110>. Acesso em: 13 abr. 2015.

BRASIL. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Instrução Especial/Incrá/nº 20, de 28 de maio de 1980. Estabelece o Módulo Fiscal de cada Município, previsto no Decreto nº 84.685 de 06 de maio de 1980.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 12 jun. 1980. Seção 1, p. 11606. Acesso em: 20 mai. 2015.

CECONI, D. E. **Diagnóstico e recuperação da mata ciliar da sanga lagoão do ouro na microbacia hidrográfica do Vacacaí Mirim, Santa Maria - RS.** 2010. 132 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2010.

CEPSRM. Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Curso de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/estrim.html>>. Acesso em 13 abr. 2016.

CHAVES, M. E. D. et al. **Análise comparativa do NDVI estimado a partir de valores de níveis digitais originais e de reflectâncias aparente e de superfície.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE, 2013.

COPPIN, P. et al (a). **Digital Change Detection Methods In Ecosystem Monitoring: a review.** *International Journal of Remote Sensing*. Taylor e Francis Ltd., n. 9, p. 1565-1596, 10 mai. 2004.

COPPIN, P. et al (b). **Review article digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review.** *International Journal of Remote Sensing*, Basingstoke, v. 25, n. 9, p. 1565-1596, May, 2004.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Ed. Rev. UNICAMP. Campinas-SP. 1992.

DOMINGUES, M. S; BERMANN, C. **O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja.** *Ambient. soc.*, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 1-22, Aug. 2012. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2012000200002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 10 fev. 2017.

ELLOVITCH, M. da F.; VALERA, C. A. **Manual novo Código Florestal. Revista Ministério Público do Estado de Minas Gerais.** Edição Manual Novo Código Florestal, 2013.

ELTZ, M. **Reforma do Código Florestal: um breve histórico de nossa legislação progressa.** Disponível em: <<http://direitoambiental.jimdo.com/app/download/5403716569/Reforma+do+Codigo+Florestal.pdf?t=1305644148>>. Acesso em: 16 set. 2015.

EMBRAPA. **Landsat.** Embrapa Monitoramento por satélites. Portal Embrapa. Disponível em: < <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/cdbrasil/txt/Landsat.htm>>. Acesso em 10 mai. 2016.

FEIX, R. D.; LEUSIN JÚNIOR, S. **Painel do agronegócio no Rio Grande do Sul — 2015.** Porto Alegre: FEE, 2015.

FERREIRA, R. H. da S.; HAERTEL, V. **Detecção de mudanças em imagens multitemporais de sensoriamento remoto empregando support vector machines.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE, 2013.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FLORESTAL BRASIL. **Mapa interativo com dados do CAR é disponibilizado pelo MMA.** Portal para estudantes e profissionais da Engenharia Ambiental. Disponível em: < <http://www.florestalbrasil.com/2016/12/mapa-interativo-com-informacoes-do-car.html>>. Acesso em: 29 nov. 2016.

FONSECA, B. da C. R. V. **As Principais Alterações Trazidas Pelo Novo Código Florestal Brasileiro.** Rio de Janeiro - RJ. 2012. 26 f. Artigo Científica (Pós-Graduação Lato Sensu) - Escola de Magistratura do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2012.

FONSECA, D. A. da. **Regeneração Natural em Áreas de Floresta Ciliar em Processo de Restauração Ecológica.** Trabalho de Conclusão do curso de Ciências biológicas. Instituto de Biociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/96692/000918424.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 17 mai. 2016.

FORMENTINI, T. A.; GASTALDINI, M. C. C. **Determinação do coeficiente de desoxigenação em trechos do rio Vacacaí Mirim.** In: 26 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011, Porto Alegre. Saneamento Ambiental: a excelência da gestão como caminho para a universalização. Rio de Janeiro: ABES. v. 1. p. 1-9, 2011.

FUJACO, M. A. G.; LEITE, M. G. P.; MESSIAS, M. C. T. B. **Análise multitemporal das mudanças no uso e ocupação do Parque Estadual do Itacolomi (MG) através de técnicas de geoprocessamento.** Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 63, p. 695-701, 2010.

GANDHI, M.G.; PARTHIBAN S.; THUMMALU, N.; CHRISTY, A. **Ndvi: Vegetation change detection using remote sensing and gis – A case study of Vellore District**. 3rd International Conference on Recent Trends in Computing 2015 (ICRTC-2015). Procedia Computer Science 57 (2015) 1199 – 1210. Disponível em: < <http://ac.els-cdn.com/S1877050915019444/1-s2.0-S1877050915019444-main.pdf>. Acesso em: 30 set. 2016.

GANEM, R. S.; ARAÚJO, S. M. V. G. de. **As Áreas de Preservação Permanente e a Constituição Federal, art. 225, § 4º**. Nota Técnica. Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados. Câmara dos Deputados, 2010.

GARCIA, Y. M. **O Código Florestal Brasileiro e Suas Alterações no Congresso Nacional**. Departamento de Geografia da FCT/UNESP, Presidente Prudente, n. 12, v.1, p.54-74, janeiro a junho, 2012.

GASTALDINI, M. C. C.; OPPA, L. F. **Análise de Alternativas de Enquadramento do Rio Vacacaí Mirim Utilizando Modelo Matemático de Qualidade da Água**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 17-27, 2011.

GONÇALVES, J. L. G.; FRANCISCO, P. R. M.; VIEIRA, E. N. de L. **Identificação de áreas degradadas através de técnicas de detecção de mudanças**. VIII CONEPI. Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. Salvador, 2013.

GUIMARÃES, L. T. **Utilização de sistema de informação geográfica (SIG) para identificação de áreas potenciais para disposição de resíduos na bacia do Paquequer, município de Teresópolis – RJ**. 2000. 163 p. Dissertação de (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: . Acesso em: 21 ago. 2015.

HAERTEL, V., SHIMABUKURO, Y. E.; ALMEIDAFILHO, R. **Fraction Images in Multitemporal Change Detection**, International Journal of Remote Sensing, v. 25, n. 23, pp. 5473-5489, 2004.

HAYES, J. D.; SADER, A. S. **Change detection techniques for monitoring forest clearing and regrowth in a tropical moist forest**. Washington, 1997.

HASENACK, H.; WEBER, E.(org.) **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. 1 DVD-ROM. (Série Geoprocessamento n.3). ISBN 978-85-63483-00-5 (livreto) e ISBN 978-85-63843-01-2 (DVD).

HEINSCH, F. A. et al. **Evaluation of remote sensing based terrestrial productivity from MODIS using regional tower eddy flux network observations**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 44, p. 1908-1925, 2006.

HOWARTH, J.P.; WICKWARE, G.M. **Procedures for change detection using Landsat digital data**. International Journal of Remote Sensing, v. 2, n. 3, p. 277-291, Set. 1981.

HULLER, A. et al. **Regeneração natural do componente arbóreo e arbustivo do parque natural municipal de Santo Ângelo-RS**. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, v. 6, n. 1, p. 25-35, 2011. Acesso em: 13 out. 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manuais técnicos em geociências. Divulga os procedimentos metodológicos utilizados nos estudos e pesquisas de geociências.** ISBN 978-85-240-3722-9. 2ª edição, 2007.

IBGE - EMBRAPA - **Mapa de Solos do Brasil, Escala 1:5.000.000.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: IBGE, 2001.
 INCRA. **Adesão ao CAR é estendida até maio de 2016.** Disponível em: <http://www.incra.gov.br/noticias/adesao-ao-car-e-estendida-ate-maio-de-2016>, 2015. Acesso em 10 ago. 2015.

JACKSON, R.D., SLATER, P.N.; PINTER, P. J. **Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres.** Remote Sensing of Environment, v.13, p.187-208, 1983.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução José Carlos Neves Epiphânio (coord.) [et al]. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.

JENSEN, J. **Principles of change detection using digital remote sensor data.** In: Star, Estes, McGwire (Eds), Integration of Geographics Information Systems and Remote sensing. Cambridge Univ. Press, 1997.

KAUTH, R. J.; THOMAS, G. S. **The tasseled cap--a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat.** In: LARS Symposia. 1976.

KEMERICH, P. D. da C. **Análise Ambiental em Áreas de Infiltração Máxima de Água na Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim-RS.** Tese - (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

KIEL, R. **Detecção de mudanças no uso e na cobertura do solo em uma série temporal de imagens da região da campanha do Rio Grande do Sul.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

KLEMP, S. M. **Dinâmica Espaço Temporal da Temperatura Superficial da Bacia Hidrográfica do rio Tenente Amaral - MT por Sensoriamento Remoto.** Tese (Doutorado em Física Ambiental). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2015.

LANDIM, F. E. de S. **O Procedimento Reparatório dos Crimes Ambientais no âmbito dos Juizados Especiais Criminais.** Monografia - Especialização em Direito Ambiental, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2003.

LANDAU, E. C. et al. **Variação geográfica do tamanho dos módulos fiscais no Brasil -- Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 199 p. : il. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518- 4277; 146).**

LANUCI, L; BORGES, T. **A aplicabilidade do Código Florestal na preservação da mata ciliar.** Revista Jus Navigandi, Teresina, ano 19, n. 4175, 6 dez. 2014. Disponível em: <<http://jus.com.br/artigos/31044>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

LOCH, C. **Monitoramento Global e Integrado de Propriedades Rurais, a Nível Municipal, utilizando-se Técnicas de Sensoriamento Remoto**. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

LORENA, R.B. et al. **A change vector analysis technique to monitor of landuse/land cover in SW Brazilian Amazon, Acre State**. In: PECORA 15 - Integrating Remote Sensing at the Global, Regional and Local Scale. Denver, Colorado/USA, Nov., 8-15. Proceedings. [CDROM], 2002.

LUÍS, A. dos A. **Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica e Detecção Remota no Monitoramento do Mangal. Estudo de Caso: Cidade da Beira**. Dissertação (Mestrado em Sistema de Informação Geográfica). Universidade Católica de Moçambique, 2011.

LUNETTA, R. L.; KNIGHT, F. K; EDIRIWICKREMA, J.; LYON, J. G.; WORTHY, L. D. **Landcover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data**. Remote Sensing of Environment, v. 105, n. 2, p. 142-154, 2006.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução da 2a. edição. J. C. N. Epiphany (org.). São José dos Campos: Parêntese Editora. 672 p, 2009.

MALDONADO, F. D. **Análise por Componentes Principais (ACP) na caracterização da dinâmica do uso da terra em área do semi-árido brasileiro: Quixaba - PE**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) INPE, São José dos Campos, 1999.

MALDONADO, F. D.; SANTOS, J. R.; CARVALHO, V.C. **Land use dynamics in the semi-arid region of Brazil (Quixabá-PE): characterization by principal components analysis**. International Journal of Remote Sensing, v. 23, n. 23, p. 5005-5013, 2002.

MALDONADO, F. D.; CARVALHO, V. C. **Indicador de degradação a escala sub-regional para detecção de mudanças na cobertura das terras com sensoriamento remoto**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (SBSR)., 2003, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1353-1356. CD-ROM, Online. ISBN 85-17-00017-X. (INPE-16139-PRE/10742). Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.16.14.27>>. Acesso em: 19 set. 2015.

MALDONADO, F. D. **Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do Semi-Arido**. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos, Brasil, 2004.

MALDONADO, F. D.; SANTOS, J. R. **Metodología de detección de cambios utilizando técnicas de rotación radiométrica**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 601-608. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8.

MALDONADO, F. D.; et al. **Change detection technique based on the radiometric rotation controlled by no-change axis, applied on a semi-arid landscape**. Int. J. Remote Sens., Taylor & Francis, Inc., Bristol, PA, USA, v. 28, n. 8, p. 1789-1804, 2007. ISSN 0143-1161, 2007.

MALDONADO, F. D., et al. **Detecção de mudanças na cobertura vegetal da floresta amazônica utilizando a técnica RCEN multiespectral com imagens CBERS-2, região de Apuí – AM.** pp. 6819-6826 In: J.C.N. Epiphanyo, L.S. Galvão & L.M.G. Fonseca (eds.) Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil 21-26 abril. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-São Paulo, Brasil, 2007.

MALDONADO, F. D.; et al. **Detecção de mudanças com técnica de Rotação Radiométrica - RCEN, inovações para uma abordagem prática usando SPRING.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 1433-1440. DVD, On-line. ISBN 978- 85-17-00044-7. (INPE-15927-PRE/10537), 2009.

MARQUES, A. C. **Implementação De Dados Obtidos Com Imagens Do Sensor Tm Do Landsat 5 E Da Missão Srtm No Modelo Atmosférico Brams,** 2009.

MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares.** Viçosa: Aprenda Fácil/Centro de Produções Técnicas, 146 p; 2001.

MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares.** 2ª Ed. Revista e ampliada. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 255p; 2007.

MÁS, J.F. **Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques.** *International Journal of Remote Sensing.* v. 20, n. 1, p. 139 - 152, 1998.

MCFEETERS, S. K. **The use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features.** *International Journal of Remote Sensing,* 17(7):1425–1432, 1996.

MIURA, A. K. et. al., **Detecção de mudanças no uso das terras no município de Pelotas (RS, Brasil), no período de 1985 a 2007, por meio de processamento digital de imagens.** In: Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril, INPE, p. 5997-6004, 2009.

MMA. **Cartilha Novo Código Florestal.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MMA). Lei nº 12651 de 25 de maio de 2012.

MORAES, E. C. de. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto.** In: MORAES, E.C. de; ÁVILA, J. (Org.). Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente. São José dos Campos: INPE, 2002.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** Viçosa: Ed. UFV, 320p; 2005.

NAIMAN, R. J. et al. **Riparia: ecology, conservation, and management of streamside communities.** Elsevier Academic Press, New York, 2005.

NASCIMENTO, C. E. de S. **A importância das matas ciliares: rio São Francisco.** Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 2001.

NEIVA, S. de A. **As áreas de preservação permanente no Brasil: a percepção de especialistas.** 2009, 137f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

NOVO, E. M. L. **Sensoriamento remoto.: Princípios e aplicações. 2. ed.** São Paulo: Edgard Blücher, 308 p; 1992.

OLIVEIRA, M. S. **Deteção de mudanças de uso e cobertura da terra no Sinclinal Moeda (MG) no período de 1991 a 2011 e previsões de mudanças futuras através de modelo espacial de simulação.** Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica.** In: RUDORFF, B. F. T; MORAES, E. C.; PONZONI, F. J.; CAMARGO JÚNIOR, H.; CONFORTE, J. C.; MOREIRA, J. C.; EPIPHANIO, J. C. N; MOREIRA, M. A.; KAMPEL, M.; ALBUQUERQUE, de; MARTINI, P. R.; FERREIRA, S. H.; TAVARES JÚNIOR, S. S.; SANTOS, V. M. N. dos (Ed.). Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente. São José dos Campos: INPE, p. 27. Capítulo 8. (INPE-8984-PUD/62), 2002.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.** São José dos Campos: Parêntese, 127 p; 2010.

PORTAL BRASIL (a). **Entenda as principais regras do Código Florestal.** Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2012/11/entenda-as-principais-regras-do-codigo-florestal>> . Acesso em 09 jun. 2015. Acesso em 15 set. 2015.

PORTAL BRASIL (b). **Cadastro Ambiental Rural é prorrogado até maio de 2016.** Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2015/05/cadastro-ambiental-rural-e-prorrogado-ate-maio-de-2016>>. Acesso em 09 jun. 2015.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei Estadual n.º 10.350, de 30 de dezembro de 1994. Capítulo IV, Artigo 38.** Sistema Estadual de Recursos Hídricos, artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar.** Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2000.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto.** Uberlândia: Editora Edufu, 2003.

ROSENDO, J. dos S; ROSA, R. **Análise da detecção de mudanças no uso da terra e cobertura vegetal utilizando a diferença de índices de vegetação.** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais. Florianópolis, INPE, 2007.

SANTOS, J. R.; KRUG, T.; ARAUJO, L. S.; MEIRA FILHO, L. G.; Almeida, C. A. **Dados multitemporais TM/Landsat aplicados ao estudo da dinâmica de exploração madeireira na Amazônia** In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu, PR, 21-26 abr, 2001. Anais... São José dos Campos: INPE, p.1751-1755, 2001.

SANTOS, H. G. dos; ZARONI, M. J.; ALMEIDA, E. de P. C. **Árvore do conhecimentos: Argissolos Vermelho. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. EMBRAPA, 2016.** Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore.html> 2016. Acesso em 19 set. 2016.

SCHAFFER, W. B. et al. **Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação & Áreas de Risco. O que uma coisa tem a ver com a outra? Relatório de Inspeção da área atingida pela tragédia das chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro.** Brasília: MMA, 96 p. : il. color. ; 29 cm. + mapas. (Série Biodiversidade, 41), 2011.

SCHARLAU, L. A. T. **Análise temporal do uso da terra no município de Balsa Nova, PR.** 2011. 140p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). UNICENTRO, Irati. 2011.

SCHOLZ, I. **O Desenvolvimento de Instituições de Política Ambiental na Amazônia a partir de 1992: a contribuição do PPG7,** 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/sca/ppg7/capa/>>. Acesso em 16 de ago. 2015.

SEMA. **Recuperação de mata ciliar.** Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul. 2010. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br>>. Acesso em: 14 dez. 2015.
SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – SEMA. (2008) - **Relatório Anual Sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande Do Sul,** Rio Grande do Sul. Edição 2007/2008.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Números do Cadastro Ambiental Rural.** Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/numeros-do-car>>. Acesso em 13 out. 2016.

SILVA, E. T. J. B. **Utilização dos índices de Vegetação do Sensor MODIS para Detecção de Desmatamentos no Cerrado: Investigação de Parâmetros e Estratégias.** 2004, 146 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

SILVA, P.G.; et al. **Change vector analysis technique to monitor selective logging activities in Amazon tropical rainforest.** In: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium: Learning from Earth's Shapes & Colors - IGARSS. 2003. Toulouse, France, Jul., 21-25, 2003.

SOARES FILHO, B. S. et al. **Cracking Brazil's forest Code.** Science, v. 344, p. 363-364, 2014.

SOS FLORESTAS. **CÓDIGO FLORESTAL: Entenda o que está em jogo com a reforma da nossa legislação ambiental.** Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Hortalicas/26RO/cartilhaCF.pdf>. Acesso em 17 de set. 2015.

SOUZA, S. F. de et al. **Mudanças do Uso da Terra no Município de Serra Talhada-PE utilizando Análise por Componentes Principais (ACP).** Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 24, no 3, set/dez. 2007.

SPAROVEK, G.; BARRETTO, A.; KLUG, I.; BERNDES, G. **Considerações sobre o Código Florestal Brasileiro.** Junho, 2010.

SPEROTTO, C.R. **Relatório Econômico 2013: perspectivas 2014**. Sistema Farsul, 2013.

TEIXEIRA, F. R. **Deteção de mudanças na paisagem em área de Floresta Tropical utilizando técnicas de sensoriamento remoto e imagens LANDSAT TM 2008**. Dissertação de mestrado em Ciências. Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ, 2008. Disponível em: <<http://www.if.ufrj.br/pgcaf/pdfdt/Dissertacao%20Fabricio%20Teixeira.pdf>> Acesso em 27 ago 2015.

TERRES, C. A.; MÜLLER, M. M. L. **Proposta de recuperação de área degradada às margens do Arroio do Engenho na Vila Concórdia, Guarapuava – PR**. UNICENTRO - Revista Eletrônica Lato Sensus, n. 5, 2008.

TONIOLO, G. R.; LACRUZ, M. S. P.; SAUSEN, T. M. **Análise do Escoamento Superficial na Bacia Hidrográfica do Vacacaí - Vacacaí Mirim**. Revista Brasileira de Cartografia N°. 65/3: 605-615. Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2013.

VOGEL, H. F.; ZAWADZKI, C. H.; METRI, R. **Florestas ripárias: importância e principais ameaças**. Sabios: Revista Saúde e Biologia. 4(1): 24-30, 2009.

ZANOTTA, D. HAERTEL, V. **Gradual Land Cover Change Detection based on Multitemporal Fraction Images**. Pattern Recognition, v. 45, p. 2927-2937, 2012.