

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

DIEGO LANZA LIMA

IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO SEMIAUTOMÁTICA DE
DESMATAMENTO POR SENSORIAMENTO REMOTO

CAMPO GRANDE
2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

DIEGO LANZA LIMA

**IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO SEMIAUTOMÁTICA
DE DESMATAMENTO POR SENSORIAMENTO REMOTO**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, na área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Teodorico Alves Sobrinho

Aprovada em:

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Teodorico Alves Sobrinho
Orientador – UFMS

Prof. Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho
UFMS

Prof^a. Dr^a. Synara Aparecida Olendzki Broch
UFMS

CAMPO GRANDE
2013

DEDICATÓRIA

*A Naira Rosana, minha esposa
amada, aos meus pais Geraldo e
Cleide (in memorian) e minhas irmãs
Daniele e Deborah*

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo direcionamento e cuidado.

À minha esposa Naira Rosana pela compreensão e apoio.

Aos meus pais e minhas irmãs pelo amor, pelas oportunidades e por todo o suporte oferecido.

Ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Teodorico Alves Sobrinho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro concedido em forma de bolsa de estudos.

Ao Núcleo de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto do Ministério Público do Estado de Mato Grosso do Sul e Laboratório de Geoprocessamento para Aplicações Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, especialmente à Me. Thais Gisele Torres e ao Prof. Dr. Antonio C. Paranhos Filho pelo período de convivência e aprendizado que deu início a este projeto.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo geral	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1. Cobertura vegetal do Mato Grosso do Sul.....	15
3.2. Desmatamento	17
3.3. Monitoramento da vegetação.....	19
3.4. Sensoriamento remoto	21
3.4.1. LANDSAT 5	22
3.4.2. Interpretação de imagens de satélite.....	24
3.4.3. Mapeamento temático.....	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1. Área de estudo	27
4.2. Obtenção de informações digitais.....	28
4.3. Pré-processamento das imagens	28
4.3.1. Correção geométrica.....	28
4.3.2. Correção atmosférica.....	32
4.4. Amostragem de áreas de controle.....	32
4.5. Carta de vegetação remanescente de 1999	33
4.6. Carta vegetação remanescente de 2009	36
4.7. Determinação automática do desmatamento ocorrido entre 1999 e 2009.....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1. Pré-processamento.....	38
5.2. Amostragem de áreas de controle.....	38
5.3. Carta de vegetação remanescente de 1999	40
5.4. Carta de vegetação remanescente de 2009	42
5.5. Determinação do desmatamento por comparação entre cartas de vegetação remanescente.....	43
6. CONCLUSÕES.....	47
7. RECOMENDAÇÕES	48
8. REFERÊNCIAS	49

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Biomas presentes no território de Mato Grosso do Sul (IMASUL, 2009).	15
FIGURA 2: Representação dos biomas no território nacional (Fonte: MMA, 2010).	16
FIGURA 3: Crescimento populacional e desmatamento cumulativo entre 1800 e 2010 (Fonte: WILLIAMS, citado por FAO, 2012).....	18
FIGURA 4: Dados sobre desmatamento da Amazônia entre 2002 e 2012 (elaborado com informações de INPE, 2012)	19
FIGURA 5: Diagrama representando a criação de mapas temáticos por meio de classificação supervisionada e não supervisionada (Fonte: Zhou, 1999).	26
FIGURA 6: Localização geográfica da área de estudo.	27
FIGURA 7: Representação de orientação de imagens não processadas, à esquerda, e após o processamento, à direita (Fonte: Zhou, 1999)	29
FIGURA 8: Coleta de CGP's da imagem corrigida (2) para correção da imagem bruta (1) (Fonte: Zhou, 1999).....	30
FIGURA 9: O exemplo acima representa correção com algoritmo linear e mostra a) imagem original, b) mudança de escala em x, c) mudança na escala y, d) inclinação que varia de acordo com y, e) inclinação que varia de acordo com x, e f) rotação (Fonte: Zhou, 1999).	31
FIGURA 10: A imagem original (a) pode ser deformada usando equação polinomial não linear (b) (Fonte: Zhou, 1999).....	31
FIGURA 11: A superfície tridimensional que é produzida por equação linear (a), a equação de segunda ordem (b), e equação de ordem mais elevada (c) (Fonte: Zhou, 1999).....	31
FIGURA 12: Exemplos de desmatamentos identificados por fotointerpretação.	33
FIGURA 13: Exemplo da aplicação do filtro SIEVE (PCI, 2003).....	34
FIGURA 14: <i>Aggregation</i> (PCI, 2003) utilizada para manipular os resultados das classificações automáticas e criar as cartas de vegetação remanescente.....	35
FIGURA 15: Exemplo da aplicação da ferramenta <i>Aggregation</i> (PCI, 2003). A imagem original (a) é classificada automaticamente seus pixels agrupados em 16 classes (b), que posteriormente são comparados com a imagem e divididas em apenas 2 classes de cobertura: “Vegetação” e “Outros” (c).	35
FIGURA 16: Ilustração exemplificativa da aplicação da ferramenta <i>Raster Calculator</i> (PCI, 2003). 36	

FIGURA 17: Desmatamentos identificados por fotointerpretação para composição das áreas de controle.	39
FIGURA 18: Carta de vegetação remanescente de 1999.	41
FIGURA 19: Classificação de cultura agrícola como vegetação, onde (a) a imagem original, (b) o resultado da classificação não supervisionada e (c) a cultura agrícola inserida na carta de vegetação remanescente.	42
FIGURA 20: Cartas de vegetação remanescente de 1999 (a) e 2009 (b).	43
FIGURA 21: Desmatamentos detectados pela comparação entre as cartas.	45
FIGURA 22: Diferenças entre os vetores obtidos automaticamente e manualmente.	45
FIGURA 23: Localização dos polígonos identificados pela metodologia testada (esquerda) e das áreas de controle (direita).	46

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Região espectral obtida por cada banda do sensor TM/LANDSAT 5.....	23
TABELA 2: Informações digitais utilizadas na pesquisa.....	28
TABELA 3: Resultados possíveis para a diferença entre os mapas temáticos.	37
TABELA 4: Características dos polígonos identificados no levantamento das áreas de controle.	40
TABELA 5: Características dos polígonos identificados pela comparação entre as cartas.	44
TABELA 6: Avaliação da acurácia dos resultados.	46

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

APP	Área de Preservação Permanente
ERTS	<i>Earth Resources Technology Satellites</i>
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
GCP	<i>Ground Control Points</i>
GLCF	<i>Global Land Cover Facility</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMASUL	Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPMS	Ministério Público do Estado de Mato Grosso do Sul
MS	Mato Grosso do Sul
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NUGEO	Núcleo de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto
PNF	Programa Nacional de Florestas
PROBIO	Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira
PRODES	Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia
RGB	<i>Red Green Blue</i>
RL	Reserva Legal
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
TM	<i>Thematic Mapper</i>

RESUMO

As florestas desempenham importante papel na história da humanidade e o desmatamento acompanha o crescimento da população e seu desenvolvimento há milhares de anos. Clima, cultura, tecnologia e comércio têm influência sobre a aceleração ou desaceleração do ritmo de desmatamento. Estima-se que aproximadamente 50% da área do bioma Cerrado já tenha sido desmatada para dar lugar a áreas agrícolas, pastos e áreas urbanas. Visando otimizar os procedimentos atuais de detecção de desmatamentos, geralmente realizados manualmente por fotointerpretação de imagens de satélite, este estudo apresenta, testa e valida a hipótese de que é possível realizar tal monitoramento por operações matemáticas entre mapas temáticos de vegetação remanescente. Estudo de caso realizado no Município São Gabriel do Oeste, no Estado do Mato Grosso do Sul, onde a variação da cobertura vegetal foi estudada utilizando imagens do satélite TM/ LANDSAT 5 e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), mostrou que é possível realizar o monitoramento proposto com resultados precisos e em tempo inferior ao necessário para a técnica de fotointerpretação.

Palavras-Chave: Supressão vegetal, monitoramento ambiental, Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

ABSTRACT

Forests play an important role in human history and deforestation accompanies population growth and development for thousands of years. Climate, culture, technology and trade have influence on the acceleration or deceleration of deforestation. It is estimated that approximately 50% of the area of the Cerrado has already been cleared to make way for farmland, pastures and urban areas. In order to optimize the current procedures for detecting deforestation, usually performed manually by photo interpretation of satellite imagery, this study presents, tests and validates the hypothesis that it is possible to perform such monitoring by mathematical operations between thematic maps of remnant vegetation. Case study conducted in the city São Gabriel do Oeste, in the state of Mato Grosso do Sul, where the variation of the vegetation was studied using TM/LANDSAT 5 satellite imagery and Geographic Information Systems (GIS), showed that it is possible to carry out the proposed monitoring with accurate results and in less than time required for image interpretation technique.

Keywords: Suppression plant, environmental monitoring, Geographic Information Systems (GIS).

1. INTRODUÇÃO

O papel da vegetação nativa remanescente no ambiente em que está inserida varia desde a manutenção do equilíbrio ecológico e preservação da fauna e flora da região, até o favorecimento da retenção de umidade no solo. Usos inadequados dos recursos florestais e desmatamentos não controlados resultam na aceleração da desertificação e em mudanças do microclima. As modificações da paisagem ainda têm implicações sobre o regime de queimadas, hidrologia, ciclagem e os estoques de carbono e, possivelmente, sobre todo o clima (VILELA *et al.*, 2009; KLINK & MACHADO, 2005).

Apesar de sua importância para manutenção do equilíbrio ecológico e ambiental das regiões em que estão inseridas, a remoção de florestas é tão antiga quanto a expansão da ocupação humana nas diversas regiões do planeta, onde vegetações nativas foram e continuam sendo substituídas gradativamente por pastagens para criação de gado, áreas agrícolas e cidades.

As florestas têm desempenhado importante papel na história da humanidade, e o desmatamento tem acompanhado o crescimento da população e seu desenvolvimento há milhares de anos. Clima, cultura, tecnologia e comércio tiveram influência sobre a aceleração ou desaceleração – em alguns casos até mesmo reversão – do ritmo de desmatamento. Ao longo do tempo, a interação entre humanos e florestas mudou em resposta às mudanças sociais e econômicas. O que se pode constatar analisando o histórico dessa interação é que existem fortes ligações entre o uso da floresta, incluindo o desmatamento, e o desenvolvimento econômico e social, da mesma forma que ocorre entre a destruição de florestas e o declínio econômico. Os representantes sociais devem enfrentar o paradoxo de que, como as florestas, os produtos florestais e serviços de base florestal são essenciais à sociedade. Perspectivas históricas revelam a importância e o desafio de sustentar as florestas e manter o equilíbrio entre sua conservação e uso – praticando o manejo florestal sustentável – para garantir sua ampla gama de contribuições econômicas, sociais e ambientais (*Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO, 2012).

Em relatório apresentado em 2012, sob o título *State of the world's forests*, a FAO destaca que nos últimos dez anos a importância das florestas na mitigação das mudanças climáticas, através do sequestro de carbono, tornou-se amplamente compreendida e aceita, e que a partir de meados de 2000 ficou cada vez mais claro que o desmatamento e a degradação florestal foram os principais contribuintes para a mudança climática global.

Ainda de acordo com a FAO (2012), em meados do século XX, muitos países reconheceram que as florestas precisam ser gerenciadas por motivos que vão além do uso da madeira. Leis foram promulgadas implantando a obrigatoriedade de usos múltiplos da floresta para a vida selvagem, recreação e conservação de recursos como a água. Práticas de manejo florestal, incluindo produção sustentada de madeira, foram formatadas em implantadas como política pública em diversos países.

Neste sentido, no Brasil a Secretaria de Biodiversidade e Florestas do Ministério do Meio Ambiente (MMA), por meio do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO, apoiou entre 1996 e 2001 cinco subprojetos para avaliar as áreas e ações prioritárias para conservação da biodiversidade dos seguintes biomas e regiões: Cerrado e Pantanal; Mata Atlântica e Campos Sulinos; Zona Costeira e Zona Marinha; Caatinga; e Floresta Amazônica. Cada um deles foi estruturado ao redor de uma oficina de trabalho (*workshop*), que teve como objetivo avaliar a riqueza biológica do bioma e os condicionantes socioeconômicos da região para, em seguida, apresentar uma estratégia global de conservação da sua biodiversidade, indicando áreas prioritárias para conservação e recomendações. Passo fundamental nesse processo foi a identificação de prioridades regionais. Dois critérios amplos foram utilizados para orientar o estabelecimento dessas prioridades: a importância biológica da área e a urgência das ações para sua conservação (MMA, 2007a).

Da mesma forma, em julho de 2000 foi sancionada a Lei Federal Nº 9.985, regulamentando o Art. 255 da Constituição da República Federativa do Brasil (BRASIL, 1988) que institui a todos o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, criando o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), com os seguintes objetivos, definidos em seu Art. 4º:

- I. Contribuir para a manutenção da diversidade biológica e dos recursos genéticos no território nacional e nas águas jurisdicionais;
- II. Proteger as espécies ameaçadas de extinção no âmbito regional e nacional;
- III. Contribuir para a preservação e a restauração da diversidade de ecossistemas naturais;
- IV. Promover o desenvolvimento sustentável a partir dos recursos naturais;
- V. Promover a utilização dos princípios e práticas de conservação da natureza no processo de desenvolvimento;
- VI. Proteger paisagens naturais e pouco alteradas de notável beleza cênica;

- VII. Proteger as características relevantes de natureza geológica, geomorfológica, espeleológica, arqueológica, paleontológica e cultural;
- VIII. Proteger e recuperar recursos hídricos e edáficos;
- IX. Recuperar ou restaurar ecossistemas degradados;
- X. Proporcionar meios e incentivos para atividades de pesquisa científica, estudos e monitoramento ambiental;
- XI. Valorizar econômica e socialmente a diversidade biológica;
- XII. Favorecer condições e promover a educação e interpretação ambiental, a recreação em contato com a natureza e o turismo ecológico;
- XIII. Proteger os recursos naturais necessários à subsistência de populações tradicionais, respeitando e valorizando seu conhecimento e sua cultura e promovendo-as social e economicamente.

Contudo as florestas brasileiras vêm sendo desmatadas de forma acelerada. Estima-se que aproximadamente 50% da área do bioma Cerrado já tenha sido ocupada por agricultura, pastos e áreas urbanas, e os órgãos de controle e fiscalização ambiental utilizam atualmente técnicas de lentas e trabalhosas de identificação de desmatamentos, sendo a principal delas a comparação visual entre imagens de satélite de datas diferentes.

Visando simplificar e otimizar os procedimentos atuais de detecção e quantificação de desmatamentos, este estudo testa a hipótese de que é possível monitorar a cobertura vegetal de determinada área utilizando operações matemáticas entre mapas temáticos de cobertura do solo, propondo ainda uma técnica para ser utilizada pelos agentes fiscalizadores.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Propor técnica para monitoramento da cobertura vegetal, simplificando o processo convencional de fotointerpretação e a obtenção dos resultados na identificação e quantificação de áreas de desmatamento.

2.2. Objetivos específicos

- i. Mapear a vegetação remanescente e o desmatamento ocorrido na área de estudo;
- ii. Definir ferramentas de sensoriamento remoto e algoritmos de classificação de imagens para serem utilizados no processo;
- iii. Aplicar e validar a metodologia proposta.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Cobertura vegetal do Mato Grosso do Sul

O território do Estado do Mato Grosso do Sul (MS) está dividido em três biomas, sendo eles o Cerrado, a Mata Atlântica e o Pantanal, conforme apresentado na FIGURA 1, elaborada com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012a).

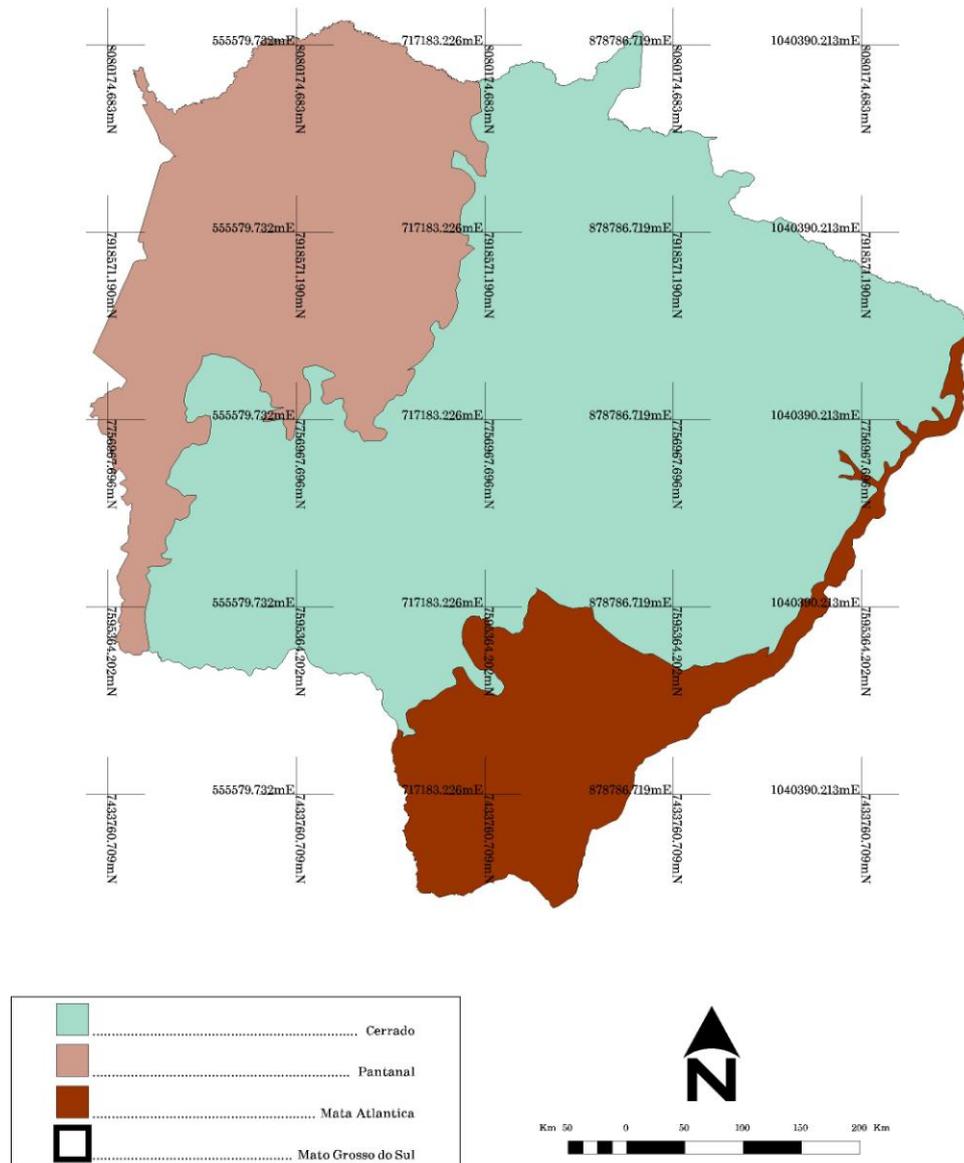


FIGURA 1: Biomas presentes no território de Mato Grosso do Sul (IMASUL, 2009).

Entre os biomas presentes no Estado do Mato Grosso do Sul destaca-se o Cerrado que ocupa aproximadamente 61% da área total do Estado.

O Cerrado, segundo maior bioma do Brasil, ocupa área correspondente a 22% de todo o território nacional, menor apenas que a Amazônia, que ocupa quase 50% do território brasileiro, e possui extensão total de 2.036.448 quilômetros quadrados, ocorrendo em parte do Mato Grosso do Sul, todo o Distrito Federal e boa parte de Goiás, Tocantins, Maranhão e Minas Gerais, além de ocorrer em pequenas áreas de outros seis estados (MMA, 2010), conforme FIGURA 2.

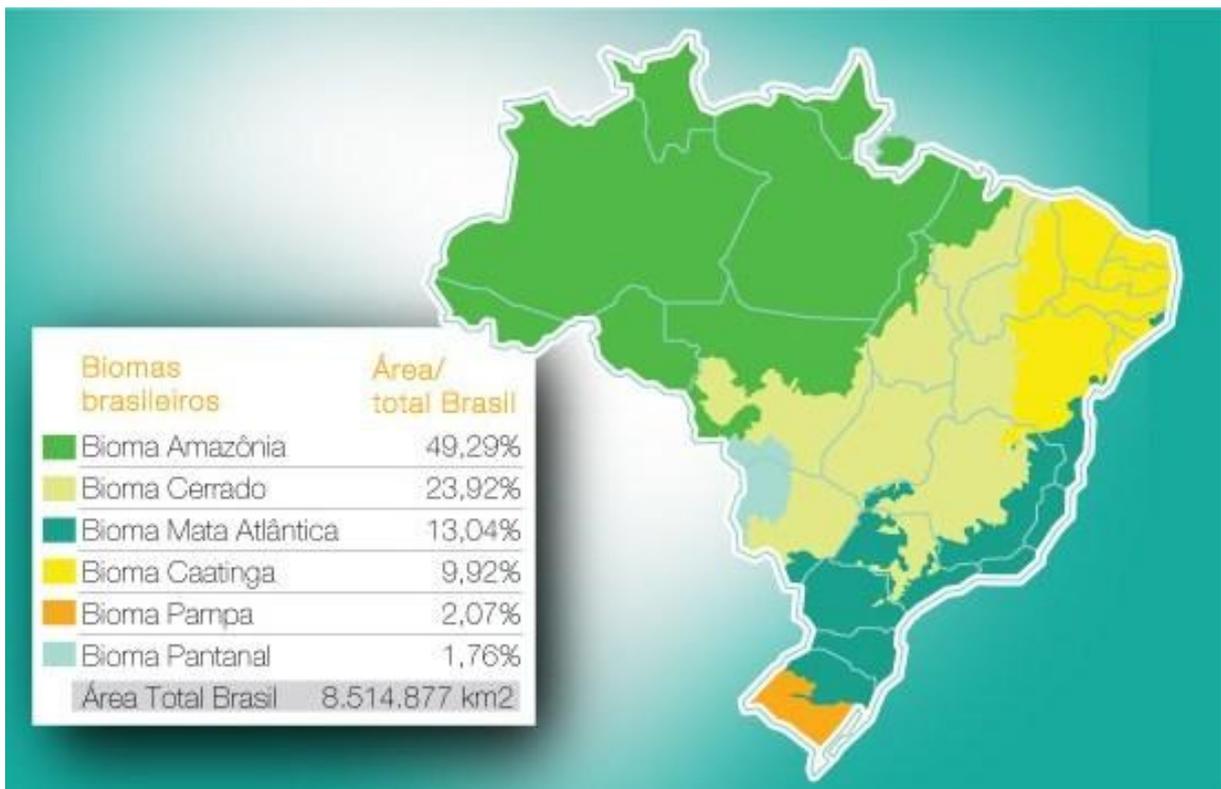


FIGURA 2: Representação dos biomas no território nacional (Fonte: MMA, 2010).

No Cerrado estão as nascentes das três maiores bacias hidrográficas da América do Sul (Amazônica/Tocantins, São Francisco e Prata), o que resulta em elevado potencial aquífero e grande biodiversidade. Esse bioma abriga ainda mais de 6,5 mil espécies de plantas já catalogadas (MMA, 2010).

Sua vegetação é conceituada como xeromorfa, que ocorre sob distintos tipos de clima. Reveste solos lixiviados aluminizados, apresentando sinúsias de hemicriptófitos, geófitos, caméfitos e fanerófitos oligotróficos de pequeno porte, com ocorrência em toda a Zona Neotropical e, prioritariamente, no Brasil Central. Em outras partes do País, recebe nomes locais, como: “Tabuleiro”, “Agreste” e “Chapada”, na Região Nordeste; “Campina” ou “Gerais” no norte dos Estados de Minas Gerais, Tocantins e Bahia; e “Lavrado” no Estado de Roraima, entre outras denominações (IBGE, 2012b).

Na década de 90 a questão da conservação do Cerrado foi discutida a partir de argumentos conflitantes, com posições de pessoas que defendiam o preservacionismo (meio ambiente intocável), chegando a extremos, com acusações de iniciativas antidesenvolvimentistas. Hoje, a diversidade de visões sobre a conservação da natureza reflete a diversidade de inspirações e convicções em defesa do Cerrado: para uso sustentável de recursos, inclusive, genético e de biotecnologia; para recreação e turismo; para manter os elos culturais e espirituais de sociedades tradicionais; pelos serviços ecossistêmicos de água limpa, ar puro e controle de epidemias; pelo valor intrínseco e estético da natureza e suas espécies; por questões morais e éticas, e por várias outras razões (MMA, 2006).

3.2. Desmatamento

Segundo Williams, citado por FAO (2012), o desmatamento é uma das mudanças mais generalizadas e importantes feitas pelo homem na superfície da Terra. Durante 5.000 anos, a perda acumulada de floresta em todo o mundo é estimada em 1,8 bilhões de hectares. O crescimento populacional e a crescente demanda por alimentos, fibras e combustível aceleram o ritmo de desmatamento, a perda média anual líquida de floresta atingiu cerca de 5,2 milhões de hectares nos últimos 10 anos. FAO (2012) afirma que a trajetória do desmatamento global segue a mesma tendência da taxa de crescimento da população humana (FIGURA 3), embora o tenha sido mais intenso do que o crescimento populacional antes de 1950, e mais lento desde então.

O relatório *Global forest products facts and figures*, publicado pela FAO (2011), apresenta estatísticas sobre a produção e comércio de diversos produtos florestais, sendo este resultado de estudos envolvendo 52 categorias de produtos em 245 países e territórios. Em geral o relatório identifica o Brasil entre os maiores produtores e consumidores de produtos de origem florestal, juntamente com países como Estados Unidos da América, Rússia e China, o que gera, obviamente, pressão sobre os sistemas de florestas naturais e a tendência de cultivo de florestas plantadas de crescimento rápido, como é o caso da cultura do eucalipto, que vem crescendo no Brasil.

Tanto para obtenção de produtos florestais quanto para proporcionar outra utilização às áreas originalmente ocupadas por florestas, a supressão vegetal no Brasil vem ocorrendo desde sua colonização e tem como resultado a redução das áreas ocupadas pela vegetação nativa.

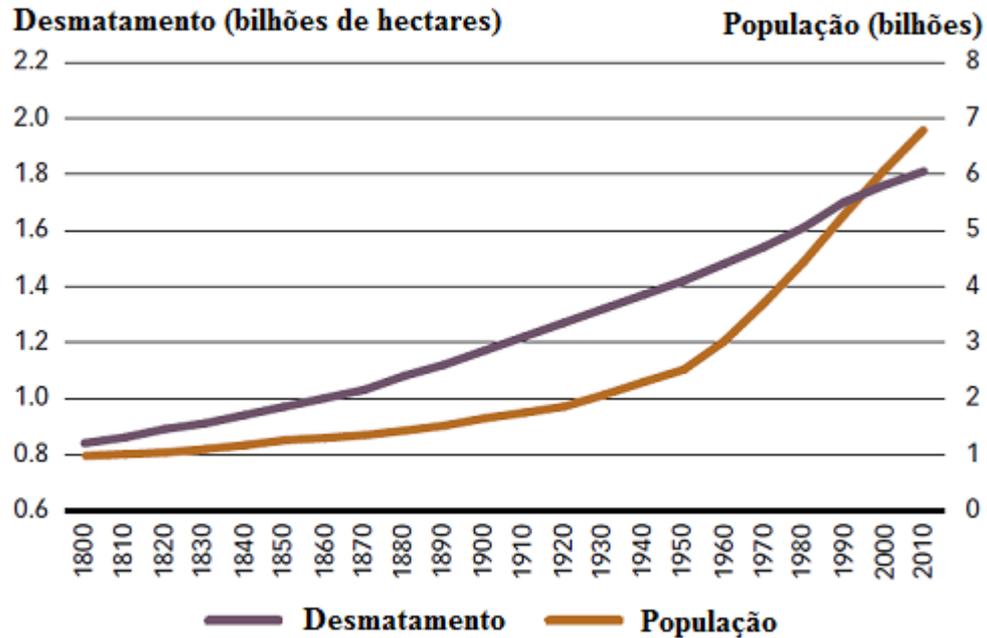


FIGURA 3: Crescimento populacional e desmatamento cumulativo entre 1800 e 2010 (Fonte: WILLIAMS, citado por FAO, 2012)

Resultado de estudo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em 2010 mostra que o Cerrado teve sua cobertura vegetal original reduzida em 968.000Km² até o ano de 2008, estando preservados então aproximadamente 52% de sua área total.

Assim como o Cerrado, os demais biomas ocorrentes no Estado do Mato Grosso do Sul, bem como em outras regiões do Brasil, têm sofrido grande pressão antrópica e tendem a perder área a ocupações diversas, como cocorre com o Pantanal e a Mata Atlântica, que tiveram 12% e 92%, respectivamente, de suas áreas originais desmatadas (MMA, 2007b; IBGE, 2010a).

Recentemente o cenário de redução das áreas originais dos biomas brasileiros tem adotado nova tendência. Talvez como resultado das ações diversas do Poder Público no sentido de coibir o desmatamento ilegal, as taxas anuais que medem as áreas desmatadas têm diminuído, como no caso da Amazônia, monitorada constantemente pelo Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), cujos resultados são apresentados na FIGURA 4.

Taxa de desmatamento na Amazônia (PRODES)

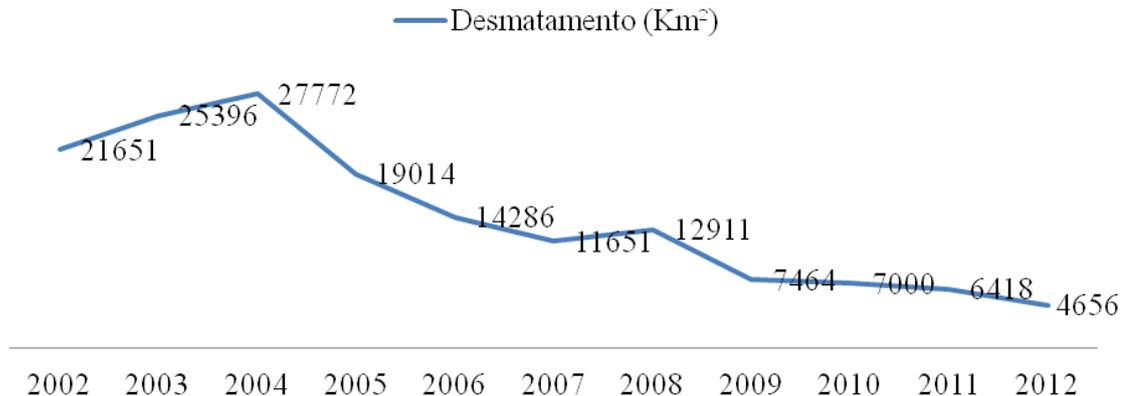


FIGURA 4: Dados sobre desmatamento da Amazônia entre 2002 e 2012 (elaborado com informações de INPE, 2012)

3.3. Monitoramento da vegetação

No ano de 2000 o Governo Federal criou o Programa Nacional de Florestas (PNF) por meio do Decreto Nº 3.420. Trata-se de um programa constituído de projetos a serem executados de forma participativa, envolvendo os governos federal, estaduais e municipais, além da sociedade civil organizada, cujos objetivos são:

- I. Estimular o uso sustentável de florestas nativas e plantadas;
- II. Fomentar as atividades de reflorestamento, notadamente em pequenas propriedades rurais;
- III. Recuperar florestas de preservação permanente, de reserva legal e áreas alteradas;
- IV. Apoiar as iniciativas econômicas e sociais das populações que vivem em florestas;
- V. Reprimir desmatamentos ilegais e a extração predatória de produtos e subprodutos florestais, conter queimadas acidentais e prevenir incêndios florestais;
- VI. Promover o uso sustentável das florestas de produção, sejam nacionais, estaduais, distrital ou municipais;
- VII. Apoiar o desenvolvimento das indústrias de base florestal;
- VIII. Ampliar os mercados interno e externo de produtos e subprodutos florestais;
- IX. Valorizar os aspectos ambientais, sociais e econômicos dos serviços e dos benefícios proporcionados pelas florestas públicas e privadas;
- X. Estimular a proteção da biodiversidade e dos ecossistemas florestais.

Com base nos objetivos do PNF o MMA iniciou projetos com objetivo de recuperar áreas degradadas, considerando principalmente Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reservas Legais (RL).

Mais recentemente a Lei Federal Nº 12.651, de 25 de maio de 2012, popularmente conhecida como Novo Código Florestal Brasileiro, estabeleceu normas sobre a proteção da vegetação, a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, entre outras. Em seu Art. 31 determina que a exploração de florestas nativas, de domínio público ou privado, depende de licenciamento pelo órgão competente do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), sendo este o órgão ambiental do estadual ou municipal.

Ainda neste contexto, o Decreto Nº 99.274, de 6 de junho de 1990 que regulamenta a Lei Federal Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que por sua vez dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, imputa em seu artigo primeiro, inciso I, ao Poder Público, em seus diferentes níveis de governo, a responsabilidade sobre a fiscalização permanente dos recursos ambientais, visando à compatibilização do desenvolvimento econômico com a proteção do meio ambiente e do equilíbrio ecológico, e, no inciso VI, afirma ser de responsabilidade do Poder Público identificar e informar, aos órgãos e entidades do SISNAMA, a existência de áreas degradadas ou ameaçadas de degradação, propondo medidas para sua recuperação.

O Art. 51 da Lei Federal 12.651 (BRASIL, 2012) define que o órgão ambiental competente, ao tomar conhecimento do desmatamento em desacordo com o disposto na citada Lei, deverá embargar a obra ou atividade que deu causa ao uso alternativo do solo, como medida administrativa voltada a impedir a continuidade do dano ambiental, propiciar a regeneração do meio ambiente e dar viabilidade à recuperação da área degradada.

Apesar de ser também tarefa de competência dos órgãos ambientais, no Mato Grosso do Sul o monitoramento da cobertura vegetal é realizado pelo Ministério Público Estadual (MPMS), que por intermédio do Núcleo de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (NUGEO) verifica o cumprimento da legislação federal referente às APP's e RL's e a ocorrência de desmatamentos sem licença ambiental (MPMS, 2011).

Criado em 2007, o NUGEO surgiu com o objetivo de auxiliar os Promotores de Justiça no cumprimento da legislação ambiental, com foco maior em desmatamentos e queimadas ilegais. Desde sua criação foram emitidos 300 relatórios indicando o não cumprimento da legislação referente às APP's e RL's em propriedades rurais, além do levantamento, por fotointerpretação, de todo o desmatamento ocorrido na região oeste do MS, na bacia hidrográfica do Rio Paraguai, entre os anos de 2006 e 2009 (MPMS, 2011).

3.4. Sensoriamento remoto

Sensoriamento remoto é a ciência e arte de obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno através da análise dos dados adquiridos por dispositivo (sensor) que não esteja em contato com o objeto, área ou fenômeno sob a investigação (LILLESAND & KIEFER, 2004).

Historicamente a chapa ou o filme fotográfico eram as plataformas de coleta de informação remota ideais, porém a partir das últimas décadas foi possível observar a evolução tecnológica e o surgimento de sensores eletrônicos, cada vez mais numerosos e sofisticados, montados em plataformas suborbitais e satélites (SALINERO, 2008).

Com o lançamento do satélite *Earth Resources Technology Satellites 1* (ERTS 1), posteriormente denominado LANDSAT 1, em 1972, pesquisas em sensoriamento remoto e suas aplicações evoluíram para programas destinados à aquisição constante de dados sistemáticos, e multiespectrais para toda a Terra. Por quase 30 anos a comunidade de pesquisadores em sensoriamento remoto investiu tempo e esforços no desenvolvimento de métodos para extrair níveis cada vez mais detalhados de informações sobre a cobertura da Terra a partir de dados do satélite LANDSAT. Em 1994 o programa LANDSAT foi adicionado ao sistema da National Aeronautics and Space Administration (NASA) de observação da Terra, composto por uma rede integrada de satélites dedicados ao estudo das mudanças globais. Pelas suas características, o programa LANDSAT contribuiu para o avanço das análises espaciais de forma geral, pois seus métodos são automatizados e generalizáveis, permitindo o monitoramento frequente de grandes áreas (PAX-LENNEY *et al.*, 2001).

Em julho de 1982 e março de 1984 foram lançados os satélites LANDSAT 4 e 5, respectivamente, iniciando a segunda etapa do programa LANDSAT. A principal inovação é o sensor *Thematic Mapper* (TM), cujas características, como resolução espacial média (~30 m), bandas distribuídas nas regiões do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, resolução temporal de 16 dias e imagens de 8 *bits*, tornaram-se padrão de referência para sensores ópticos até os dias atuais (FERREIRA *et al.*, 2008).

As imagens de satélite apresentam vantagens sobre outros tipos de fontes de dados e informações ambientais, como a fotografia aérea, por exemplo. Tais vantagens estão relacionadas ao seu menor custo por quilômetro quadrado, possibilidade de aplicações, disponibilidade histórica, entre outros.

O uso de imagens de satélite, aliado ao conhecimento do operador do SIG, permite a obtenção de diferentes informações sobre a superfície do solo, a inserção de informações no sistema e a obtenção de novos dados a partir de correlações entre essas informações, sendo o

método ideal para monitoramento da cobertura vegetal e de outros fatores da superfície terrestre.

3.4.1. LANDSAT 5

O satélite LANDSAT 5, lançado pela NASA no ano de 1984 (NASA, 1998), é capaz de adquirir informações da superfície do solo em diferentes intervalos de comprimento de ondas do espectro eletromagnético, sendo cada um desses intervalos denominado “banda”. Os intervalos amostrados pelas bandas do sensor TM do satélite LANDSAT 5, bem como as aplicações potenciais e características de cada uma, são apresentados na TABELA 1.

TABELA 1: Região espectral obtida por cada banda do sensor TM/LANDSAT 5.

BANDA	REGIÃO ESPECTRAL AMOSTRADA		RESOLUÇÃO ESPACIAL (m)	CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES
	(μm)	COR		
1	0,45 – 0,52	Azul	30	Grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Absorvido pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial.
2	0,52 – 0,60	Verde	30	Grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	0,63 – 0,69	Vermelho	30	Vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas com diferentes ocupações. Bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	0,76 – 0,90	Infravermelho próximo	30	Corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos d'água. Vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Sensibilidade à rugosidade da copa das florestas. Sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	1,55 – 1,75	Infravermelho médio	30	Sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	10,4 – 12,5	Infravermelho termal	120	Sensibilidade a fenômenos relativos a contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades térmicas de rochas, solos, vegetação e água.
7	2,08 – 2,35	Infravermelho de ondas longas	30	Sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Adaptado de NASA (1998) e Paranhos Filho *et al.* (2008)

Conforme informações da TABELA 1, o sensor TM obtém informações no espectro eletromagnético correspondente ao infravermelho, ou seja, ele capta características da superfície da terra que não podem ser identificadas a olho nu, como litologia, umidade e teor de clorofila nas plantas. Essa capacidade dos sensores pode ser explorada durante a análise da imagem gerada em SIG, onde as bandas correspondentes ao infravermelho são manipuladas para representar seu conteúdo de forma que seja possível sua visualização e análise.

3.4.2. Interpretação de imagens de satélite

De acordo com Jensen, citado por Salinero (2008), a interpretação das informações fornecidas por sensores remotos pode ser realizada de duas formas:

- i. **Primária** – sobre os dados obtidos pelo sensor, ou seja, com os atributos fornecidos pela imagem;
- ii. **Secundária** (ou híbrida) – sobre informações que derivam das primárias após utilização de algum tipo de técnica ou modelo matemático.

Salinero (2008) destaca que as variáveis primárias são apenas quantitativas, uma vez que o sinal recolhido pelo sensor corresponde a uma variável numérica (radiância espectral, altura, etc.), a qual é, por sua vez, influenciada por variáveis biofísicas, como por exemplo, a presença partículas em suspensão na atmosfera. Por outro lado, as variáveis secundárias correspondem a outro nível de abstração. É possível, por exemplo, deduzir o grau de estresse hídrico das plantas pelo teor de água medido, clorofila ou temperatura, mas o estresse em si não é identificado diretamente. Do mesmo modo, a identificação de uma cobertura de solo particular, é determinada pela medição do seu espectro de refletividade em bandas diferentes, juntamente com as suas propriedades espaciais e texturais (tamanho, forma, etc.).

Essa discussão leva a considerar os diferentes tipos de interpretação que podem ser aplicados para se obter informações de imagens de sensores remotos. De acordo com Salinero (2008), a partir de imagens de sensores remotos pode-se gerar quatro tipos de produtos:

- i. **Mapeamento temático:** agrupa os elementos da imagem em categorias homogêneas através de interpretação visual ou digital. Em suma, esta abordagem visa rotular cada pixel da imagem em uma classe temática. Esta tem sido a aplicação mais comum das imagens, clara herança da fotointerpretação clássica;
- ii. **Matriz de valores numéricos:** a imagem de satélite é tratada como matriz de variáveis numéricas de determinada característica de interesse, que pode ser utilizada

- para representação espacial desta característica (primária), ou de outra a ela relacionada (secundária);
- iii. **Deteção de alterações:** uma das principais vantagens da obtenção de dados por satélite é sua capacidade para acompanhar fenômenos dinâmicos, graças à cobertura cíclica que proporcionam. Esta capacidade permite monitorar processos ambientais como crescimento urbano, efeitos de incêndios ou desmatamentos, por exemplo. Sob este ponto de vista, o objetivo desta análise é identificar as zonas que tiveram suas características espectrais modificadas entre duas ou mais datas. Esta detecção pode ser realizada com uso de imagens previamente classificadas ou utilizando suas bandas originais. Neste caso, as mudanças são identificadas mediante operações matemáticas entre as bandas (diferenças, razão, regressão, etc.);
 - iv. **Representação espacial:** finalmente, as imagens podem ser utilizadas para representação espacial de dado território, servindo, desta forma, para medir as relações geográficas entre as características que se formam. Assim pode-se analisar a textura e diversidade espacial do uso do solo, a forma das parcelas existentes, suas conexões espaciais, etc.

3.4.3. Mapeamento temático

Segundo as definições fornecidas por Salinero (2008), o mapeamento temático pode ser realizado por interpretação visual ou digital. O Manual técnico de uso da terra, publicado em 2006 pelo IBGE, por sua vez, afirma que a técnica de classificação de imagens de satélite consiste em agrupar objetos, elementos e eventos em conjuntos levando-se em conta suas propriedades consoante um método ou sistema de avaliação. Portanto a classificação é equivalente em finalidade à definição de mapeamento temático dada por Salinero (2008), podendo ser considerada uma das formas de interpretação digital de imagens de satélite.

Há duas categorias de classificação: supervisionada e não supervisionada (FIGURA 5). A classificação não supervisionada ou exploratória é implementada através do agrupamento de pixels espectralmente próximos, os quais darão origem às classes. O número de classes pode ser ou não predeterminado, pois existem múltiplas possibilidades de arranjos espaciais que poderão se constituir em classe composta. As informações auxiliares e de campo serão muito úteis nesse momento, pois elas servem tanto para sugerir o número de classes quanto rejeitar o total de classes fornecido automaticamente pelo programa de classificação (IBGE, 2006).

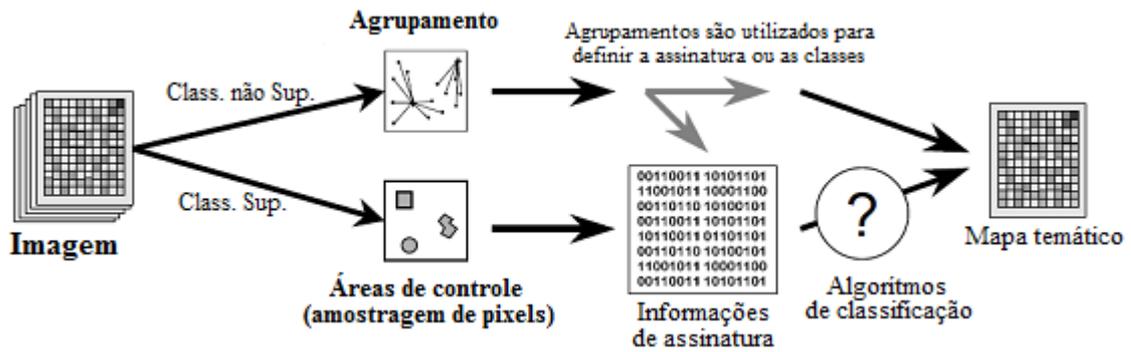


FIGURA 5: Diagrama representando a criação de mapas temáticos por meio de classificação supervisionada e não supervisionada (Fonte: Zhou, 1999).

A classificação supervisionada é realizada com base no conhecimento do usuário, que a priori, seleciona as classes de interesse e fornece os padrões espectrais típicos de cada classe. O método de classificação denominado de Máxima Verossimilhança (MAXVER) é utilizado por equipes de instituições como o IBGE e o INPE. Amostras de treinamento representativas das classes em estudo são extraídas da imagem com o auxílio das informações de reconhecimento de campo e experimentadas em ensaios da classificação. A quantidade de amostras de treinamento estará em função da maior ou menor complexidade espectral que a imagem apresenta (IBGE, 2006).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

A área definida para o estudo foi o Município de São Gabriel do Oeste, localizado no Estado do Mato Grosso do Sul (FIGURA 6).

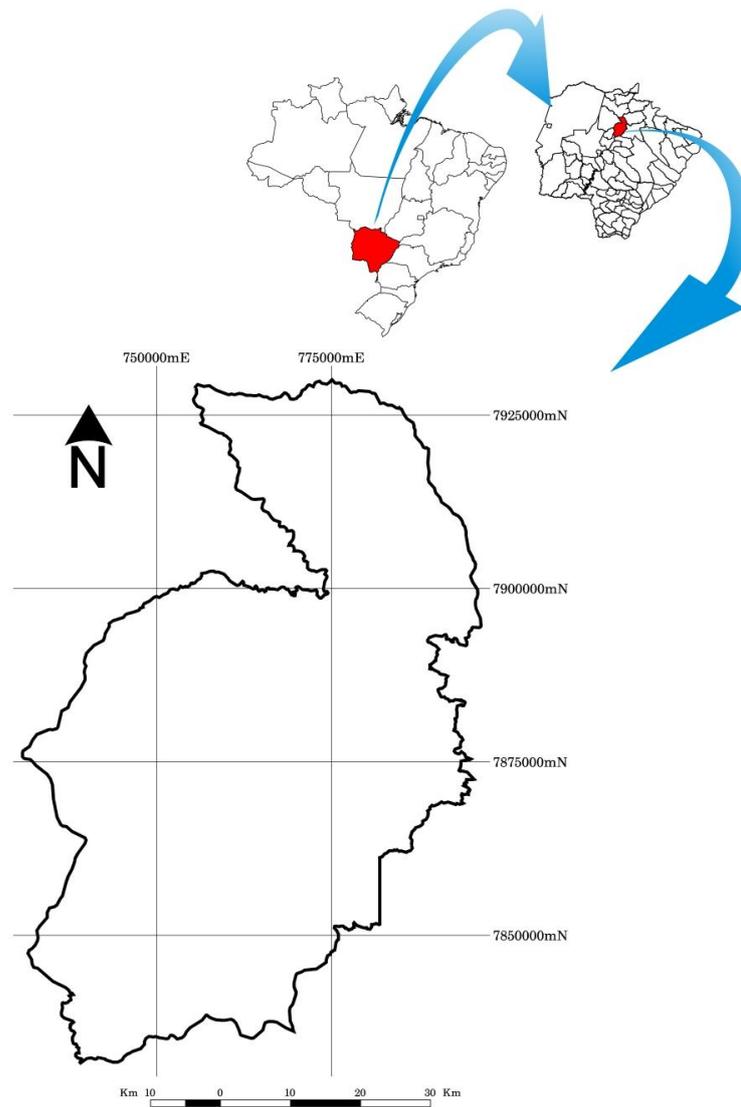


FIGURA 6: Localização geográfica da área de estudo.

O município possui área de 3.865Km² e está inserido no Bioma Cerrado. A área de drenagem pertence à bacia hidrográfica do Rio Paraguai. Possui população de 22.203 habitantes e sua principal fonte de recursos é a agricultura (IBGE, 2010b).

4.2. Obtenção de informações digitais

As informações digitais utilizadas foram imagens de satélite e arquivos vetoriais, conforme detalhadas na TABELA 2.

TABELA 2: Informações digitais utilizadas na pesquisa.

ARQUIVO	FONTE	DETALHES	APLICAÇÃO
Imagens do satélite TM/LANDSAR 5	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	Duas imagens de órbita/ponto 225/073, obtidas em 17/06/1999 e 28/06/2009	Elaboração de mapas temáticos de vegetação
Imagem do satélite ETM+ ^(*) /LANDSAT 7	<i>Global Land Cover Facility</i> (GLCF)	Uma imagem de órbita/ponto 225/073, georreferenciada, obtida em 17/08/2001	Referência para correção geométrica das imagens TM/LANDSAT 5
Informações vetoriais	Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul (IMASUL)	Informações vetoriais georreferenciadas da divisão política do Estado de Mato Grosso do Sul	Definição da área de estudo

(*) Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)

4.3. Pré-processamento das imagens

Antes da análise de imagens de satélite é necessário estas passem por pré-processamento. Esse procedimento pode incluir, de acordo com Weng (2010), a detecção e recuperação de erros em linhas ou colunas, correção geométrica ou registro da imagem, calibração radiométrica, correção atmosférica e correção topográfica.

Dados são gravados em imagens através de sensores em satélites, podem apresentar erros na geometria e nos valores atribuídos a cada pixel. Erros nos valores dos pixels são referidos como radiométricos e podem resultar da instrumentação usada para gravar os dados, do comprimento de onda amostrado ou de interferências da atmosfera. Por outro lado, os erros de geometria podem surgir de muitas formas. Movimentos relativos entre o satélite e a Terra, eventuais defeitos nos sensores, a curvatura da terra e as variações na posição e atitude do satélite, podem levar a erros geométricos de vários graus de severidade (RICHARDS & JIA, 2006).

4.3.1. Correção geométrica

O sistema de coordenadas de imagens não processadas é expresso simplesmente em termos de colunas e linhas ou pixels e linhas, com a origem dos dados geralmente localizada no canto superior esquerdo, definido usualmente como [1, 1] ou [0, 0]. Cada pixel possui largura e altura conhecida, permitindo o cálculo de distâncias relativas dentro da imagem (o

sensor TM, por exemplo, tem pixels que representam 30 m). A distância entre os pixels é tomada a partir de seu centro. Duas imagens de satélite semelhantes, como duas cenas TM da mesma área obtidas em datas diferentes, mesmo parecendo estar próximas quando inseridas em ambiente SIG, geralmente não se sobrepõem exatamente (ZHOU, 1999).

Por outro lado, os sistemas de coordenadas de mapas são geralmente orientados de modo cartesiano com a origem no canto inferior esquerdo. As unidades podem ser Norte e Leste, tal como na projeção UTM ou em Latitude e Longitude (ZHOU, 1999).

A correção geométrica tem dois objetivos: corrigir erros geométricos decorrentes da movimentação da Terra, do relevo do terreno, ou de outros fatores; criação de nova imagem, orientada por grade de coordenadas geográficas.

A FIGURA 7 representa a diferença nas orientações de imagens antes e depois da correção geométrica.

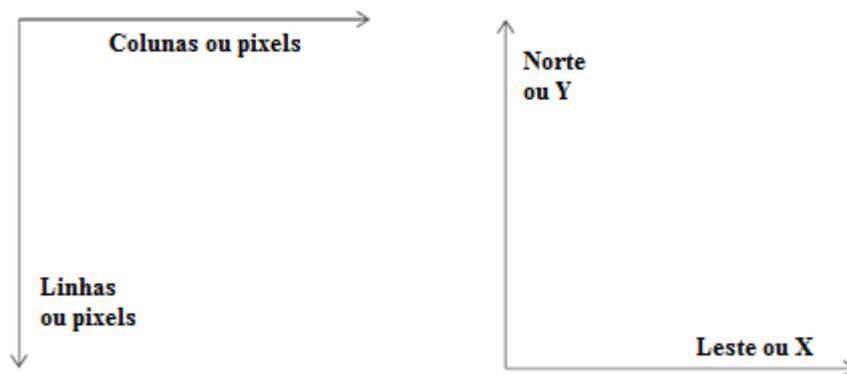


FIGURA 7: Representação de orientação de imagens não processadas, à esquerda, e após o processamento, à direita (Fonte: Zhou, 1999)

As imagens TM 225/073 de 1999 e 2009 foram obtidas no sítio do INPE com grade de coordenadas geográficas, resultado do pré-processamento a que são submetidas antes de sua disponibilização para *download*, entretanto as coordenadas que as orientam apresentam erros em relação ao solo que impedem seu uso imediato.

Para sua correção, utilizou-se as coordenadas da imagem ETM+, datada de 2001 e obtida no sítio do GLCF já corrigida geometricamente, em projeção UTM e datum WGS 84.

A imagem ETM+ foi a base para correção geométrica da imagem TM de 1999. O procedimento se resumiu em encontrar pontos correspondentes nas duas imagens e, com auxílio do *software* PCI Geomática OrthoEngine (PCI, 2003), transferir as coordenadas desses pontos de uma para a outra por meio de algoritmos, os quais fazem os devidos ajustes geométricos (FIGURA 8). Esses pontos correspondentes são chamados *Ground Control*

Points (GCP's), e sua localização muitas vezes é dificultada pelo fato de as atividades humanas alterarem constantemente a paisagem (ZHOU, 1999), motivo pelo qual foram escolhidos pontos relativamente estáveis como cruzamentos em rodovias, encontro entre cercas e curvas em pistas ou rios.

Após correção da imagem datada de 1999, esta foi utilizada como referência para correção da obtida em 2009, buscando minimizar o erro residual entre as elas, gerando melhor resultado em sua posterior comparação.

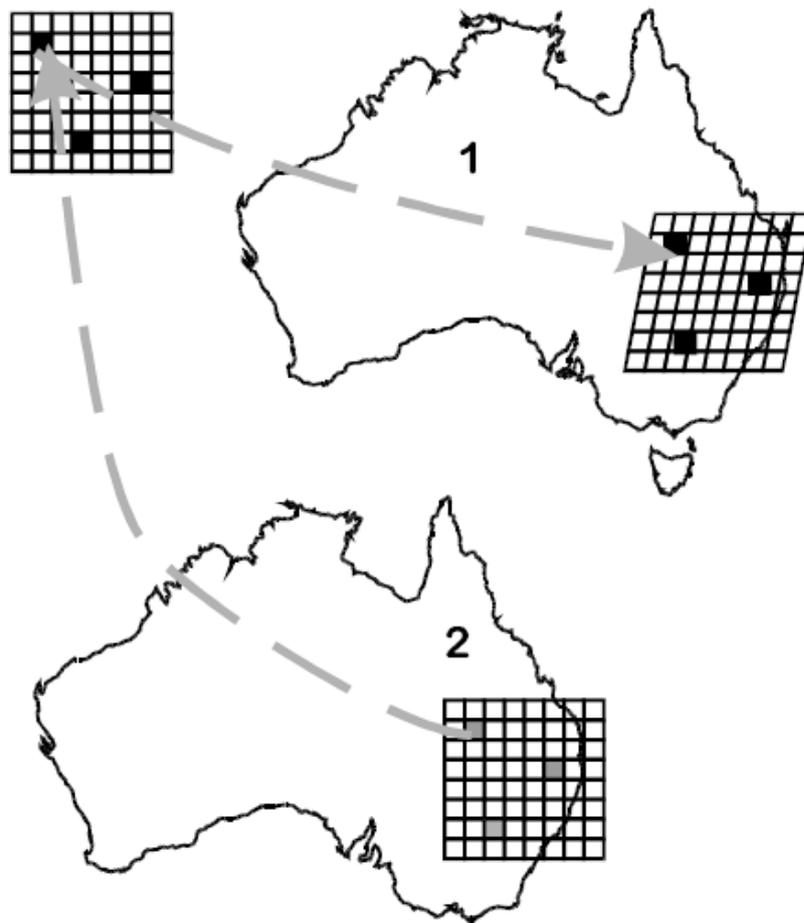


FIGURA 8: Coleta de CGP's da imagem corrigida (2) para correção da imagem bruta (1) (Fonte: Zhou, 1999)

Para correção das imagens foram utilizados algoritmos polinomiais de segunda ordem. Os algoritmos lineares, ou de primeira ordem, alteram a orientação e a escala da imagem, mas não a deformam (FIGURA 9). Os não lineares, por outro lado, também dobram e deformam a imagem (FIGURA 10), sendo que quanto maior a ordem de transformação, maiores serão as ondulações da superfície (FIGURA 11). De acordo com Zhou (1999), deve-se ter atenção ao utilizar polinômios não lineares, pois eles podem tornar-se imprevisíveis quando aplicados em

ordens elevadas, sendo mais indicado sua utilização até o terceiro grau, ou mais alto apenas em casos específicos de muita deformação da imagem em relação ao terreno.

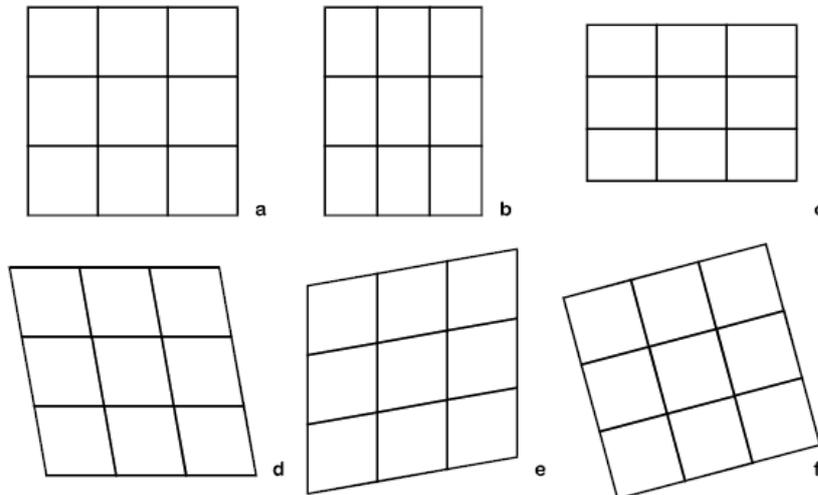


FIGURA 9: O exemplo acima representa correção com algoritmo linear e mostra a) imagem original, b) mudança de escala em x, c) mudança na escala y, d) inclinação que varia de acordo com y, e) inclinação que varia de acordo com x, e f) rotação (Fonte: Zhou, 1999).

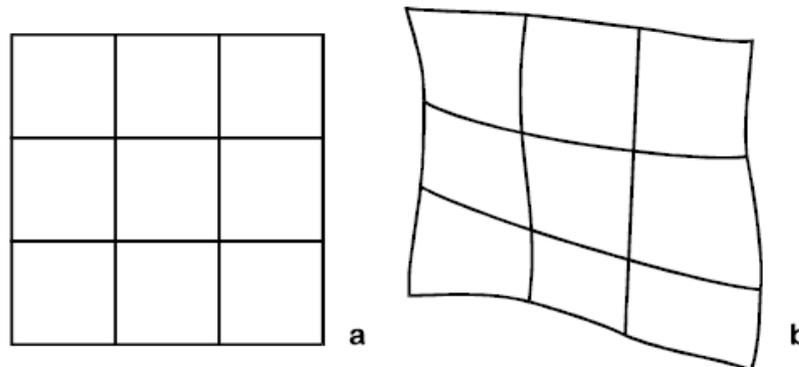


FIGURA 10: A imagem original (a) pode ser deformada usando equação polinomial não linear (b) (Fonte: Zhou, 1999).

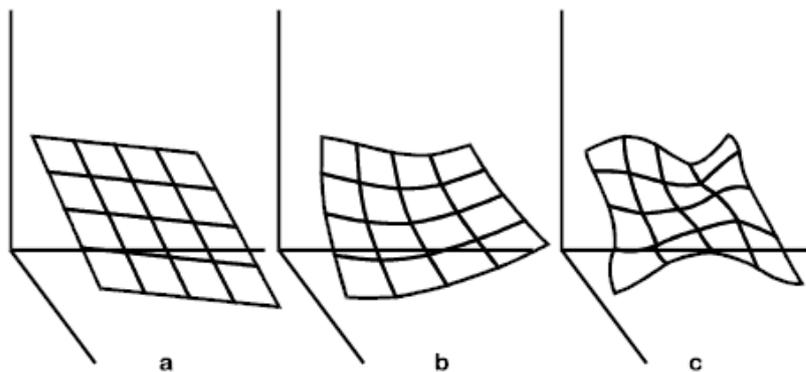


FIGURA 11: A superfície tridimensional que é produzida por equação linear (a), a equação de segunda ordem (b), e equação de ordem mais elevada (c) (Fonte: Zhou, 1999).

4.3.2. Correção atmosférica

As imagens TM foram submetidas a correções atmosféricas com o objetivo de eliminar a interferência da atmosfera e recuperar os parâmetros físicos da superfície terrestre.

O procedimento, realizado no *software* PCI Geomatica Focus (PCI, 2003), deu-se por intermédio do algoritmo ATCOR2, que considera parâmetros como características da região amostrada (urbana, rural, etc.), sensor responsável pela obtenção da imagem, resolução espacial, altitude média da região em relação ao nível do mar, data de amostragem, entre outros (PCI, 2003).

4.4. Amostragem de áreas de controle

As imagens TM de 1999 e 2009 foram comparadas por fotointerpretação para identificação dos desmatamentos ocorridos no período. Essas áreas identificadas seriam utilizadas posteriormente para avaliar os resultados da comparação entre os mapas temáticos de vegetação.

Para tanto as imagens de 1999 e 2009 foram comparadas visualmente, no *software* PCI Geomatica Focus (PCI, 2003), e os desmatamentos definidos manualmente em *layer* vetorial, conforme FIGURA 12.

Para interpretação das imagens utilizou-se composição falsa-cor, RGB (*Red Green Blue*) 453, sugerida e aplicada em estudo de biodiversidade por Paranhos Filho *et. al.i* (2006), por facilitar a identificação e diferenciação de vegetação.

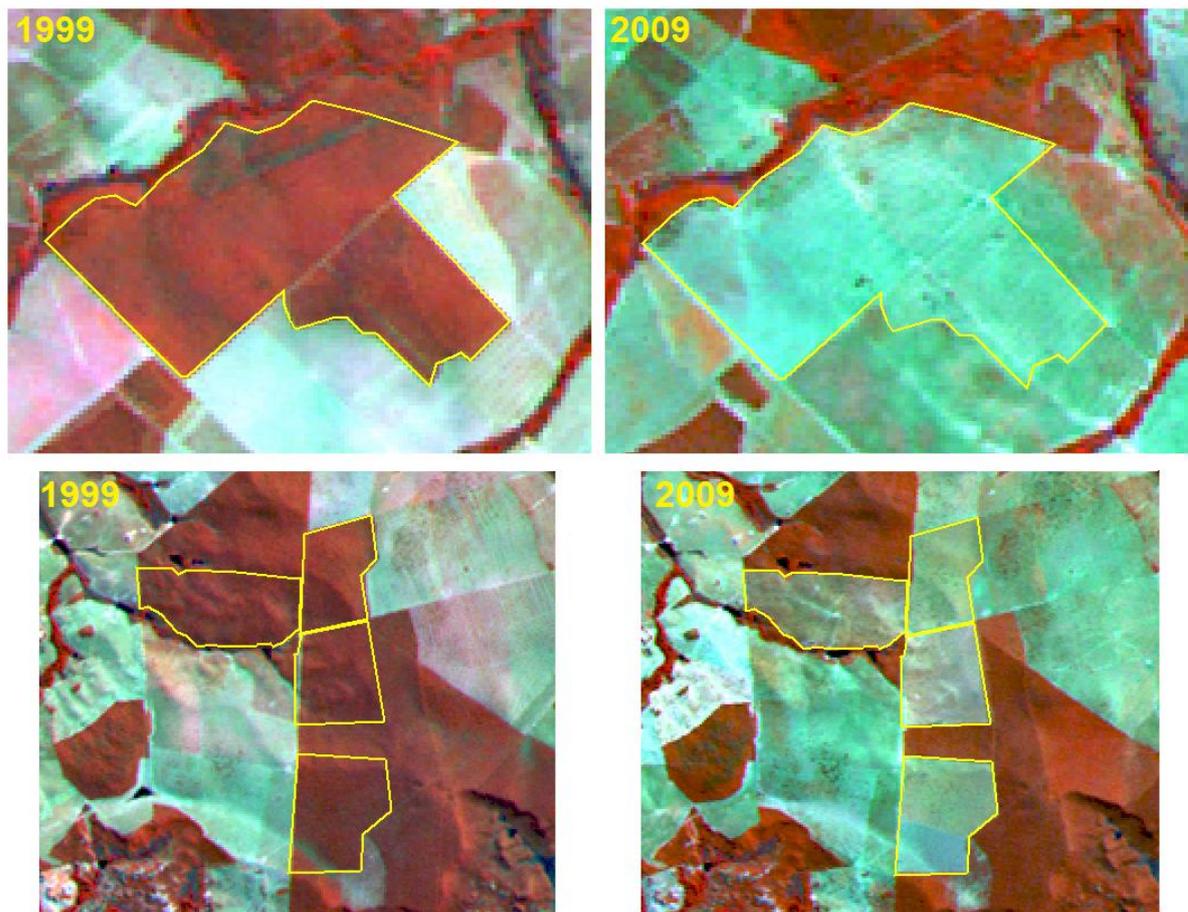


FIGURA 12: Exemplos de desmatamentos identificados por fotointerpretação.

4.5. Carta de vegetação remanescente de 1999

Para identificar a variação da vegetação remanescente no período estudado foram elaboradas duas cartas de vegetação remanescente contendo dois temas cada uma: “Vegetação remanescente” e “Outros tipos de cobertura”.

A carta de vegetação remanescente de 1999 foi elaborada por classificação supervisionada, tendo como base as classes propostas por Paranhos Filho (2000), pois, segundo Bernardes et al. (2007), a análise visual apresenta a vantagem de incorporar elementos de reconhecimento bem mais complexos que a simples análise do valor digital do pixel na imagem. Informações adicionais sobre a cobertura vegetal, como aquelas inferidas pelas tradicionais técnicas de fotointerpretação visual, continuam sendo de grande valia, por exemplo, na definição de amostras de treinamento dos algoritmos de classificação.

É importante que a carta que determina o início do período de estudo, neste caso a do ano de 1999, apresente resultado que represente fielmente a cobertura remanescente da área, pois se áreas ocupadas por usos antrópicos (culturas temporárias, por exemplo) forem

classificadas como florestas remanescentes, ao se cruzar informações com outra carta, de data mais recente, é possível que sejam identificados falsos polígonos de desmatamento. Por outro lado, caso áreas de vegetação nativa não sejam classificadas como tal, mesmo que sejam desmatadas futuramente a comparação entre os mapas temáticos não identificaria tal alteração.

O resultado obtido pela classificação supervisionada foi filtrado pelo algoritmo SIEVE (PCI, 2003) a fim de remover áreas pequenas, neste caso menores que 01 hectare, classificadas em divergência com polígonos maiores que estejam ao seu redor (FIGURA 13), e editado na ferramenta *Aggregation* (PCI, 2003), a qual permite agrupar as classes resultantes em grupos maiores, neste caso: “vegetação” e “outros” (FIGURA 14 e FIGURA 15).

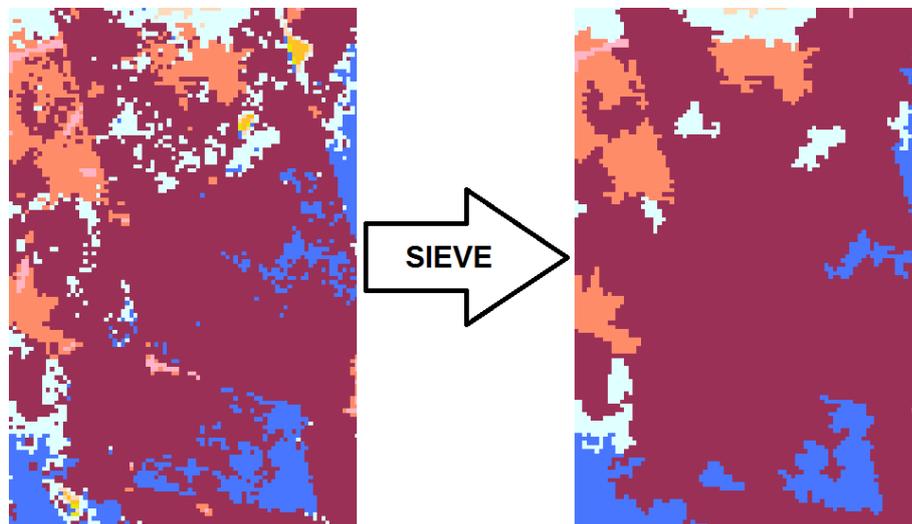


FIGURA 13: Exemplo da aplicação do filtro SIEVE (PCI, 2003).

A aplicação do filtro SIEVE (PCI, 2003) foi também determinante para definir a escala de trabalho. Considerando que os pixels da imagem LANDSAT 5 representam quadrados de 30 metros de aresta no solo, e que um polígono de 01 hectare poderia ser formado por uma sequência de 11 pixels alinhados, a escala de trabalho calculada com base no erro de graficismo para 30 metros é de 1:150.000.

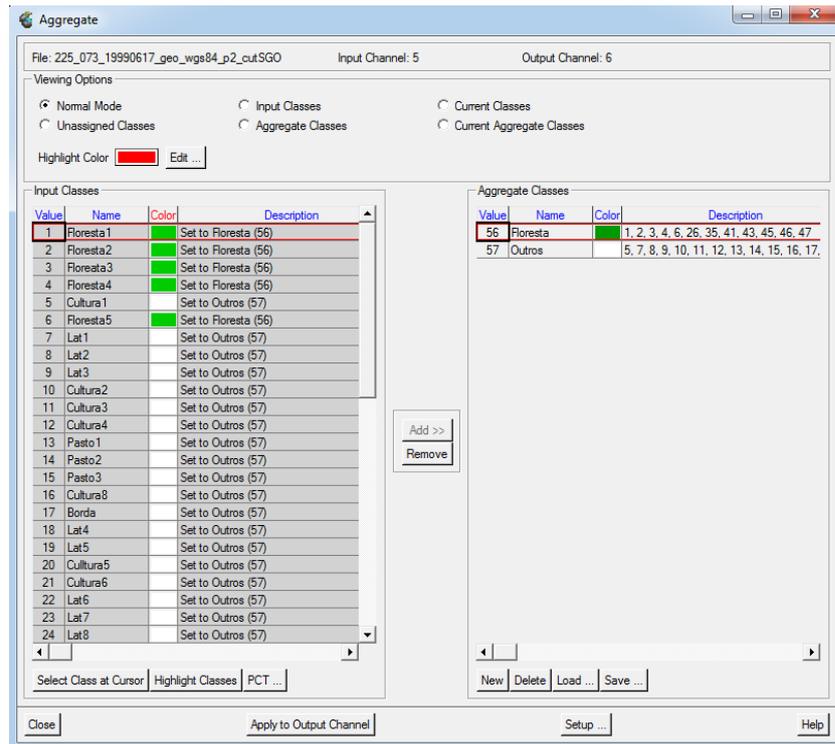


FIGURA 14: *Aggregation* (PCI, 2003) utilizada para manipular os resultados das classificações automáticas e criar as cartas de vegetação remanescente.

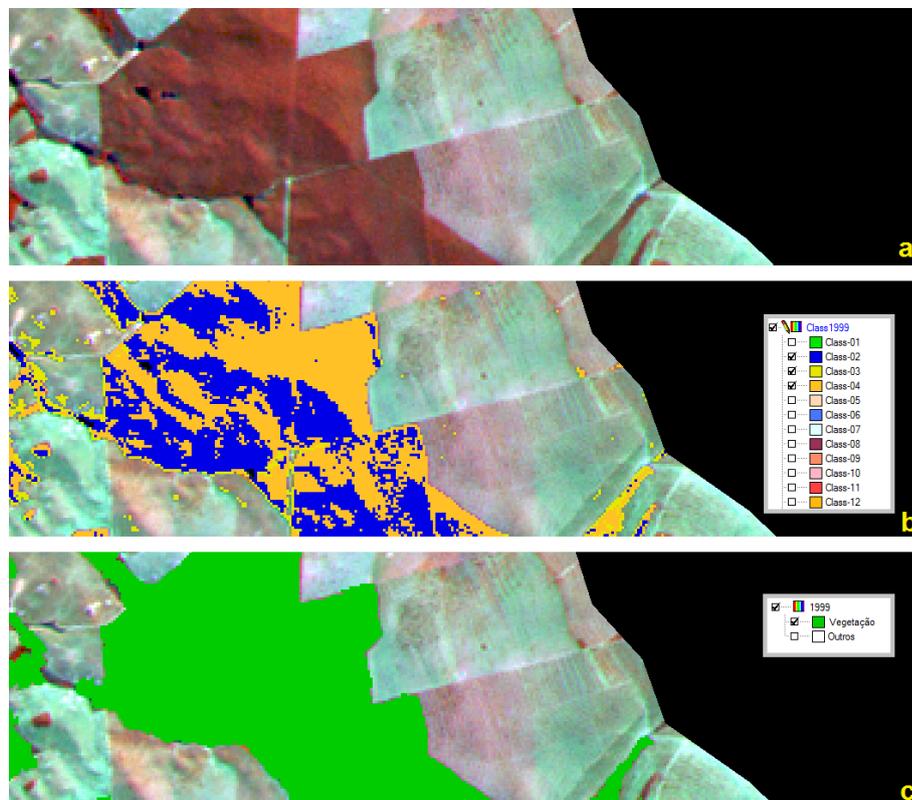


FIGURA 15: Exemplo da aplicação da ferramenta *Aggregation* (PCI, 2003). A imagem original (a) é classificada automaticamente seus pixels agrupados em 16 classes (b), que posteriormente são comparados com a imagem e divididas em apenas 2 classes de cobertura: “Vegetação” e “Outros” (c).

4.6. Carta vegetação remanescente de 2009

A carta de vegetação remanescente de 2009 foi elaborada por classificação não supervisionada. A vantagem desse tipo de classificação sobre a supervisionada é o menor tempo necessário para sua aplicação, pois o procedimento dispensa a coleta visual de áreas de treinamento e a posterior edição das classes.

A desvantagem é que ao agrupar os pixels pela semelhança de seus valores numéricos o modelo matemático geralmente classifica semelhantemente áreas de culturas agrícolas e florestas remanescentes.

Da mesma forma o resultado da classificação não supervisionada para a imagem de 2009 foi submetido às ferramentas *SIEVE* (PCI, 2003) e *Aggregation* (PCI, 2003).

4.7. Determinação automática do desmatamento ocorrido entre 1999 e 2009

O desmatamento ocorrido no período estudado foi determinado automaticamente por operação matemática entre as cartas de vegetação remanescente elaboradas.

Em cada carta incluiu-se novo campo de atributos numéricos, correspondente à classe de cobertura do solo, sendo o valor “1” para vegetação remanescente e “0” para outros tipos de cobertura. Posteriormente as cartas foram utilizadas como dados de entrada para a ferramenta *Raster Calculator* (PCI, 2003), que relaciona os pixels de mesma coordenada nas duas cartas, segundo a operação matemática definida pelo operador do sistema, gerando novo mapa temático com o resultado desse cálculo, de forma similar ao exemplificado na FIGURA 16.

	A	B	C	D	E		A	B	C	D	E		A	B	C	D	E		
I	1	3	1	1	4		I	2	2	1	4	3		I	-1	1	0	-3	1
II	2	1	4	3	2		II	1	1	3	1	2		II	1	0	1	2	0
III	4	2	4	1	3	—	III	1	4	4	3	2	==	III	3	-2	0	-2	1
IV	2	2	1	5	2		IV	3	3	1	4	2		IV	-1	-1	0	1	0
V	4	2	1	4	1		V	3	2	1	1	2		V	1	0	0	3	-1

FIGURA 16: Ilustração exemplificativa da aplicação da ferramenta *Raster Calculator* (PCI, 2003).

Como nas cartas elaboradas a cobertura vegetal remanescente possui valor definido “1” e as demais coberturas “0”, ao calcular a diferença entre as cartas de 1999 e 2009, os resultados possíveis são os seguintes:

TABELA 3: Resultados possíveis para a diferença entre os mapas temáticos.

VALOR DO PIXEL 1999	OPERAÇÃO MATEMÁTICA	VALOR DO PIXEL 2009	RESULTADOS	ALTERAÇÃO CONSTATADA
1	Diferença	1	0	Sem alteração
		0	1	Desmatamento
0		1	0 ^(*)	Sem alteração
		0	0	Sem alteração

^(*) – Os valores dos pixels são representados em 8 *bits*, ou seja, variam apenas entre 0 e 255, portanto não há representação de valores negativos.

Observando o conteúdo da TABELA 3 é fácil notar a necessidade de maior precisão da carta que determina o início do período de desmatamento. Para o estudo de caso realizado, por exemplo, como consequência dos resultados possíveis para a operação de diferença entre as cartas, a ocorrência de áreas agrícolas classificadas como vegetação na carta de 2009 não interfere na qualidade dos resultados, pois o resultado da operação seria igual a zero.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Pré-processamento

Para aplicação da metodologia era importante que as imagens de satélite tivessem o menor deslocamento possível entre si, para que os mapas temáticos gerados fossem comparados pixel a pixel para identificação de variações na cobertura vegetal.

A obtenção de GCP's para correção geométrica das imagens TM resultou em erro residual menor que 20 metros em ambos os casos e as imagens resultantes foram aprovadas após serem avaliadas visualmente, apresentando deslocamentos menores que 1 pixel para todos os pontos observados, distribuídos em toda a extensão da área de estudo.

5.2. Amostragem de áreas de controle

A técnica de fotointerpretação apresenta resultado confiável, todavia possui algumas desvantagens como a necessidade de experiência do operador do sistema, já que é necessário localizar visualmente áreas em que a vegetação foi removida.

A principal dificuldade encontrada nesta etapa foi a diferenciação de áreas desmatadas daquelas que tiveram outros tipos de alteração, como variação de umidade, que pode alterar consideravelmente a forma como o pixel é representado na imagem. Outra característica desfavorável dessa técnica é o tempo necessário à sua aplicação, geralmente elevado.

Pela amostragem, identificou-se 348 polígonos de desmatamento, totalizando 10.816,2 hectares de área desmatada no período entre 1999 e 2009, correspondendo a 2,8% da área total do Município de São Gabriel do Oeste.

Esse resultado implica em uma taxa de desmatamento anual de aproximadamente 0,28% da área do município, valor similar à média de desmatamento no Mato Grosso do Sul, que foi de 0,25% de sua área entre os anos de 2002 e 2008 (MMA, 2009).

A distribuição espacial dos polígonos de desmate na área do município, apresentada na FIGURA 17, indica que a maioria ocorre na região norte, onde a presença da agricultura já não é tão notada. Nessa área, encontra-se a maior parte das reservas de vegetação natural e também foi nela que aconteceram os desmates mais significativos em termos de área.

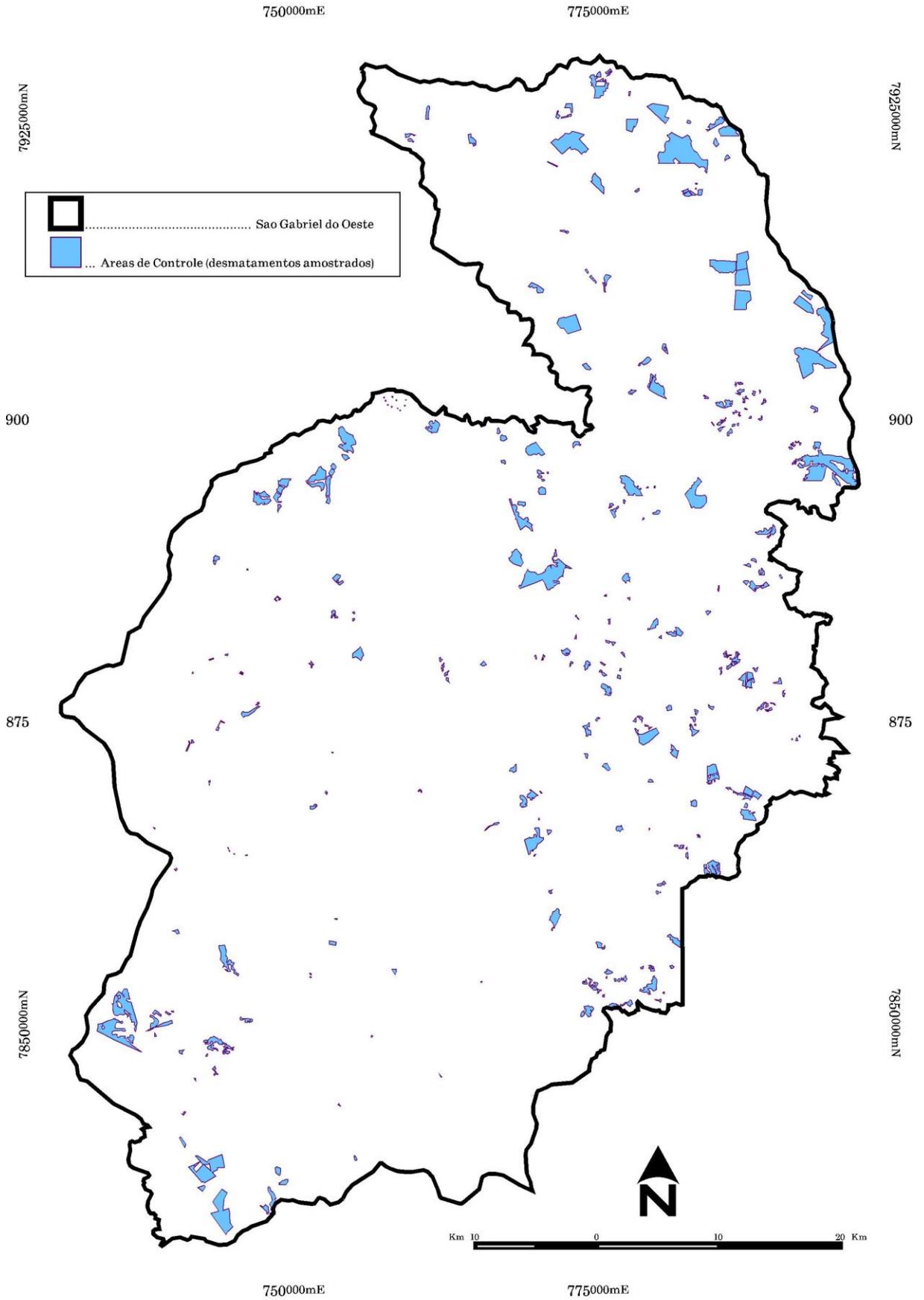


FIGURA 17: Desmatamentos identificados por fointerpretação para composição das áreas de controle.

Na TABELA 4 as áreas de controle são apresentadas segundo suas dimensões.

TABELA 4: Características dos polígonos identificados no levantamento das áreas de controle.

POLÍGONOS	QUANTIDADE		ÁREA TOTAL	
	NÚMERO	%	SOMA ÁREA	%
Menores que 5 hectares	139	40%	306,13	3%
Entre 5 e 10 hectares	65	19%	465,29	4%
Entre 10 e 20 hectares	43	12%	627,23	6%
Entre 20 e 30 hectares	32	9%	749,35	7%
Entre 30 e 40 hectares	17	5%	579,93	5%
Entre 40 e 50 hectares	7	2%	312,59	3%
Entre 50 e 100 hectares	13	4%	943,10	9%
Maiores que 100 hectares	32	9%	6.832,58	63%
TOTAL	348	100%	10.816,20	100%

É possível notar a ocorrência de vários desmates de pequeno porte, sendo 59% das áreas de controle menores do que 10 hectares, representando apenas 7% do desmatamento total do período, enquanto 63% da área desmatada é resultante de apenas 9% dos polígonos identificados.

5.3. Carta de vegetação remanescente de 1999

A classificação supervisionada da imagem TM de 1999 foi elaborada com 55 classes de uso do solo, que foram posteriormente agrupadas. Essa quantidade de classes foi necessária para diferenciar áreas de cultura temporária da vegetação remanescente, devido à sua similaridade espectral, sendo então acrescentadas classes às propostas por Paranhos Filho (2000).

Pela análise da carta, representada na FIGURA 18, foi constatado que a vegetação remanescente na área de estudo, em 1999, era de 74.463,3 hectares, aproximadamente 19% da área do Município de São Gabriel do Oeste, e que a região sul do município possui menor grau de preservação, devido à extensa exploração da agricultura.

Considerando que até o início do ano de 2012 vigorava o Código Florestal de 1965, por meio da Lei Federal Nº 4.771, cujo conteúdo obrigava todas as propriedades rurais, independente de suas dimensões, a preservar 20% de sua área a título de reserva legal, fica evidente que parte dos produtores rurais de São Gabriel do Oeste não cumpria essa determinação, afinal a área preservada no município é de apenas 19%, incluídas as áreas de preservação permanente.

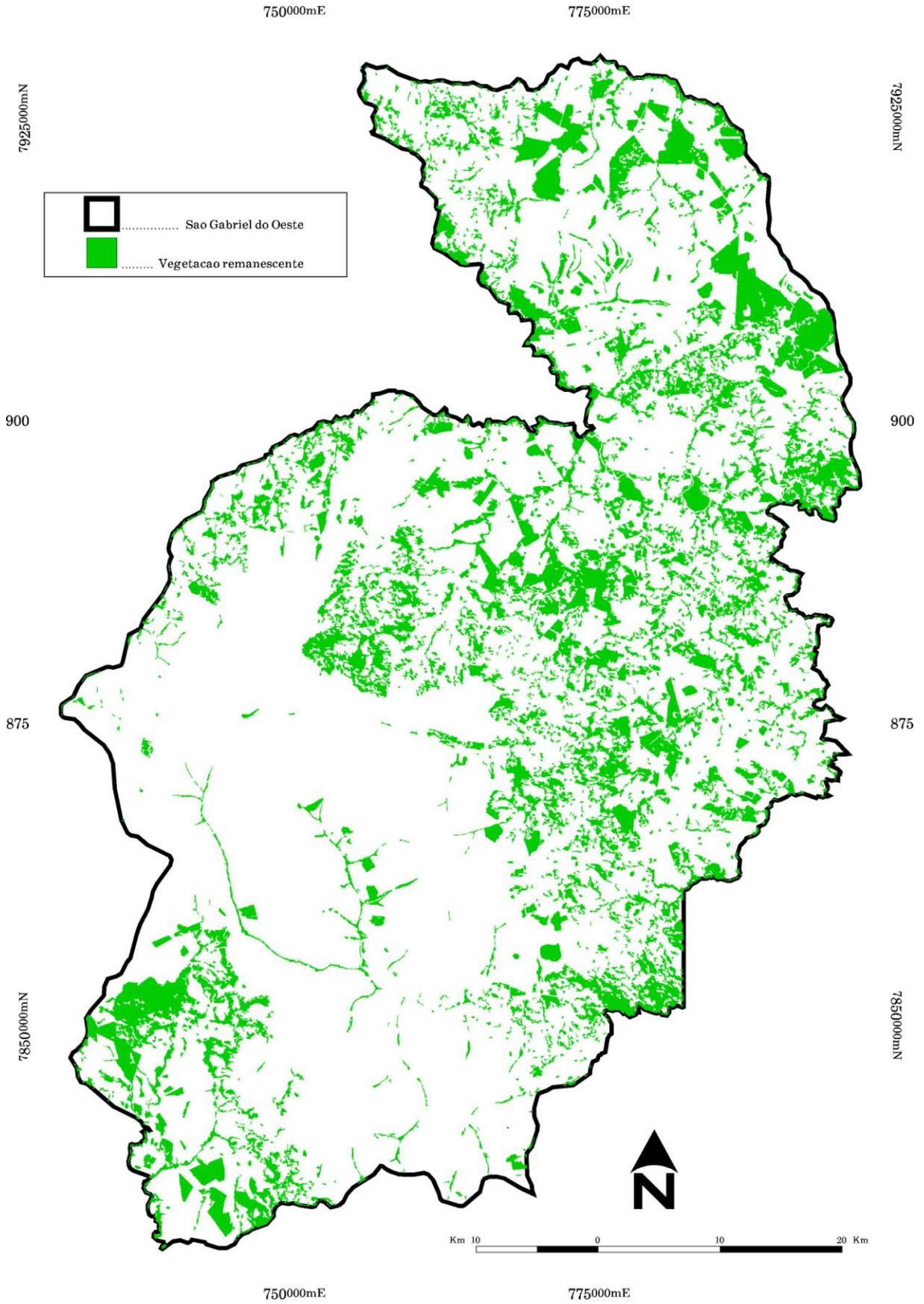


FIGURA 18: Carta de vegetação remanescente de 1999.

5.4. Carta de vegetação remanescente de 2009

A classificação não supervisionada da imagem TM de 2009 predefinida com 16 classes de cobertura do solo e foi realizada em pouco tempo pelo SIG, já que não há necessidade de coleta de áreas de treinamento para o algoritmo nem edições das classes resultantes da classificação.

As desvantagens em relação à classificação supervisionada devem-se ao fato de as classes geradas agruparem tipos de uso do solo diferentes devido à semelhança entre os valores numéricos dos pixels. Isso que compromete sua confiabilidade para elaboração de cartas, como apresentado na FIGURA 20.

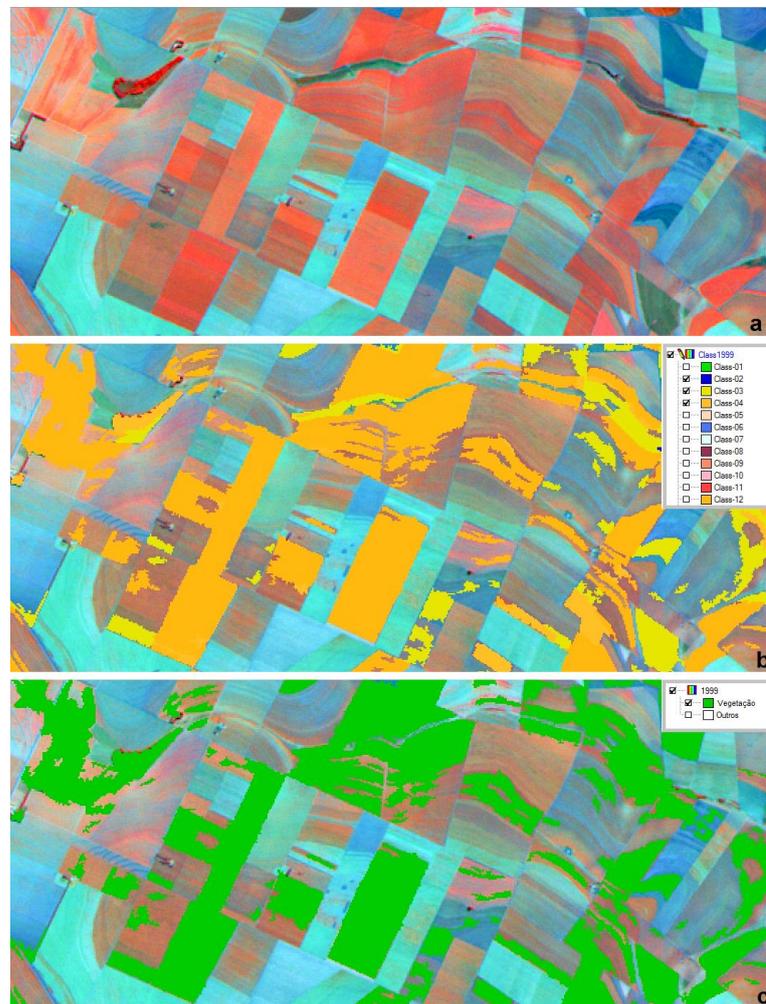


FIGURA 19: Classificação de cultura agrícola como vegetação, onde (a) a imagem original, (b) o resultado da classificação não supervisionada e (c) a cultura agrícola inserida na carta de vegetação remanescente.

A carta de vegetação remanescente de 2009 representa, portanto, além da vegetação, áreas de agricultura classificadas como tal, não sendo adequada a utilização exclusiva de seu conteúdo para realização de análises e estudos sobre a vegetação do município.

Como resultado do agrupamento das classes definidas automaticamente, aproximadamente 159.600 hectares foram classificados como vegetação. Valor superior ao dobro do encontrado para o ano de 1999.

Na FIGURA 20 é possível observar a diferença entre os resultados das classificações supervisionada e não supervisionada.

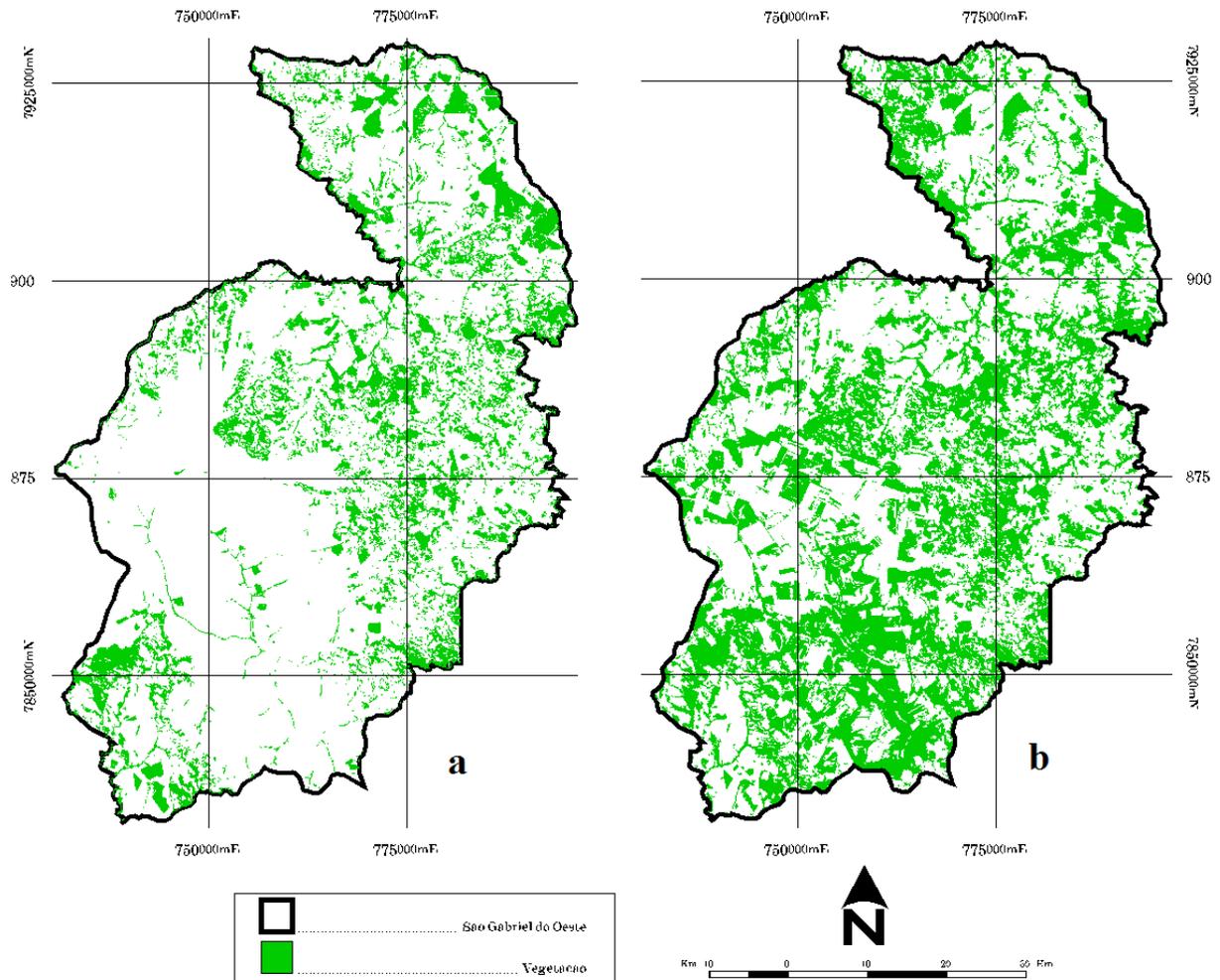


FIGURA 20: Cartas de vegetação remanescente de 1999 (a) e 2009 (b).

5.5. Determinação do desmatamento por comparação entre cartas de vegetação remanescente

A comparação entre as cartas de vegetação remanescente elaboradas resultou na identificação de 10.768,30 hectares de área supostamente desmatada, equivalente a 2,8% da área de estudo, valor muito próximo ao encontrado na amostragem de áreas de controle, que foi de 10.816,20 hectares.

Na TABELA 5 é feita comparação entre os polígonos identificados e as áreas de controle.

TABELA 5: Características dos polígonos identificados pela comparação entre as cartas.

POLÍGONOS	ÁREAS DE CONTROLE		TÉCNICA APLICADA	
	QUANTIDADE	ÁREA TOTAL	QUANTIDADE	ÁREA TOTAL
Menores que 5 hectares	139	306,13	451	1.282,31
Entre 5 e 10 hectares	65	465,29	109	740,97
Entre 10 e 20 hectares	43	627,23	69	968,81
Entre 20 e 30 hectares	32	749,35	26	646,70
Entre 30 e 40 hectares	17	579,93	13	452,10
Entre 40 e 50 hectares	07	312,59	06	261,55
Entre 50 e 100 hectares	13	943,10	17	1.267,99
Maiores que 100 hectares	32	6.832,58	22	5.147,88
TOTAL	348	10.816,20	713	10.768,30

Pelos valores apresentados na tabela, nota-se que a comparação entre as cartas de vegetação remanescente apresenta melhor resultado para identificação de polígonos de desmatamento com área superior a 10 hectares, enquanto para valores inferiores ocorrem mais erros relativos à quantidade de polígonos e área total desmatada.

A diferença entre as áreas totais dos polígonos maiores que 100 hectares deve-se, em partes, à ocorrência de casos similares ao apresentado na FIGURA 21, em que o desmatamento foi identificado pela comparação entre as cartas, mas não pela fotointerpretação, favorecendo a metodologia testada em relação às técnicas convencionais de obtenção de polígonos de desmatamento.

Outro motivo para a diferença nas áreas totais das técnicas aplicadas são as diferenças entre as formas dos polígonos, que na maioria das vezes não seguem exatamente a mesma configuração, conforme mostrado na FIGURA 22.

Em avaliação visual dos resultados foi constatado que todos os polígonos maiores que 100 hectares identificados pela fotointerpretação foram também detectados pela técnica de comparação entre as cartas de vegetação remanescente, porém essas diferenças entre suas formas fazem com que sejam classificados em diferentes intervalos na TABELA 5: Características dos polígonos identificados pela comparação entre as cartas. interferindo tanto na comparação do número de polígonos identificados quanto de sua área total.

A identificação de áreas desmatadas não observadas na fotointerpretação evidencia que mesmo um profissional com experiência em interpretação de imagens de satélite pode se equivocar no momento da coleta dos polígonos, o que dificilmente ocorreria com os algoritmos do SIG.

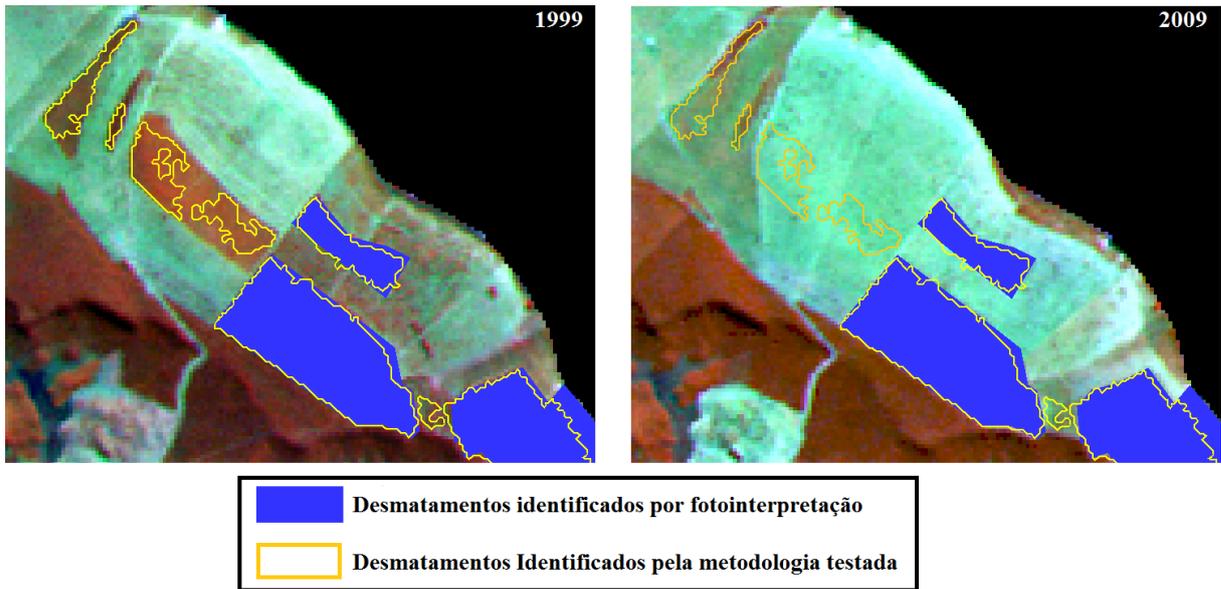


FIGURA 21: Desmatamentos detectados pela comparação entre as cartas.

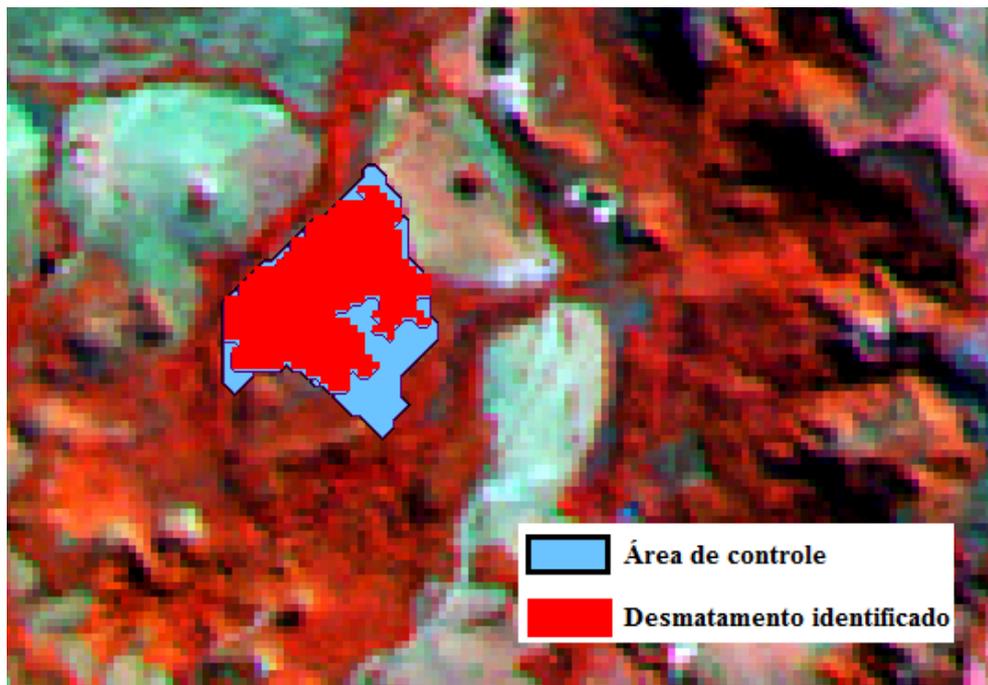


FIGURA 22: Diferenças entre os vetores obtidos automaticamente e manualmente.

Pela observação da FIGURA 23, é possível constatar a correlação espacial entre as áreas identificadas e as áreas de controle. Para avaliação dessa correlação os polígonos identificados foram comparados às áreas de controle através da ferramenta *Overlay*, que realizou a intersecção entre eles. Os resultados são apresentados na TABELA 6.

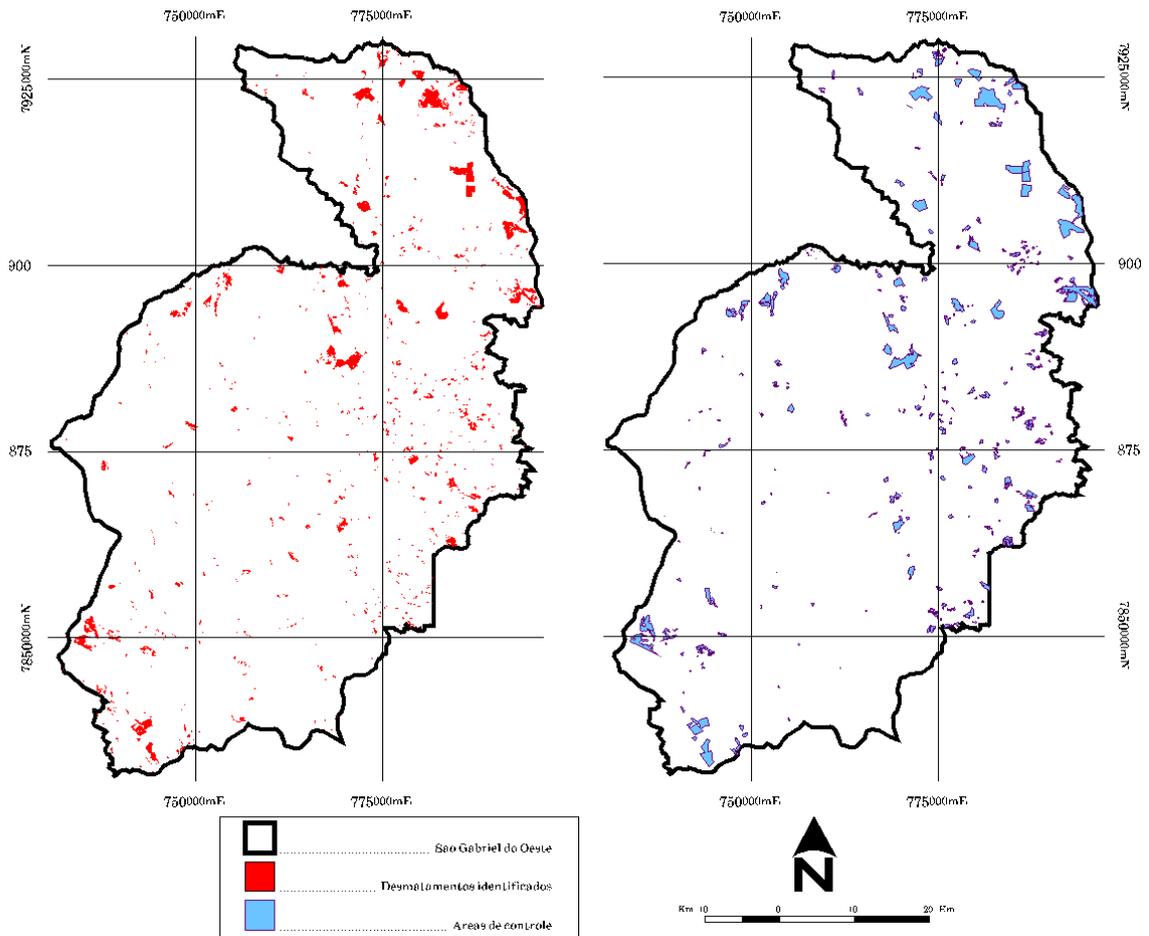


FIGURA 23: Localização dos polígonos identificados pela metodologia testada (esquerda) e das áreas de controle (direita).

TABELA 6: Avaliação da correlação espacial entre os resultados.

RESULTADO OVERLAY	Nº DE POLÍGONOS	ÁREA TOTAL
Área de intersecção	316	7.690,14
Área de controle não identificada pela metodologia testada	32	3.126,06
Área identificada pela metodologia testada e não identificada manualmente	397	3.078,16

A definição automática dos polígonos de desmatamento identificou 316 das 348 áreas de controle, apresentando, então, 91% de acerto.

Por outro lado, 3.126,06 hectares de áreas desmatadas definidas nas áreas de controle não foram delimitados. Isso ocorre tanto pelos polígonos não identificados quanto pela diferença entre as formas dos polígonos, já apresentada na FIGURA 22.

6. CONCLUSÕES

A técnica proposta e aplicada na área de reduz o tempo necessário para identificação dos polígonos de desmatamento em relação à fotointerpretação convencional e apresenta resultados satisfatórios tanto para identificação quanto para estimativa de áreas de desmatamento, sendo mais precisa para sua identificação.

Sua aplicação pode tornar mais simples e viável o monitoramento dos desmatamentos em áreas extensas, como por exemplo, na realização de monitoramento por órgãos de controle ambiental, pois após elaboração das cartas de vegetação remanescente do ano inicial do monitoramento, a técnica passa a ser prática e exigem menos tempo e experiência do operador do sistema.

É possível ainda que a aplicação dessa técnica de monitoramento seja viável para outros sensores com características espectrais similares ao TM/LANDSAT 5, sendo necessário avaliar a necessidade de adaptações.

7. RECOMENDAÇÕES

Como a técnica mostrou-se mais eficiente para os polígonos maiores que 10 hectares, estudos futuros podem ser direcionados a definir as áreas mínimas para sua aplicação, visando obtenção de resultados mais precisos.

Sugere-se também que pesquisas testem a metodologia utilizando outros sensores, e em diferentes áreas e condições de vegetação, como outros biomas, incluindo também áreas mais extensas, compostas por mais de uma imagem de satélite.

8. REFERÊNCIAS

BERNARDES, T.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C.; ANDRADE, H. Avaliação da acurácia do mapeamento do uso da terra no complexo Serra Negra, Patrocínio, MG, por interpretação visual e classificação automática de imagens Landsat. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Santa Catarina: Florianópolis, p. 5587 - 5594. Abril de 2007.

BRASIL. Lei N° 6.938, de 31 de agosto de 1981: Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, 1981.

BRASIL. Constituição, 1988 Constituição da República Federativa do Brasil, 1988. São Paulo: Ed. Revista dos Tribunais, 1989.

BRASIL. Decreto n° 99.274, de 06 de junho de 1990: Regulamenta a Lei n° 6.902, de 27 de Abril de 1981, e a Lei n° 6.938, de 31 de Agosto de 1981, que dispõem, respectivamente, sobre a criação de Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, e dá outras providências. Brasília, 1990.

BRASIL (2000a). Lei N° 9.985, de 18 de julho de 2000: Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, 2000.

BRASIL (2000b). Decreto N° 3.420, de 20 de abril de 2000: Dispõe sobre a criação do Programa Nacional de Florestas - PNF, e dá outras providências. Brasília, 2000.

BRASIL. Lei N° 12.651, de 25 de maio de 2012: Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n°s 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n°s 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n° 2.166- 67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Global Forest Products Facts and Figures (2011). Relatório técnico.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. State of the World's Forests (2012). Relatório técnico. Itália, 2012.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado da arte. Acta Scientiarum. Biological Sciences. Paraná: Maringá, Maringá, v. 30, n. 4, p. 379-390. Setembro de 2008.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012a). Mapa dos biomas brasileiros. Disponível em <<http://mapas.ibge.gov.br/interativos/sig-ibge-aplicativo>> Acesso em 20 de janeiro de 2013.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico de Uso da Terra. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010a). Indicadores de Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010b). IBGE Cidades. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: outubro de 2011.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2012b). Manual Técnico da Vegetação Brasileira. 2 ed. Rio de Janeiro, 2012.

BRASIL. Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso Do Sul (IMASUL, 2009). Downloads de Vetores e Imagens: Geoprocessamento. Disponível em: <<http://www.imasul.ms.gov.br/Geo/downloads.php>>. Acesso em: outubro de 2011.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2012). Projeto PRODES: Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. Disponível em <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2013.

JENSEN, J. R. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. USA: Prentice Hall, 2000.

KLINK, C.A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. Megadiversidade. Brasília, v.1, nº1, p. 147-155. Julho de 2005.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R.W. Remote Sensing and Image Interpretation. 4 ed. USA: Jhon Wiley & Sons, Inc., 2004. Cap. 6, p. 373 - 466.

MACHADO, R. B. et al. Estimativas de Perda da Área do Cerrado Brasileiro. Conservação Internacional: Relatório técnico não publicado. Brasília, 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação. Mato Grosso do Sul: Campo Grande, 2006. Cap22, p. 365 - 381.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2007a). Cerrado e pantanal: Áreas e Ações Prioritárias para Conservação da Biodiversidade. Brasília, 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2007b). Relatório Final PROBIO: Subprojeto Mapeamento dos Biomas Brasileiros. Campinas, 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Biomas brasileiros. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>>. Acesso em 07 de janeiro de 2013.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL. NUGEO: Núcleo de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Mato Grosso do Sul, 2010. Folder eletrônico. Disponível em: <http://www.mp.ms.gov.br/portal/pg_banners/folderNugeo.php>. Acesso em 23 de janeiro de 2013.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. National Aeronautics And Space Administration (NASA, 1998). Landsat Program: Summary and Chronology. Disponível em: <<http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/landsat.html>>. Acesso em: outubro de 2011.

PARANHOS FILHO, A. C. Análise geo-ambiental multitemporal: O estudo de caso da região de Coxim e bacia do Taquarizinho. Tese de doutoramento. Curso de Pós-Graduação em Geologia – UFPR 2000.

PARANHOS FILHO, A. C.; GAMARRA, R. M.; PAGOTTO, T. C. S.; FERREIRA, T. DA S.; TORRES, T. G.; MATOS FILHO, H. J. S. DE. Sensoriamento Remoto do Complexo Aporé-Sucuriú. In: Teresa Cristina Stocco Pagotto; Paulo Robson de Souza. (Org.). Biodiversidade do Complexo Aporé-Sucuriú - Subsídios à conservação e manejo do bioma Cerrado. 1ed. Campo Grande: Editora UFMS, 2006, v. , p. 31-44.

PARANHOS FILHO, A. C.; LASTORIA, G.; TORRES, T. G. Sensoriamento Remoto Ambiental Aplicado: Introdução as Geotecnologias. 1 ed. Mato Grosso do Sul, Campo Grande: Editora UFMS, 2008.

PAX-LENNEY, M.; WOODCOCK, C. E.; MACOMBER, S. A.; GOPAL, S.; SONG, C. Forest mapping with a generalized classifier and Landsat TM data. Remote Sensing of Environment n° 77. USA, 2001, p. 241– 250.

PCI GEOMATICS. Geomatica Focus/Geomática OrthoEngine. Versão 9.1 for Windows. Canadá, 2003.

RICHARDS, J. A.; JIA, X. Remote Sensing Digital Analysis. 4 ed. Australia: Springer, 2006. Cap. 2, p. 27 - 61.

ZALINERO, E. C. Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el Espacio. 3 ed. Espanha: Ariel Ciencia, 2008. Cap. 3 - 7, p. 87-475.

VILELA, T. A. et al. Monitoramento do desmatamento e seus impactos nas mudanças climáticas na bacia do Rio Turvo Sujo. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Rio Grande do Norte: Natal, p. 1597-1694. Abril de 2009.

WENG, K. Remote Sensing and GIS Integration: Theories, Methods, and Applications. USA: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2010. Cap. 1, p. 1-31.

WILLIAMS, M. Deforesting the earth: from prehistory to global crisis. USA: University of Chicago Press, 2002.

HONG KONG BAPTIST UNIVERSITY. Department of Geography. Digital Image Processing and Interpretation. China, 1999.