

Identificação e quantificação semiautomática de desmatamento por Sensoriamento

Remoto

Semiautomatic and quantification identification of deforestation by Remote Sensing

Identificación y cuantificación semiautomática de la deforestación por las Técnicas de

Teledetección

Recebido: 04/02/2020 | Revisado: 25/02/2020 | Aceito: 05/03/2020 | Publicado: 12/03/2020

Diego Lanza Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1257-117X>

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: diego@gmail.com

Teodorico Sobrinho Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3888-1654>

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: teodorico.alves@ufms.br

Ana Paula Garcia Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8942-0703>

Universidade Anhanguera Brasil

E-mail: apg.bio@gmail.com

Thais Gisele Torres Catalani

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2714-6088>

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: tgtorres@gmail.com

Fabício Bau Dalmas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7547-6642>

Universidade Garulhos, Brasil

E-mail: fdalmas@prof.ung.br

Antonio Conceição Paranhos Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9838-5337>

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

E-mail: antonio.paranhos@pq.cnpq.br

Resumo

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 difundir procedimentos simplificados de detecção de desmatamentos, geralmente realizados por fotointerpretação de imagens de satélite, este estudo apresenta, testa e valida a hipótese de que é possível realizar o monitoramento por operações matemáticas entre mapas temáticos de vegetação remanescente. Estudo de caso realizado em área de 3.865 Km², onde a variação da cobertura vegetal foi estudada utilizando imagens do satélite Landsat 5 TM e Sistemas de Informações Geográficas (GIS), mostrou que é possível realizar o procedimento proposto com resultados precisos e em tempo inferior ao necessário para a técnica de fotointerpretação convencional. O objetivo desta pesquisa foi avaliar quantitativamente a área coberta com vegetação do Município de São Gabriel do Oeste, para os anos de 1999 e 2009, através da elaboração de Cartas de Vegetação Remanescente, produto de técnicas de sensoriamento remoto no software PCI Geomatica Focus.

Palavras-chave: Supressão Vegetal; Monitoramento Ambiental; Sistemas de Informações Geográficas.

Abstract

Deforestation has followed population's growth and development for thousands of years. Climate, culture, technology and commerce have influence on the acceleration or deceleration of the pace of deforestation. It is estimated that approximately 50% of the Cerrado (savanna) biome area has already been cleared to make way for agricultural fields, pasturelands and urban areas. Aiming to disseminate the current simplified deforestation detection procedures, generally performed manually by photointerpretation of satellite images, this study presents, tests and validates the hypothesis that it is possible to perform the monitoring by mathematical operations between thematic maps of remnant vegetation. A case study performed in a 3,865Km² area, where the variation of vegetation cover was studied using satellite imagery Landsat 5 TM and Geographic Information Systems (GIS), showed that it is possible to carry out the proposed procedure with accurate results and in less time than the one needed for photointerpretation technique. The objective of this research was to quantitatively evaluate the area covered with vegetation in the municipality of São Gabriel do

Oeste, for the years 1999 and 2009, through the elaboration of Remaining Vegetation Maps, a product of remote sensing techniques in the PCI Geomatica Focus software.

Keywords: Deforestation; Environmental Monitoring; Geographic Information Systems.

Resumen

La deforestación ha acompañado el crecimiento y desarrollo de la población durante miles de años. El clima, la cultura, la tecnología y el comercio influyen en la aceleración o desaceleración de la tasa de deforestación. Se estima que aproximadamente el 50% del área del Bioma Cerrado ya ha sido deforestada para dar paso a áreas agrícolas, pastos y áreas urbanas. Con el fin de difundir procedimientos simplificados para detectar la deforestación, generalmente realizados por fotointerpretación de imágenes de satélite, este estudio presenta, prueba y valida la hipótesis de que es posible llevar a cabo el monitoreo mediante operaciones matemáticas entre mapas temáticos de la vegetación restante. El estudio de caso llevado a cabo en un área de 3,865 Km², donde se estudió la variación de la cubierta vegetal usando imágenes del satélite Landsat 5 TM y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), mostró que es posible llevar a cabo el procedimiento propuesto con resultados precisos y en menos tiempo que necesario para la técnica convencional de fotointerpretación. El objetivo de esta investigación fue evaluar cuantitativamente el área cubierta de vegetación en el municipio de São Gabriel do Oeste, para los años 1999 y 2009, a través de la elaboración de Mapas de Vegetación Restante, un producto de técnicas de teledetección en el software PCI Geomatica Focus.

Palabras clave: Supresión de Vegetales; Monitoreo Ambiental; Sistemas de Información Geográfica.

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, que podem desencadear implicações sobre o regime de queimadas, hidrologia, ciclagem e os estoques de carbono e, possivelmente, sobre todo o clima (Klink & Machado, 2005; Vilela et al., 2009).

As florestas sempre desempenharam importante papel na história, 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

Em relatório apresentado em 2012 sob o título *State of the world's forests*, a FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) destacou 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 (FAO, 2012).

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 destes subprojetos foi estruturado em oficinas de trabalho que tiveram como objetivo avaliar a riqueza biológica daqueles biomas e os condicionantes socioeconômicos das regiões para, então, apresentar uma estratégia global de conservação da sua biodiversidade, indicando áreas prioritárias para conservação e recomendações (MMA, 2007a).

Contudo as florestas brasileiras ainda sofrem com o desmatamento. Resultado de estudo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2010, apresenta que o Cerrado teve sua cobertura vegetal original reduzida em 968.000 km² até o ano de 2008, estando preservados aproximadamente 52% de sua área total. Assim como o Cerrado, outros biomas vêm sendo ocupados, como ocorre com o Pantanal e a Mata Atlântica, que tiveram 12% e 92%, respectivamente, de suas áreas originais desmatadas (MMA, 2007b; IBGE, 2010a).

O objetivo desta pesquisa foi avaliar quantitativamente a área coberta com vegetação do Município de São Gabriel do Oeste, para os anos de 1999 e 2009, através da elaboração de Cartas de Vegetação Remanescente, produto de técnicas de sensoriamento remoto no software PCI Geomatica Focus (PCI, 2003).

1.1. Desmatamento

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 (INPE, 2012), cujos resultados apontam uma redução de 83% de média anual de desmatamento entre 2004 a 2012, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1. Desmatamento da Amazônia entre 2002 e 2012.

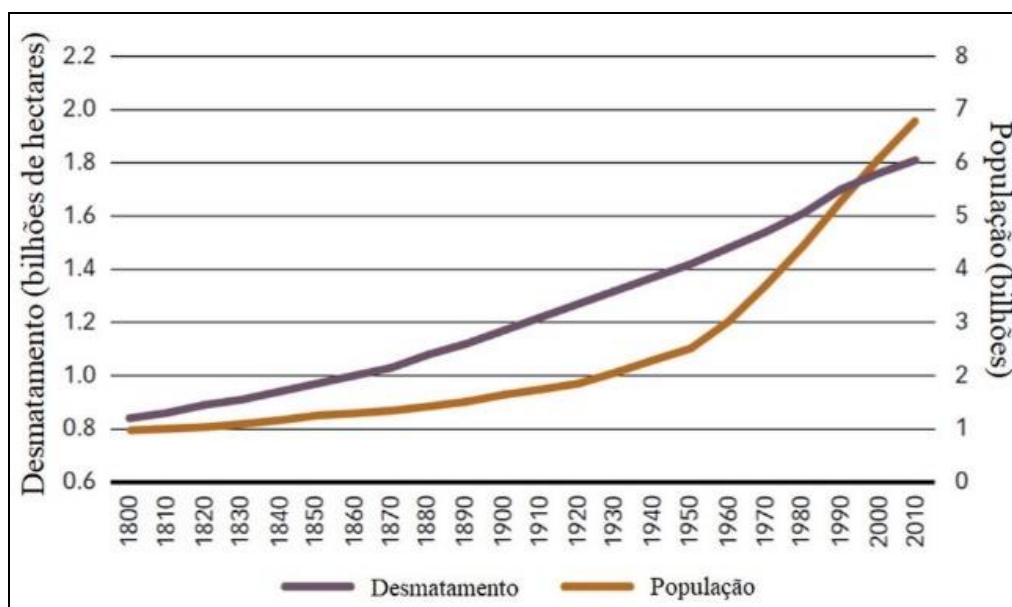


Fonte: elaborado pelos próprios autores, baseado em INPE (2012).

Em 2011, a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2011) apresentou estatísticas sobre a produção e comércio de diversos produtos florestais, onde o Brasil é identificado 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, 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.

Segundo Williams (2002), o desmatamento é uma das mudanças mais generalizadas e importantes feitas pelo homem na superfície da Terra e tem como causadores as demandas causadas pelo crescimento populacional e a necessidade de produzir alimentos, fibras e combustível. FAO (2012) afirma que a trajetória do desmatamento global segue a mesma tendência da taxa de crescimento da população humana, conforme o que é apresentado na Figura 2, na qual é possível observar que realmente as curvas de crescimento da população mundial e do desmatamento também global seguem uma mesma tendência, com um único porém que é um crescimento mais acentuado da população entre 1960 e 2010, enquanto o desmatamento teve um crescimento homogêneo.

Figura 2. Crescimento populacional e desmatamento cumulativo entre 1800 e 2010.



Fonte: elaborado pelos próprios autores, baseado em FAO (2012).

1.1.1. Monitoramento do desmatamento

A Lei Federal Nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 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 estadual ou municipal.

Ainda neste contexto, o Decreto Nº 99.274, de 6 de junho de 1990 (BRASIL, 1990) que regulamenta a Lei Federal Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 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.

Apesar de ser também tarefa de competência dos órgãos ambientais do SISNAMA, no Estado do 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 Áreas de Preservação Permanente (APP) e áreas de Reserva Legal (RL) e a ocorrência de desmatamentos ilegais por meio da comparação visual de imagens de satélite (MPMS, 2010). 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 mais de 300 relatórios indicando o não cumprimento da legislação referente às Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL) 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, 2010). Este montante de 300 relatórios demonstra o quanto a Lei 12.651 de 2012, Novo Código Florestal, não é respeitada.

1.2. Sensoriamento remoto

As imagens obtidas por sensores instalados em satélites 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.

De acordo com Salinero (2008), a partir de imagens de sensores remotos pode-se gerar diferentes tipos de produtos, para os mais diversos usos, entre os quais está o mapeamento temático que consiste em agrupar 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, o que é equivalente em finalidade à definição de mapeamento temático, podendo, assim, ser considerada uma das formas de interpretação digital de imagens de satélite.

Há duas categorias de classificação: supervisionada e não supervisionada. 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 (JENSEN, 2009).

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 apresente (IBGE, 2006). Buscando simplificar e otimizar os procedimentos atuais de monitoramento utilizados pelos órgãos fiscalizadores, o presente artigo testou a hipótese de que é possível fiscalizar a variação da cobertura vegetal de determinada área utilizando operações matemáticas, entre mapas temáticos de cobertura do solo, propondo ainda uma técnica para identificação e quantificação de áreas de desmatamento.

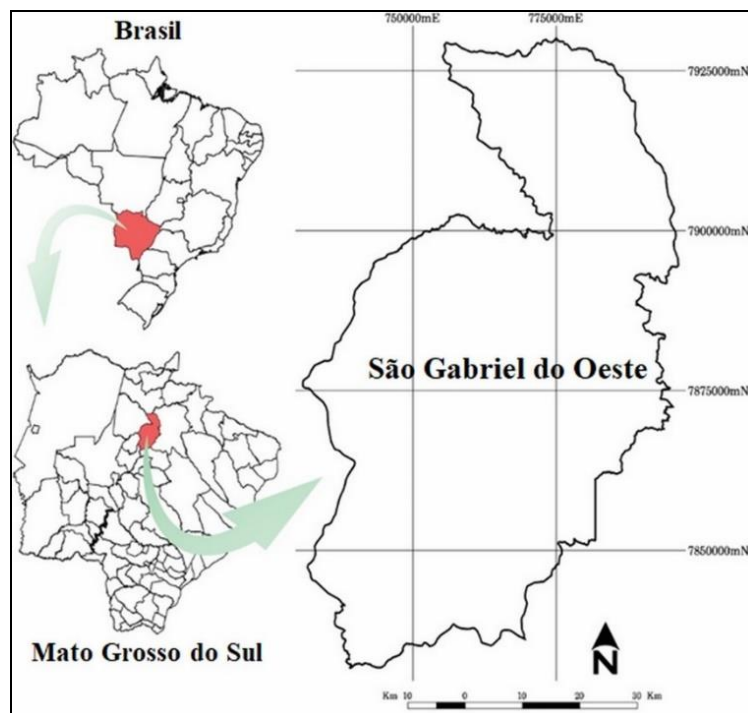
2. Metodologia

A metodologia aplicada na presente pesquisa foi o estudo de caso com abordagem qualitativa (Ludke e Andre, 2013 apud Pereira, 2018), realizada em laboratório de geoprocessamento, onde foram elaborados diferentes produtos cartográficos, de maneira que os métodos executados foram controlados, conforme classificação de Pereira (2018).

2.1. Área de estudo

A área escolhida para o estudo foi o Município de São Gabriel do Oeste, localizado no Estado do Mato Grosso do Sul. O município (Figura 3) possui área de 3.865 Km² 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).

Figura 3. Localização geográfica da área de estudo.



Fonte: elaborada pelos próprios autores.

1.1. Obtenção de informações digitais

As informações digitais utilizadas foram imagens de satélite e arquivos vetoriais, conforme detalhadas no Quadro 1.

Quadro 1. 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+).

Fonte: elaborada pelos próprios autores.

2.2. Pré-processamento das imagens

Os dados gravados em imagens, através de sensores em satélites, podem apresentar erros nos valores atribuídos aos pixels ou na geometria, que 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). As imagens foram submetidas, então, ao processo de correção geométrica, a fim de corrigir tais erros e criar uma nova imagem, orientada por grade de coordenadas geográficas ao invés de coordenadas de arquivos de imagem.

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. Dessa forma, para correção da imagem de TM 1999 utilizou-se as coordenadas de outra imagem, do sensor ETM+, datada de 2001 e obtida no sítio do The Global Land Cover Facility (GLCF), já corrigida geometricamente.

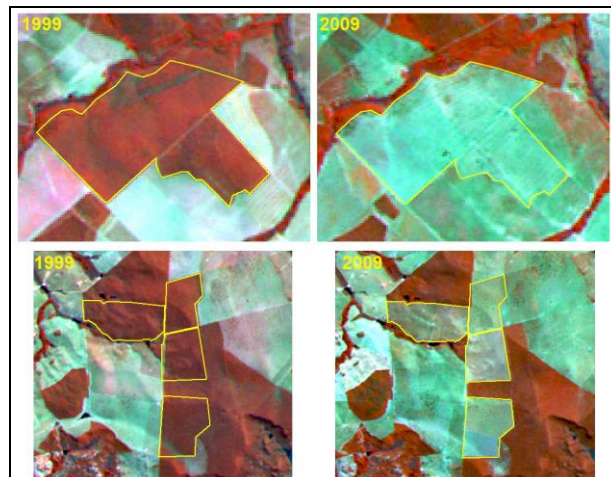
O procedimento se resumiu em encontrar pontos correspondentes nas duas imagens e, utilizando o software PCI Geomática OrthoEngine (PCI, 2003), transferir as coordenadas desses pontos de uma para a outra por meio de algoritmos, os quais fazem os devidos ajustes geométricos. Esses pontos correspondentes são chamados Ground Control Points (GCP) 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 TM 1999, esta foi utilizada como referência para correção da TM 2009, buscando minimizar o erro residual entre elas, buscando melhor resultado em sua posterior comparação. As imagens foram utilizadas em projeção UTM, fuso 21 e zona K, e com datum WGS 84.

2.3. Amostragem de áreas de controle

As imagens TM 1999 e TM 2009 foram comparadas por fotointerpretação para identificação dos desmatamentos ocorridos na área de estudo entre 1999 e 2009. Essas áreas foram identificadas para serem utilizadas posteriormente como meio de avaliar os resultados da técnica testada, sendo aplicadas como “áreas de controle”. Para tanto as imagens foram comparadas visualmente no software PCI Geomatica Focus (PCI, 2003), e os desmatamentos definidos manualmente em vetores. 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. (2006), por facilitar a identificação e diferenciação de vegetação, conforme é apresentado na Figura 4.

Figura 4. Exemplos de desmatamentos identificados por fotointerpretação.

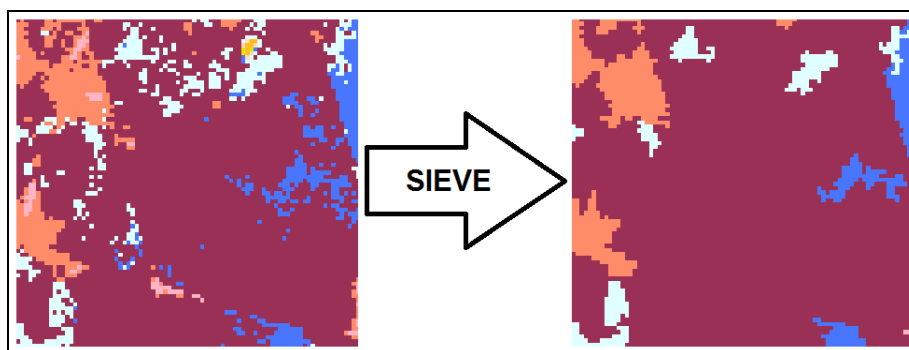


Fonte: elaborada pelos próprios autores.

2.4. Cartas de vegetação remanescente de 1999 e 2009

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”, que representa os demais tipos de cobertura do solo. A Carta 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, gerando, portanto, resultado mais preciso. O resultado obtido pela classificação supervisionada foi submetido ao algoritmo SIEVE (PCI, 2003), a fim de remover áreas pequenas, neste caso menores que quatro pixels, classificadas em divergência com polígonos maiores que estejam ao seu redor (Figura 5).

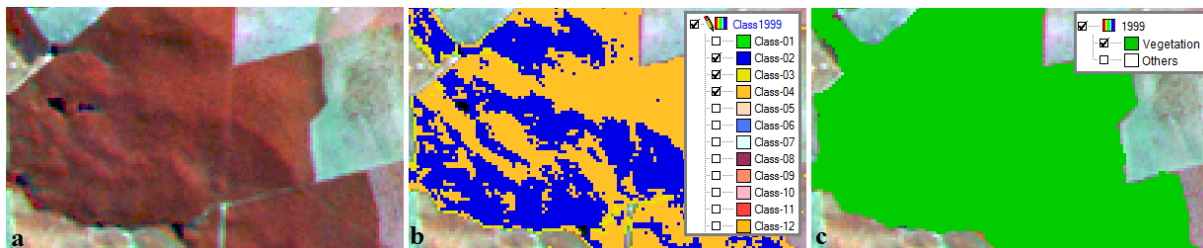
Figura 5. Exemplo da aplicação do filtro SIEVE (PCI, 2003).



Fonte: elaborada pelos próprios autores.

O resultado do filtro foi ainda editado na ferramenta Aggregation (PCI, 2003), que permitiu agrupar as classes resultantes em grupos maiores. Na Figura 6 é possível observar os locais onde a imagem original (a) é classificada (b), e suas classes são divididas em dois tipos de cobertura: “Vegetação” e “Outros” (c).

Figura 6. Exemplo da aplicação da ferramenta Aggregation.



Fonte: elaborada pelos próprios autores.

A aplicação do algoritmo 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 com 04 pixels corresponde a um quadrado de 60m de aresta, a escala de trabalho calculada com base no erro de graficismo é de 1:300.000.

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

2.5. Identificação automática do desmatamento ocorrido entre 1999 e 2009

O desmatamento ocorrido no período estudado foi identificado automaticamente por operação matemática entre as duas Cartas de Vegetação Remanescente. Em cada Carta incluiu-se um campo de atributo numérico correspondente à classe de cobertura do solo, tendo o valor “1” para vegetação e “0” para outros tipos de cobertura. Posteriormente as Cartas foram comparadas na ferramenta Raster Calculator (PCI, 2003), que relaciona os pixels de

mesma coordenada segundo a operação matemática definida pelo operador, gerando novo mapa temático com o resultado desse cálculo, de forma similar ao exemplificado na Figura 7.

Figura 7. Ilustração exemplificativa da aplicação da ferramenta Raster Calculator.

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

Fonte: PCI (2003).

Como nas Cartas elaboradas a cobertura vegetal remanescente possui valor definido “1” e as demais coberturas “0”, ao calcular a diferença entre elas, os resultados possíveis estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados possíveis para a diferença entre os mapas temáticos.

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

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

Fonte: elaborada pelos próprios autores.

Observando o conteúdo da Tabela 1 pode-se notar a necessidade de maior precisão da Carta que determina o início do período de desmatamento, o que justifica a aplicação da classificação supervisionada na imagem TM 1999 e não supervisionada na TM 2009.

3. Resultados e discussão

3.1. Pré-processamento

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

3.2. Amostragem de áreas de controle

A principal dificuldade encontrada nesta etapa foi a diferenciação de áreas desmatadas daquelas que tiveram outros tipos de alteração, como variação de umidade, que também altera a forma como o pixel é representado na imagem. Foram identificados 348 polígonos, totalizando 10.816 hectares de área desmatada no período, 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).

Na região norte da área de estudo se encontra-se a maior parte das reservas de vegetação natural e foi nela que aconteceram os desmates mais significativos em termos de área. Na Tabela 2 são apresentadas as áreas de controle, onde é possível verificar que o grupo com maior representatividade é o de áreas menores que 5 hectares.

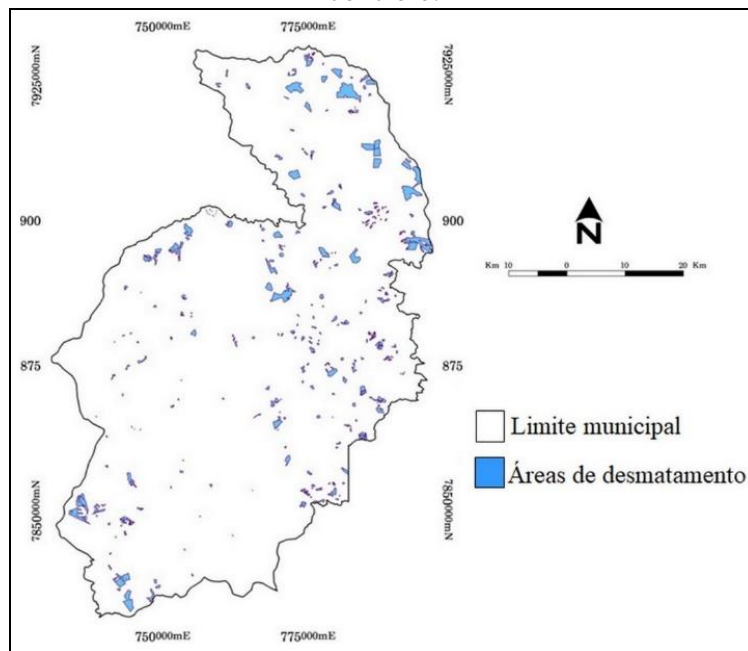
Tabela 2. Características dos polígonos identificados no levantamento das áreas de controle.

POLÍGONOS	QUANTIDADE	(%)	ÁREA TOTAL	(%)
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%	943,1	9%
Maiores que 100 hectares	32	9%	6.832,58	63%
TOTAL	348	100%	10.816,20	100%

Fonte: elaborada pelos próprios autores.

A distribuição espacial dos polígonos de desmatamento apresentada na Figura 8, indica que a maior parte se concentra na região norte, onde a presença da agricultura já não é tão notada. 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.

Figura 8. Desmatamentos identificados por fotointerpretação para composição das áreas de controle.

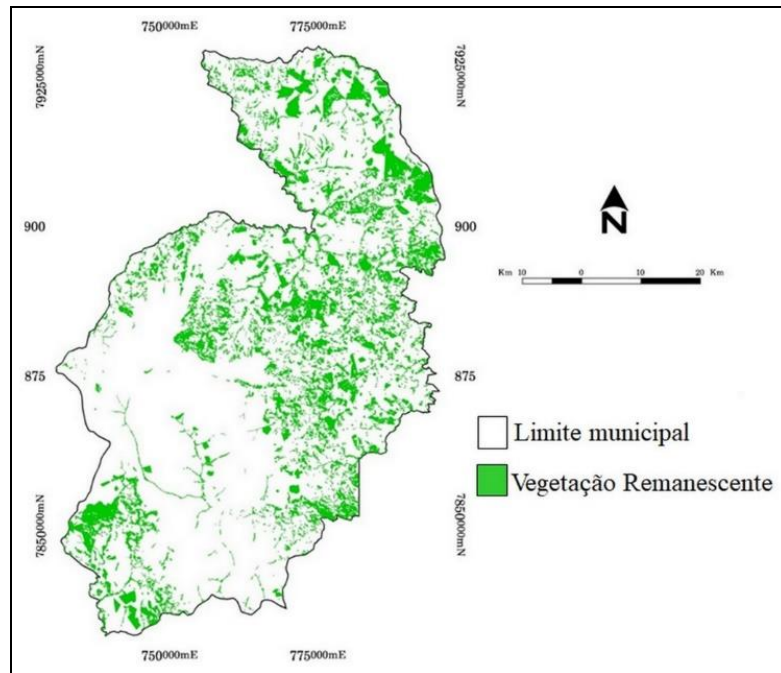


Fonte: elaborada pelos próprios autores.

3.3. Carta de vegetação remanescente de 1999

A classificação supervisionada da imagem TM de 1999 foi elaborada com 55 classes de uso do solo. 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). A Figura 9 apresenta a carta ou mapa de São Gabriel do Oeste, onde é possível visualizar 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 maior exploração da agricultura.

Figura 9. Carta de vegetação remanescente de 1999.

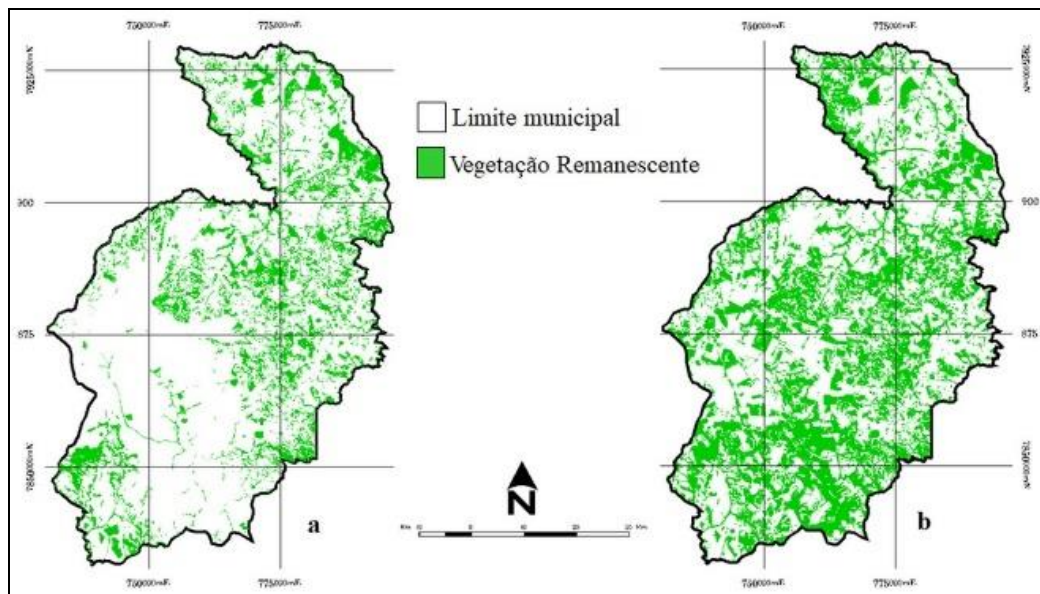


Fonte: elaborada pelos próprios autores.

3.4. Vegetação remanescente de 2009

A classificação não supervisionada da imagem TM de 2009 foi realizada com 16 classes de cobertura do solo, e algumas classes geradas agruparam tipos de uso do solo diferentes devido à semelhança entre os valores numéricos dos pixels. A Carta de 2009 representa, portanto, além da vegetação, áreas de agricultura classificadas como tal. Como resultado do agrupamento das classes, aproximadamente 159.600 hectares foram classificados como vegetação, valor superior ao dobro do encontrado para o ano de 1999. Na Figura 10 é possível observar a diferença entre os resultados da classificação supervisionada para os anos de 1999 e 2009.

Figura 10. Cartas de vegetação remanescente de 1999 (a) e 2009 (b).



Fonte: elaborada pelos próprios autores.

3.5. Desmatamento identificado automaticamente

A comparação entre as Cartas de Vegetação Remanescente resultou na identificação de 10.768,30ha de área desmatada, equivalente a 2,8% da área de estudo, valor muito próximo ao encontrado na amostragem de áreas de controle, que foi de 10.816,2ha. Na Tabela 3 são apresentados os resultados da comparação entre os polígonos identificados automaticamente e as áreas de controle.

Tabela 3. Características dos polígonos identificados pela comparação entre as cartas.

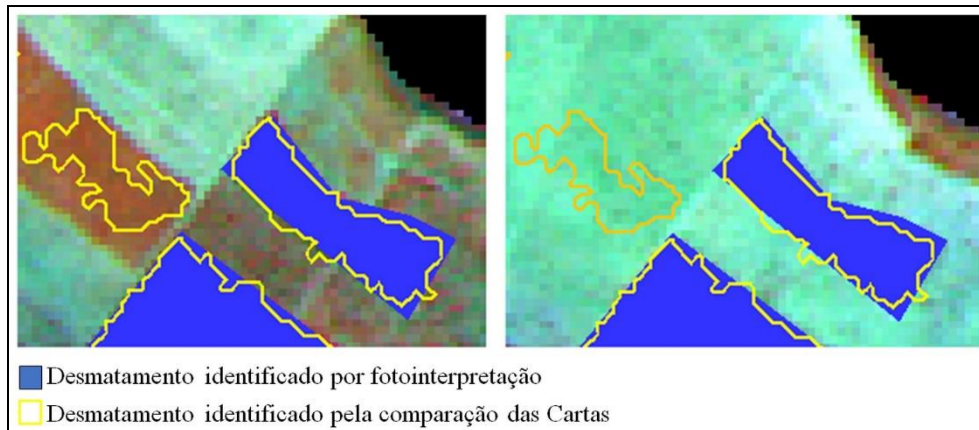
POLÍGONOS	ÁREAS DE CONTROLE		TÉCNICA APLICADA	
	QUANTIDADE	ÁREA TOTAL	QUANTIDADE	ÁREA TOTAL
Menores que 5 hectares	139	306,13	451	1.282,31
Entre 5 e 10 hectares	65	465,29	109	740,97
Entre 10 e 20 hectares	43	627,23	69	968,81
Entre 20 e 30 hectares	32	749,35	26	646,7
Entre 30 e 40 hectares	17	579,93	13	452,1
Entre 40 e 50 hectares	7	312,59	6	261,55
Entre 50 e 100 hectares	13	943,1	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

Fonte: elaborada pelos próprios autores.

Verifica-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. A diferença entre as áreas totais dos polígonos maiores que 100 hectares se deve, em

partes, à ocorrência de casos similares ao apresentado na Figura 11, 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 identificação de desmatamento.

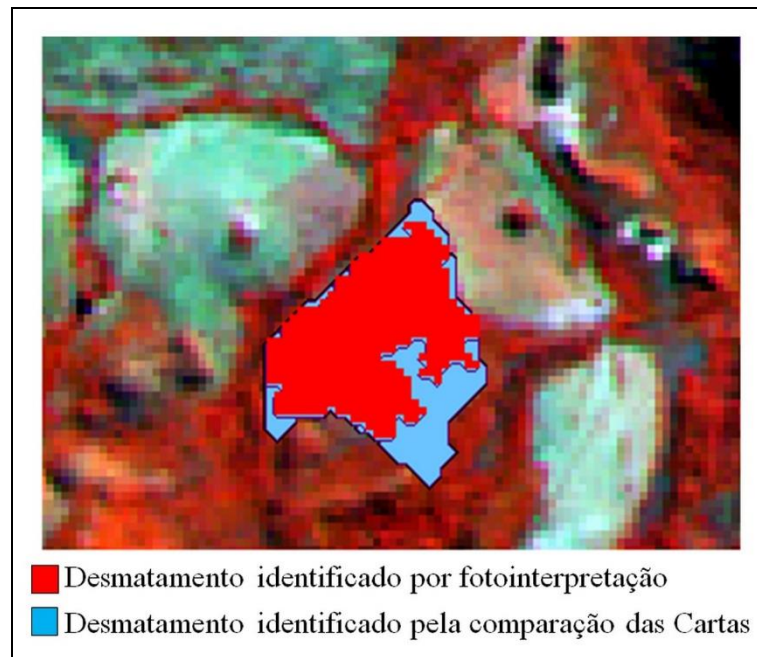
Figura 11. Desmatamentos detectados pela comparação entre as cartas.



Fonte: elaborada pelos próprios autores.

Outro motivo para a diferença nas áreas totais das técnicas aplicadas são as diferenças nas formas dos polígonos, que na maioria das vezes não seguem exatamente a mesma configuração, conforme apresentado Figura 12. 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, interferindo tanto na comparação do número de polígonos identificados quanto de sua área total.

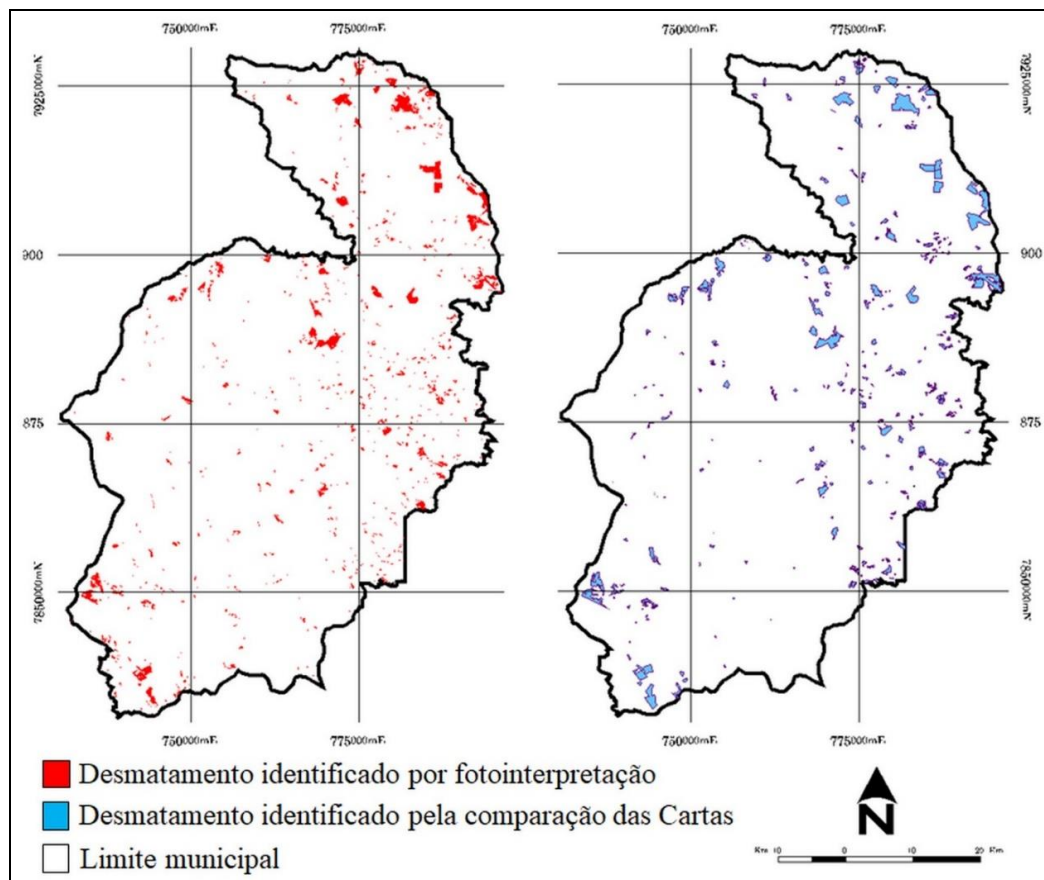
Figura 12. Diferenças entre os vetores obtidos automaticamente e manualmente.



Fonte: elaborada pelos próprios autores.

Pela observação da Figura 13 é possível constatar a correlação espacial entre as áreas identificadas e as áreas de controle. A definição automática dos polígonos de desmatamento identificou 316 das 348 áreas de controle, apresentando, então, 91% de correspondência. 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 12.

Figura 13. Localização dos polígonos identificados pela metodologia testada (esquerda) e das áreas de controle (direita).



Fonte: elaborada pelos próprios autores.

4. Considerações finais

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. 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.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao PGTA/UFMS (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais), da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Agradecemos ainda a CAPES pelo acesso ao Portal de Periódicos.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa de produtividade em pesquisa de A. C. Paranhos Filho (CNPq Processo 305013/2018-1).

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS/MEC – Brasil.”

5. Referências

Bernardes, T., Alves, H. M. R., Vieira, T. G. C. & Andrade, H. (2007). 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 (1981) 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, Acesso em janeiro de 2020. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm>.

Brasil (1990). 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. Acesso em janeiro de 2020. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/Antigos/D99274.htm>.

Brasil (2012). Lei N° 12.651, de 25 de maio de 2012: Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 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 nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166- 67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília. Acesso em janeiro de 2020. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>.

Food and Agriculture Organization of the United Nations . (2011). Global Forest Products Facts and Figures. Relatório técnico.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2012). State of the World's Forests. Relatório técnico.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – (2006). Manual Técnico de Uso da Terra. 2 ed. Rio de Janeiro.

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

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

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

Jensen, J. R. (2009). Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução da 2ª edição por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphanyo (coordenador); Antonio R. Formaggio; Athos R. Santos; Bernardo F. T. Rudorff; Cláudia M. Almeida; Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Parêntese, p. 672, 2009.

Klink, C.A.; Machado, R. B. (2005). A conservação do Cerrado brasileiro. Megadiversidade. Brasília, 1(1), 147-155.

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

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

Brasil. (2009). Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. Relatório técnico de monitoramento do desmatamento no bioma Cerrado, 2002 a 2008: dados revisados. Brasília: MMA/IBAMA/CID. 69 p.

Brasil. (2010). Ministério Público do Estado de Mato Grosso do Sul - NUGEO: Núcleo de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Mato Grosso do Sul. Folder eletrônico. Acesso em janeiro de 2013. Disponível em: <http://www.mp.ms.gov.br/portal/pg_banners/folderNugeo.php>.

Paranhos Filho, A. C. (2000). 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. Universidade Federal do Paraná.

Paranhos Filho, A. C., Gamarra, R. M., Pagotto, T. C. S., Ferreira, T. da S., Torres, T. G. & Matos Filho, H. J. S. de. (2006). 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 UFMS6, pp. 31-44.

PCI Geomatics. (2003). Geomatica Focus/Geomática OrthoEngine. Versão 9.1 for Windows. Canadá.

Pereira, A.S. et al. (2018). Metodologia do trabalho científico. [eBook]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE UFMS. Available at:

https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1. Accessed on: Feb. 23, 2020.

Richards, J. A.; Jia, X. (2006). Remote Sensing Digital Analysis. 4 ed. Australia: Springer, (2), 27 - 61.

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

Vilela, T. A., Gottardo, T. V., Liu, W. T. H. & Vieira, C. A. O. (2009). Monitoramento do desmatamento e seus impactos nas mudanças climáticas na bacia do Rio Turvo Sujo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p. 1597-1604. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7.

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

Zhou, Q. (1999). Digital Image Processing and Interpretation. Hong Kong Baptist University. Department of Geography. China.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Diego Lanza Lima – 40%
Teodorico Sobrinho Alves – 10%
Ana Paula Garcia Oliveira – 10%
Thais Gisele Torres Catalani – 10%
Fabrício Bau Dalmas – 10%
Antonio Conceição Paranhos Filho – 20%