



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS



ADRIANO SILVA DE FARIA

**DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE DESMATAMENTOS NO BIOMA CERRADO:  
DESAFIOS PARA O MONITORAMENTO SISTEMÁTICO**

GOIÂNIA

2018

---

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR  
VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES  
NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

**1. Identificação do material bibliográfico:**       **Dissertação**       **Tese**

**2. Identificação da Tese ou Dissertação:**

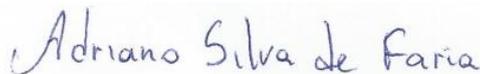
Nome completo do autor: Adriano Silva de Faria

Título do trabalho: Detecção automática de desmatamentos no bioma cerrado: desafios para o monitoramento sistemático

**3. Informações de acesso ao documento:**

Concorda com a liberação total do documento  **SIM**       **NÃO**

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.



Assinatura do autor

Ciente e de acordo:



Assinatura do orientador

Data: 09 / 04 / 2018

ADRIANO SILVA DE FARIA

**DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE DESMATAMENTOS NO BIOMA CERRADO:  
DESAFIOS PARA O MONITORAMENTO SISTEMÁTICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, da Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade Federal de Goiás como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr.

Coorientador: Dr. Fernando Moreira de Araújo.

GOIÂNIA

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Faria, Adriano Silva de  
DETECÇÃO AUTOMÁTICA DE DESMATAMENTOS NO BIOMA  
CERRADO: [manuscrito] : DESAFIOS PARA O MONITORAMENTO  
SISTEMÁTICO / Adriano Silva de Faria. - 2018.  
xcv, 95 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr.; co-orientador  
Dr. Fernando Moreira de Araújo.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Pró  
reitoria de Pós-graduação (PRPG), Ciências Ambientais, Goiânia, 2018.  
Bibliografia. Anexos. Apêndice.  
Inclui siglas, mapas, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de  
tabelas.

1. Cerrado. 2. Desmatamentos. 3. SIAD. 4. Séries temporais. I.  
Ferreira Jr., Laerte Guimarães, orient. II. Título.

CDU 502/504



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

### ATA DA DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO Nº 003/2018

Aos treze dias do mês de março do ano de dois mil e dezoito, às 14:00, reuniu-se no Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento - Lapig/UFG, a Banca Examinadora composta pelos: Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr. – CIAMB, o Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira – CIAMB, e a Prof.ª Dr.ª Elaine Barbosa da Silva – IESA/UFG, para, sob a presidência do primeiro, proceder a defesa da Dissertação intitulada: “**Detecção automática de desmatamentos no Bioma Cerrado: desafios para o monitoramento sistemático**”, de autoria de Adriano Silva de Faria, discente de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (CIAMB), área de concentração em Estrutura e Dinâmica Ambiental. Foi realizada a avaliação oral no sistema de apresentação e defesa de dissertação de autoria do discente. Terminada a avaliação oral, a Banca Examinadora reuniu-se emitindo os seguintes pareceres mediante as justificativas e sugestões abaixo:

Membro da Banca	Parecer (Aprovado/Reprovado)	Assinatura
Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr.	Aprovado	<i>Laerte Guimarães</i>
Dr. Nilson Clementino Ferreira	Aprovado	<i>Nilson</i>
Dr.ª Elaine Barbosa da Silva	Aprovado	<i>Elaine</i>

#### JUSTIFICATIVAS e SUGESTÕES:

*sem comentários conforme sugestões da banca*

Após a avaliação, o referido discente foi considerado Aprovado na defesa de dissertação. Às 16:10 horas, o Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr., Presidente da Banca Examinadora, deu por encerrada a sessão e, para constar, lavrou-se a presente Ata.

*Nilson*  
Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira  
Membro Titular

*Elaine*  
Prof.ª Dr.ª Elaine Barbosa da Silva  
Membro Titular

*Laerte Guimarães*  
Prof. Dr. Laerte Guimarães Ferreira Jr.  
Presidente

## **Agradecimentos**

Ao Prof. Laerte Guimarães, pela orientação na dissertação, na vida profissional e pessoal.

Ao Dr. Fernando Moreira de Araújo, pela coorientação desenvolvida nesta pesquisa.

À minha esposa Kelly e filha Júlia, pelo amor, apoio e compreensão nos momentos ausentes dedicados a realização desta pesquisa.

Aos familiares que acompanharam e repassaram valores na vida pessoal, profissional e acadêmica.

Aos colegas do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – Lapig, pelo empenho e auxílio para que esta pesquisa obtivesse sucesso.

Aos professores e coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais pelo conhecimento adquirido e por terem ajudado a sanar as dificuldades encontradas durante o processo de mestrado.

À Universidade Federal de Goiás por proporcionar ambiente saudável e proveitoso para aquisição de conhecimento.

À *Gordon and Betty Moore Foundation*, Iniciativa MapBiomas e a *The Nature Conservancy* - TNC, pelo apoio nas pesquisas desenvolvidas no Lapig, nas quais tenho a satisfação em participar.

## **Trajetória Acadêmica-Profissional**

No período entre 2009 a 2011 cursei Gestão Ambiental pela Faculdade Senac Goiás, em Goiânia. No segundo semestre de 2010 fui monitor da disciplina de Geoprocessamento I e no primeiro semestre de 2011 monitor na disciplina de Geoprocessamento II (ambas pela instituição no qual estudei).

Em agosto de 2010 passei a integrar o grupo de pesquisas do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG), vinculado ao Instituto de Estudos Socioambientais (IESA) da Universidade Federal de Goiás (UFG), no qual atuo até os dias atuais.

Em 2013 fui bolsista CNPq-FINEP no projeto “Uso sustentável e conservação do bioma Cerrado pela ocupação racional dos solos, recuperação de áreas degradadas e inserção de agrocombustíveis”. Em 2014 fui consultor junto ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), no âmbito do projeto “Políticas para o Cerrado e Monitoramento do Bioma - iniciativa Cerrado sustentável – TerraClass Cerrado”. Entre 2015 e 2016 participei do projeto *Spatial metrics and baselines of degradation patterns and provision of ecosystem services by pastures in Brazil* apoiado pela *Gordon and Betty Moore Foundation*. Desde o início de 2017 participo do projeto “MapBiomas: iniciativa de mapeamento anual de uso e cobertura do solo no Brasil”, apoiado pela *The Nature Conservancy* (TNC). Todas estas participações se deram por estar vinculado ao LAPIG.

Em 2015, cursei as disciplinas “Estatística Aplicada as Ciências Ambientais”, “Avaliação de sistemas pedológicos e sua aplicação no Cerrado” e “Tópicos especiais em Sensoriamento Remoto: Física ambiental” como aluno especial em programas de Pós-Graduação da Universidade Federal de Goiás.

Em 2016, iniciei o processo de mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (CIAMB) vinculada na Pró-Reitoria de Pós-Graduação (PRPG) da Universidade Federal de Goiás (UFG), área de concentração: Estrutura e Dinâmica ambiental.

## **Resumo**

O bioma Cerrado possui cerca de 30% ou 12.070 das espécies de flora catalogadas no Brasil. A ocupação acelerada e a perda da biodiversidade fizeram com que o Cerrado se tornasse um dos 34 hotspots do mundo. Com alto índice de endemismo, cerca de 30% (645) das espécies que compõem a lista com algum nível de ameaça de extinção no Brasil se localizam no Cerrado. O bioma ainda conta com uma sazonalidade climática marcante, com período seco e chuvoso. A substituição da vegetação do Cerrado para usos antrópicos se intensificou a partir da década de 1970, basicamente para usos agropecuários. Estudos sobre mudanças climáticas apontam o desmatamento como uma das causas de emissões de gases de efeito estufa (GEE), motivando o governo a criar programas de monitoramento da cobertura e uso da terra e remoção da vegetação natural. Mapeamentos apontam redução da vegetação do Cerrado em 6% no intervalo de 11 anos (PROBIO em 2002 com 60,5% e TerraClass Cerrado em 2013 com 54,5%). Desta maneira, faz-se necessário o monitoramento anual, subsidiando as ações de conservação para o bioma. Para compreender a detecção na conversão do Cerrado e obter informações em curto espaço de tempo, optou-se em utilizar o Sistema Integrado de Alertas de Desmatamento (SIAD), por ser o único monitoramento anual do bioma e possuir baixo custo em relação aos demais existentes. O SIAD foi desenvolvido no Lapig e disponibiliza taxas de conversão desde 2003. Desta forma, buscou-se avaliar o potencial e as limitações de detecção de desmatamentos no Cerrado utilizando imagens de satélite de resolução moderada e análises de séries temporais tendo por referência o SIAD. Avaliou-se a eficiência do mapa de referência (i.e. PROBIO e TerraClass) em relação a quantidade de falsos desmatamentos gerados. Buscou-se entender a variação na quantidade de alertas gerados em função da sazonalidade da precipitação a partir das coleções 5 e 6 do MODIS (produto MOD13Q1) e analisar o comportamento sazonal dos alertas de desmatamentos de 2015-2016 utilizando o algoritmo BFAST. Assim, o SIAD gerou 101.902 alertas de desmatamentos para 2015-2016 utilizando o mapeamento TerraClass Cerrado e coleção 6 MODIS, dos quais 3% (3.185) foram classificados como desmatamento pelo método de inspeção visual. Verificou-se que o mapa de referência TerraClass Cerrado gera menos falsos desmatamentos que o PROBIO, e que, a coleção 6 apresenta maior sensibilidade de mudança na vegetação em relação a coleção 5, contribuindo para o aumento de falsos desmatamentos. A sazonalidade da precipitação possui relação direta na quantidade de alertas gerados. Já o algoritmo BFAST se mostrou eficaz na filtragem dos falsos positivos, não apresentando quebras em 16% dos alertas gerados para 2015-2016, com 99% de concordância com a inspeção visual.

**Palavras-chave:** Cerrado; Desmatamento; SIAD; Séries temporais.

## **Abstract**

The Cerrado biome has about 30% or 12,070 of the flora species cataloged in Brazil. Accelerated occupation and loss of biodiversity have made the Cerrado one of the 34 hotspots in the world. With a high index of endemism, about 30% (645) of the species that make up the list with some level of threat of extinction in Brazil are located in the Cerrado. The biome still has a remarkable climatic seasonality, with dry and rainy season. The replacement of Cerrado vegetation for anthropic uses intensified in the 1970s, basically for agricultural uses. Studies on climate change point to deforestation as one of the causes of greenhouse gas (GHG) emissions, motivating the government to create programs to monitor the coverage and use of land and removal of natural vegetation. Mappings indicate a reduction of vegetation of the Cerrado in 6% in the 11-year interval (PROBIO in 2002 with 60.5% and Cerrado TerraClass in 2013 with 54.5%). In this way, it makes necessary the annual monitoring, financing the actions of conservation for the biome. In order to understand the detection in the Cerrado conversion and to obtain information in a short time, it was decided to use the Integrated System of Deforestation Alerts (ISDA), since it is the only annual monitoring of the biome and has a low cost in relation to the others existing. SIAD was developed in Lapig and has provided conversion rates since 2003. In this way, the objective was to evaluate the potential and the limitations of detection of deforestation in the Cerrado using satellite images of moderate resolution and analysis of time series with reference to the SIAD. The efficiency of the reference map (i.e. PROBIO and TerraClass) was evaluated in relation to the amount of false deforestation generated. We attempted to understand the variation in the number of alerts generated as a function of rainfall seasonality from MODIS collections 5 and 6 (product MOD13Q1) and to analyze the seasonal behavior of deforestation alerts from 2015-2016 using the BFAST algorithm. Thus, the SIAD generated 101,902 deforestation alerts for 2015-2016 using the Cerrado TerraClass mapping and MODIS collection 6, of which 3% (3,185) were classified as deforestation by the visual inspection method. It was verified that the Cerrado TerraClass reference map generates less false deforestation than the PROBIO, and that, the collection 6 presents greater sensitivity of change in the vegetation in relation to the collection 5, contributing to the increase of false deforestation. The seasonality of precipitation is directly related to the number of alerts generated. However, the BFAST algorithm was effective in filtering the false positives, not presenting breaks in 16% of the alerts generated for 2015-2016, with 99% agreement with the visual inspection.

**Key words:** Cerrado; Deforestation; SIAD; Time series.

## Lista de figuras

Figura 1	Mapa de Uso da terra e Cobertura Natural Remanescente para o território nacional realizado através do projeto PROBIO (2002).....	24
Figura 2	Vegetação natural remanescente do mapeamento PROBIO, ano base 2002.....	25
Figura 3	Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal remanescente para a Amazônia Legal de acordo com o projeto TerraClass Amazônia para 2014.....	27
Figura 4	Mapeamento de Uso e Cobertura da terra para o bioma Cerrado denominado TerraClass Cerrado (2013).....	28
Figura 5	Mapa de Mudanças na Cobertura e Uso da Terra no Brasil de 2014.....	30
Figura 6	Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal remanescente para o território brasileiro de acordo com iniciativa MapBiomias para os anos 2000, 2005, 2010 e 2016.....	33
Figura 7	Mapeamento de Uso e Cobertura Natural Vegetal da Bacia alto Paraguai, porção brasileira, para 2014, realizado através de parceria entre SOS Pantanal e WWF.....	34
Figura 8	Mapeamento da cobertura vegetal natural do bioma Mata atlântica, realizado entre a ONG SOS Mata Atlântica e Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).....	35
Figura 9	Distribuição territorial do desmatamento na Amazônia Legal realizado pelo sistema PRODES entre 2005 e 2017.....	36
Figura 10	Área desmatada (ha) no bioma cerrado monitorada pelo SIAD Cerrado entre os períodos de 2002-2003 a 2015-2016 por limite municipal.....	39
Figura 11	Área desmatada (ha) no bioma cerrado monitorada pela iniciativa FREL entre os períodos de 2002 a 2015 por limite municipal.....	42
Figura 12	Conjunto de processamento dos produtos MODIS Índice de Vegetação (IV) e processamento dos algoritmos.....	45
Figura 13	Processo de inspeção visual dos alertas de desmatamentos gerados pelo SIAD.....	50
Figura 14	Série temporal de NDVI MODIS. A) desmatamento verdadeiro datado em novembro de 2015 e em B) o falso desmatamento em área queimada identificada no mesmo período. Em verde, a detecção de ruptura no BFAST.....	51
Figura 15	Alerta de desmatamento do SIAD (2016) (em cor azul) categorizado como falso positivo devido a ocorrência da queimada sobre a vegetação remanescente de formação savânica.....	53
Figura 16	Mapeamentos de áreas antropizadas para o bioma Cerrado (A e B), incremento de áreas antropizadas (C) segundo o TerraClass Cerrado (2013) em relação ao PROBIO (2002) e desmatamentos SIAD entre 2003 a 2013 (D).....	55
Figura 17	Comparação da área de vegetação remanescente do PROBIO (A) e TerraClass Cerrado (B) convertidos para células de 250 m.....	57
Figura 18	Distribuição dos alertas de desmatamento classificados como desmatamento e falsos positivos através de inspeção visual (A) e a	

	distribuição dos alertas de desmatamento conforme detecção de quebras encontradas pelo BFAST (B).....	60
Figura 19	Distribuição espacial dos biomas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica no estado de Minas Gerais.....	64
Figura 20	Demonstrativo dos mapeamentos de vegetação remanescente PROBIO e TerraClass Cerrado, juntamente com dos alertas de desmatamento SIAD. Onde em A) mapa PROBIO e B) mapa TerraClass sobre o município de Ribas do Rio Pardo (MS). C) e D) os mapas PROBIO e TerraClass sobre o município de Mateiros (TO) e E) e F) os mesmos mapas sobre o município de Balsas (MA).....	68
Figura 21	Alerta de desmatamento do SIAD (2015-2016) sobreposto a imagens de satélite Landsat 8 dos meses de fevereiro (A) e agosto (B) de 2016 comparadas com o mapa interativo da plataforma de reposição de dados do Lapig (C), bem como a série de tendência temporal (BFAST) do índice NDVI (MOD13Q1) em D.....	69
Figura 22	Alertas de desmatamento SIAD 2015-2016 sobrepostos a imagens de 2015 e 2016 do satélite Landsat 8 (A e B), imagens MODIS (C e D) e mapeamentos de vegetação natural PROBIO (E) e TerraClass Cerrado (F).....	71
Figura 23	Distribuição dos alertas de desmatamento (i.e. falsos e verdadeiros) gerados pelo SIAD entre 2015 e 2016, sobrepostos aos dados de precipitação GPM para maio de 2015 (A) e maio de 2016 (B).....	73

## Lista de tabelas

Tabela 1	Períodos de análise do monitoramento do desmatamento pelo PMDBBS para os biomas brasileiros.....	26
Tabela 2	Porcentagem (%) da área ocupada por classe de uso da terra na Amazônia Legal segundo o Mapeamento TerraClass Amazônia.....	27
Tabela 3	Classes mapeadas pelo projeto TerraClass Cerrado de 2013 e proporção para cada uso.....	29
Tabela 4	Porcentagem (%) da área ocupada por classe de uso da terra segundo o mapeamento das Mudanças na Cobertura e Uso da Terra no Brasil do IBGE.....	31
Tabela 5	Prevalência das classes de cobertura e uso da terra do mapeamento MapBiomas.....	32
Tabela 6	Confiabilidade do Pixel do produto MODIS MOD13Q1.....	47
Tabela 7	Amostras selecionadas para análise dos polígonos de desmatamento do SIAD Cerrado de 2016 com o algoritmo BFAST.....	53

## Lista de gráficos

Gráfico 1	Distribuição da área desmatada (ha) entre 1998 a 2017 de acordo com os Estados que integram a região da Amazônia Legal monitorada pelo PRODES.....	37
Gráfico 2	Área desmatada (ha) no bioma Cerrado monitorada pelo SIAD Cerrado entre os períodos de 2002-2003 a 2015-2016 por limite estadual.....	40
Gráfico 3	Áreas desmatadas detectadas pelo SIAD entre 2003 a 2016 utilizando o mapeamento PROBIO e imagens do produto MOD13Q1.....	56
Gráfico 4	Distribuição da quantidade dos alertas de desmatamento SIAD 2016, utilizando a coleção 5 e 6 do sensor MODIS (A) e mapeamentos de vegetação natural remanescente PROBIO e TerraClass Cerrado (B).....	58
Gráfico 5	Quantidade de alertas gerados pelo SIAD anualmente com intervalos no limiar de 5% e precipitação normalizada entre os meses de março a maio, abril e maio e apenas maio.....	59
Gráfico 6	Quantidade de focos de calor no bioma Cerrado para os períodos de monitoramento do SIAD.....	60
Gráfico 7	Distribuição mensal dos alertas de desmatamento 2015-2016 de acordo com a detecção BFAST.....	62
Gráfico 8	Valores médios de NDVI MODIS das 50 amostras selecionadas provenientes dos polígonos de desmatamento do SIAD (2015-2016) sobre áreas de vegetação com efeito sazonal, queimada, agricultura e pastagem (10 amostras de cada classe).....	63
Gráfico 9	Série temporal NDVI MODIS referentes as 10 amostras de desmatamentos detectados pelo SIAD (2015-2016).....	64
Gráfico 10	Série temporal NDVI MODIS referentes as 10 amostras de vegetação (impactada pela sazonalidade da chuva) detectadas pelo SIAD (2015-2016) e classificadas como falsos positivos.....	65
Gráfico 11	Série temporal NDVI MODIS referentes as 10 amostras de áreas queimadas detectadas pelo SIAD (2015-2016) classificados como falsos positivos e comparados aos valores das áreas desmatadas.....	66
Gráfico 12	Valores médios da série temporal NDVI MODIS referentes as 10 amostras de agricultura e 10 amostras de pastagens nas bordas do mapa de vegetação PROBIO (referência) detectadas pelo SIAD (2015-2016) e classificados como falsos positivos.....	66
Gráfico 13	Distribuição quantitativa de ocorrência dos alertas de desmatamentos por unidades federativas, gerados pelo SIAD Cerrado para o ano de 2015-2016.....	70
Gráfico 14	Série histórica de alertas de desmatamentos gerados com limiar de 20% e precipitação média normalizada para o mês de maio.....	72
Gráfico 15	Gráfico da série temporal NDVI MODIS referentes as 50 amostras analisadas (i.e. desmatamento, vegetação sazonal, área queimada e de bordas com áreas agrícolas e de pastagens) detectadas pelo SIAD no período 2015-2016.....	74
Gráfico 16	Série temporal NDVI MODIS referentes as amostras de vegetação e desmatamentos detectados pelo SIAD no período 2015-2016.....	75

## Índice

	Pág.
1 Introdução.....	17
2 Perguntas.....	19
3 Hipóteses.....	20
4 Objetivos.....	20
4.1 Objetivo geral.....	20
4.2 Objetivos específicos.....	21
5 Referencial teórico.....	22
5.1 Monitoramento do uso da terra e cobertura vegetal remanescente no Brasil.....	22
5.2 Sistemas de monitoramento do desmatamento no Brasil.....	35
5.3 Produtos de índices de vegetação (MOD13Q1) – Coleções 5 e 6.....	43
6 Materiais e Métodos.....	47
7 Resultados.....	54
8 Discussões.....	67
9 Considerações finais.....	76
10 Referências.....	77
Apêndice I.....	82
Anexo I.....	88
Anexo II.....	95

## **Apresentação**

A presente dissertação, intitulada Detecção automática de desmatamentos no bioma Cerrado: desafios para o monitoramento sistemático, se estrutura da seguinte forma:

Introdução, composta da descrição geral do tema analisado, seguido das seções de problematização, perguntas científicas, hipóteses e objetivos (geral e específicos).

O referencial teórico é composto por uma revisão geral sobre o estado da arte em relação ao monitoramento do uso da terra e cobertura vegetal no Brasil e no mundo, especificamente em relação aos sistemas de detecção do desmatamento nos biomas brasileiros, especificamente, PRODES e SIAD.

Na seção sobre a área de estudo, bioma Cerrado, é realizado a caracterização e a sua importância na preservação da biodiversidade e dos recursos hídricos.

Os Materiais e métodos, cuja referência principal são os alertas de desmatamento gerados pelo Sistema Integrado de Alertas de Desmatamento (SIAD Cerrado), irá abordar a base de dados utilizada e os procedimentos metodológicos para a execução dessa pesquisa de mestrado. Foram utilizados diferentes limiares de mudança para detecção do desmatamento, mapeamentos base da cobertura de vegetação remanescente, dados orbitais (matriciais) provenientes de sensor MODIS (índice de vegetação – NDVI) e de precipitação pluviométrica (TRMM e GPM), i.e. chuva, para analisar a sazonalidade climática. Também faz-se o uso de métodos parametrizados para avaliação de séries temporais orbitais para identificação de tendência e quebras espectrais para caracterização das áreas desmatadas para diferentes regiões do Cerrado utilizando o algoritmo semiautomático BFAST.

Em seguida temos a apresentação dos principais resultados alcançados e a discussão destes voltada ao entendimento dos efeitos intrínsecos e extrínsecos encontrados para a realização do monitoramento do desmatamento utilizando séries temporais orbitais (imagens de satélite/sensores) no Cerrado.

Por último, as considerações finais apresentam uma síntese de todos os resultados alcançados e sugestões para o avanço do monitoramento da cobertura vegetal remanescente do Cerrado. A seção de referências apresenta, por sua vez, a base teórica, composta por artigos, livros e trabalhos acadêmicos, utilizada na construção desse trabalho.

Ainda, em apêndice, exemplos de séries temporais de alertas de desmatamento para 2016, sobrepostos a imagens de satélite Landsat 8 (OLI) referentes a 2015 (antes da detecção) e 2016 (após a detecção).

E como anexos, acrescentamos os artigos científicos elaborados durante o período de desenvolvimento dessa pesquisa, sendo três artigos publicados/apresentados no XVIII

Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (2017) e uma publicação no periódico internacional *International Journal of Earth Observation and Geoinformation* (co-autor) (2017).

## 1 Introdução

O bioma Cerrado possui cerca de 12.070 espécies de flora, somando cerca de 30% do total catalogado atualmente no Brasil, sendo que muitas delas são endêmicas (ou seja, só existem no Cerrado). A intensificação da ocupação para usos antrópicos no Cerrado ocorreu desde a década de 1970, basicamente motivados pelo avanço tecnológico e baixo preço da terra em relação a regiões mais consolidadas (Sul e Sudeste). A ocupação contou também com incentivos governamentais, através de subsídios e programas, buscando o progresso nessas regiões com baixa densidade populacional.

Com o progresso, houve perda significativa da vegetação do bioma, mas a estimativa é imprecisa, pois o bioma conta apenas com três mapeamentos do uso e cobertura da terra, sendo o primeiro (Radambrasil) foi realizado entre 1970 a 1985, o segundo (PROBIO) em 2004, com referência em 2002 e o terceiro (TerraClass Cerrado) entre os anos de 2014 e 2015 com referência em 2013. Os danos causados a biodiversidade pela ocupação, que tinha como base apenas o código florestal de 1965 (pouco restritivo sobre onde ocupar) contribuíram de forma negativa para o Cerrado se tornar um dos 34 *hotspots* do mundo.

De acordo com Myers et al., (2000), para se tornar um *hotspot* a região deve possuir características únicas, tais como, clima, riqueza de biodiversidade, alto índice de endemismo e possuir alto índice de antropização, colocando em risco de extinção toda a biodiversidade da região. Desta forma, o Cerrado se tornou um *hotspot*, pois estudos apontaram alto índice de endemismo. Outro fator para o Cerrado se tornar um *hotspot* é que 645 espécies de flora do bioma estão listadas como espécies em algum grau de ameaça de extinção no Brasil, o que corresponde a mais de 30% do total catalogado.

Além dessa riqueza das espécies da flora e fauna, o Cerrado é considerado o berço das águas, pois, das 12 regiões hidrográficas do Brasil, oito estão localizadas em seu limite, tais como as bacias do Rio São Francisco, Rio Tocantins-Araguaia e Rio Parnaíba. Além dos sistemas hídricos e do mosaico vegetacional, o Cerrado possui uma sazonalidade climática marcante para os períodos seco (maio a outubro), marcado por temperaturas elevadas e baixa umidade relativa do ar, e chuvoso (novembro a abril), temperaturas altas ao longo do dia e pancadas de chuvas no final da tarde.

O mapeamento Radambrasil foi um importante marco para o sensoriamento remoto no Brasil, especializando a ocupação de todo o território, permitindo análises e auxiliando em políticas públicas. Mas sua utilização se torna inviável nos dias atuais, pois o mapeamento, devido a tecnologia da época, foi impresso em cartas cartográficas e não em formato digital. Por meio do PROBIO (primeiro mapeamento digital para o Brasil), o Cerrado, após um hiato

de 30 anos, ainda que não de forma uniforme no seu território, apresentava 60,5% de sua vegetação natural preservada. Atualmente, o mapeamento realizado pelo Projeto TerraClass Cerrado (2013) aponta uma redução de 6% da sua vegetação remanescente (54,5%). Com o avanço tecnológico e acesso gratuito de imagens de satélite, se torna cada vez mais frequente o uso dessas tecnologias para monitoramento em curto intervalo de tempo, permitindo identificar e mensurar a ocupação da terra, bem como identificar conversão de áreas de vegetação natural para outros usos.

Uma das ferramentas desenvolvidas para o monitoramento da conversão da vegetação é o Sistema Integrado de Alerta de Desmatamento (SIAD) (FERREIRA et al., 2007; ROCHA et al., 2011), que utiliza como base o mapeamento da vegetação natural do PROBIO (2002) e imagens radiométricas do sensor MODIS (produto MOD13Q1) acoplado nos satélites Terra e Aqua. O SIAD é o primeiro sistema de monitoramento anual da perda de vegetação natural remanescente para o Cerrado, apontou uma conversão de 3% da vegetação remanescente entre julho de 2002 a julho de 2015, sendo os estados do Mato Grosso, Bahia, Tocantins e Piauí que mais desmataram naquele período, respectivamente.

Os dados do SIAD corroboram o avanço do desmatamento na atual fronteira agrícola, conhecida como Matopiba (porção do Cerrado que integra os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), onde as culturas anuais (soja, milho e algodão) nos últimos anos promoveram a maior mudança do uso e cobertura da terra sobre as áreas de vegetação remanescente e de pastagens (RUDORFF et al., 2015). Embora ainda no Cerrado seja registrado a expansão do uso da terra sobre as áreas naturais remanescentes anualmente, os níveis de desmatamento diminuíram, sendo que, entre 2003 e 2004 foram registrados 17 mil km<sup>2</sup>, enquanto entre 2015 e 2016, o desmatamento avançou 7,1 mil km<sup>2</sup>, representando uma redução de 58,2%, a qual não se configura como alívio para os diferentes ecossistemas que compõem esse bioma.

A grande demanda por produção de carne e grãos no Brasil atuam como vetores para a conversão de grandes áreas remanescentes, sobretudo na Amazônia e Cerrado (DIAS-FILHO, 2011; DOMINGUES; BERMANN, 2012), pois os demais biomas possuem condições climáticas desfavoráveis ou já se encontram consolidados, possuindo poucas áreas para expansão. Na perspectiva de redução do desmatamento por meio de sistemas de prevenção e controle em função da pressão das atividades antrópicas (maioria para usos agropecuários) que necessitam de grandes extensões territoriais, contam atualmente com avanços tecnológicos que permitem a maximização da produção em pequenas áreas. Assim, na busca pela redução do desmatamento, em 2006 foi implementada a moratória da soja por representantes dos produtores de soja, ONGs e governo na Amazônia Legal, estabelecendo o compromisso de não

comercializar a produção de grãos provenientes de áreas desmatadas após a implementação do acordo (GIBBS et al., 2015).

Em seguida, no ano de 2008, foi criada a lista de municípios prioritários na Amazônia Legal com os maiores índices de desmatamento. Os municípios que estiverem nessa lista sofrerão sanções, tais como a eliminação de subsídio pelo Governo Federal, redução de crédito agrícola, e outras sanções. Nepstad et al. (2014) apontam redução do desmatamento a partir da implementação de medidas restritivas, tais como a moratória da soja e lista dos municípios prioritários, mas que estas não são as únicas causas para esse declínio.

Com a redução do desmatamento para cultivo de grãos na Amazônia legal e com a crescente demanda por produção de *commodities*, há necessidades de expansão de território para atender as demandas do mercado interno e externo. O bioma Cerrado não possui mecanismos parecidos como os implementados na Amazônia para monitoramento e fiscalização da produção agrícola e pecuária, atuando basicamente com o código florestal vigente de 2012.

Gibbs et al. (2015) mostram que, entre 2006 a 2013, a expansão da soja na região amazônica ocorreu sobre áreas abertas, como as áreas de pastagem, reduzindo gradativamente o desmatamento, enquanto para o mesmo período, no Cerrado, especificamente na região do Matopiba (região composta pelas porções territoriais dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia no limite do Cerrado), a soja expandiu-se sobre áreas de vegetação natural remanescente. Outro fator que contribui para a ocupação do Matopiba é o preço da terra, já que o preço do hectare nessa região é menor em relação a regiões já consolidadas (ESPÍNDOLA; CUNHA, 2015; PEREIRA; PAULI, 2016). Assim, temos as seguintes perguntas.

## **2 Perguntas**

Esta pesquisa, buscou responder as seguintes questões:

- Qual o impacto da base (mapa) de referência na qualidade e quantidade de detecção de desmatamento?
- Qual o impacto do processo de conversão do mapa de vegetação (vetorial) para formato matricial utilizado como referência na detecção dos desmatamentos?
- Qual o impacto da qualidade radiométrica das imagens de satélite em relação a qualidade e quantidade de polígonos identificados?
- Qual o impacto da sazonalidade climática (precipitação) em relação a qualidade e quantidade de polígonos detectados?

- Como os parâmetros de algoritmos de detecção de tendências e quebras em séries temporais satelitárias se comportam em relação aos polígonos falsos e verdadeiros?

### **3 Hipóteses**

Esta pesquisa, por sua vez, busca testar as seguintes hipóteses:

- Métodos automáticos de detecção de desmatamentos consideram mapas de referências, em relação aos quais mudanças são identificadas; A qualidade do mapa de referência irá influenciar na precisão e acurácia dos desmatamentos detectados;
- Atualmente registra-se uma grande quantidade de satélites e sistemas sensores para o monitoramento da dinâmica de uso da terra e cobertura vegetal natural. Imagens de satélite com maior precisão e acurácia radiométrica serão mais sensíveis as variações na cobertura vegetal;
- A sazonalidade da cobertura vegetativa influencia nos respectivos valores dos índices de vegetação satelitárias; assim, mudanças interanuais na sazonalidade da vegetação irá impactar a detecção de possíveis desmatamentos.
- Considerando o uso de séries temporais de índices de vegetação, áreas de vegetação natural em processo de conversão tendem a apresentar quebras e declínios de valores;

### **4 Objetivos**

Esta pesquisa possui os seguintes objetivos geral e específicos:

#### **4.1 Objetivo geral**

O objetivo geral consiste em:

- Avaliar o potencial e as limitações de detecção de desmatamentos no bioma Cerrado utilizando imagens de satélite de resolução espacial moderada e análises de séries temporais tendo por referência o Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos (SIAD Cerrado).

## 4.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos buscam:

- Avaliar o impacto quantitativo de alertas de desmatamento gerados utilizando o mapeamento base da vegetação natural (mapas de referência), i.e. PROBIO e TerraClass Cerrado, utilizando imagens orbitais de resolução espacial moderada;
- Entender a variação na quantidade de alertas de desmatamentos em função da sazonalidade (i.e. variação espacial e temporal da precipitação) gerados pelo SIAD a partir das coleções 5 e 6 do produto MOD13Q1.
- Analisar o comportamento sazonal dos alertas de desmatamentos do SIAD referente ao ano de 2016, i.e. falsos e verdadeiros, a partir da série temporal MODIS (2000 a 2017) utilizando o algoritmo BFAST.

## 5 Referencial teórico

### 5.1 Monitoramento do uso da terra e cobertura vegetal remanescente no Brasil

O Brasil, com uma área de 850 milhões de hectares (IBGE, 2017), é o quinto maior país do mundo em extensão territorial, com uma população de 207,7 milhões (IBGE, 2017b), distribuída em 26 unidades federativas e 1 distrito federal, agrupadas em 5 grandes regiões (Norte, Nordeste, Centro-oeste, Sudeste e Sul). Situado na zona tropical, o Brasil possui diferentes regimes de chuva devido sua grande extensão. De acordo com o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), a região Norte possui homogeneidade na formação florestal (floresta Amazônica) no qual possui precipitação média de 2.500 a mais de 3.000 mm/ano. No Nordeste, com clima semiárido na estação seca, a variação média de precipitação fica entre 500 a 1.500 mm/ano. As regiões Centro-Oeste e Sudeste, por suas localizações latitudinais, possuem precipitação média entre 1.500 a 2.000 mm/ano. A região Sul, por sua vez, possui precipitação uniforme durante o ano, variando entre 1.250 a 2.000, podendo passar de 2.000 em algumas regiões específicas (QUADRO et al., 2017).

Cada região geográfica mencionada anteriormente possui particularidades com condições físicas e climáticas distintas, influenciando na distribuição das paisagens, recursos naturais e da biodiversidade. Com base nessas características distintas, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o MMA propuseram o limite territorial para os seis biomas brasileiros em 2004, sendo eles a Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa (IBGE, 2004).

O desenvolvimento econômico no território brasileiro ocorreu de forma desigual entre as suas regiões, sobretudo no seu interior, i.e. regiões Centro-oeste e Norte (NASSER, 2000). Entretanto, esse desenvolvimento levou a intensas modificações antrópicas por extensas paisagens e ecossistemas, consequentemente, intensificando os impactos ambientais, como a retirada da cobertura vegetal natural para acomodar as práticas de pecuária extensiva e agricultura, com destaque para grãos, sobretudo commodities nas região dos planaltos centrais; crescimento desordenado sem planejamento territorial das áreas urbanas; aumento do assoreamento dos rios e das voçorocas, retirada da mata ciliar e degradação das nascentes dos rios, e outras.

Com o desenvolvimento econômico e aumento populacional, a demanda por recursos naturais e alimentos é crescente, necessitando de novas áreas para a manutenção da economia, uma vez que, o Brasil é conhecido mundialmente por ser um país com grandes áreas aptas para

o plantio de sementes e grande produtor de carne. A forma mais barata de aumentar a produção é através da abertura e ocupação de novas áreas. Ímpar no quesito uso do solo, pela alta produtividade agropecuária e produção de commodities (soja, milho, café, etc.), o Brasil ainda detém as maiores áreas preservadas no mundo. Por ser o país com a maior expansão no uso da terra, entender os processos de ocupação (sustentável) se tornou um grande desafio devido as mudanças climáticas regionais e globais visando a geração de alimentos, energia e conservação da biodiversidade (LAPOLA, 2013).

Para conhecer o território brasileiro e monitorar toda a sua totalidade, na década 1970, é realizado o primeiro grande projeto, em âmbito nacional, de mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal remanescente do território brasileiro, ou seja, Radambrasil. Inicialmente como Projeto Radam – Radar da Amazônia e, a partir dos resultados positivos alcançados na Amazônia e com a da expansão do aerolevantamento - imagens de RADAR (sensor ativo) para o território nacional, em 1975, é iniciado o projeto Radambrasil, sendo realizado os levantamentos cartográficos na base de 1:250.000, sendo levantadas informações dos recursos minerais, solos, vegetação e uso da terra (OLIVEIRA et al., 2011) por meio de extenso trabalho de campo. O Projeto Radambrasil se estendeu até 1985.

Após o projeto Radambrasil, o próximo projeto com foco no mapeamento da cobertura do uso da terra, a nível nacional, foi o Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO (Figura 1), que realizou o mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal remanescente para os 6 biomas brasileiros, sendo Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal, utilizando imagens de satélite (Figura 1) (MMA, 2007). O projeto PROBIO foi realizado com base em imagens de satélite LANDSAT 5 TM e 7 ETM+ (multiespectral) de 2002, cuja a escala final do produto cartográfico foi de 1:250.000. Para o mapeamento da cobertura natural utilizou-se as diretrizes do Sistema Brasileiro de Classificação da Vegetação Brasileira, já as classes de cobertura antrópica foram mapeadas áreas de cultura agrícola, pastagens cultivadas, reflorestamento, áreas urbanas e áreas degradadas por mineração (MMA, 2007).

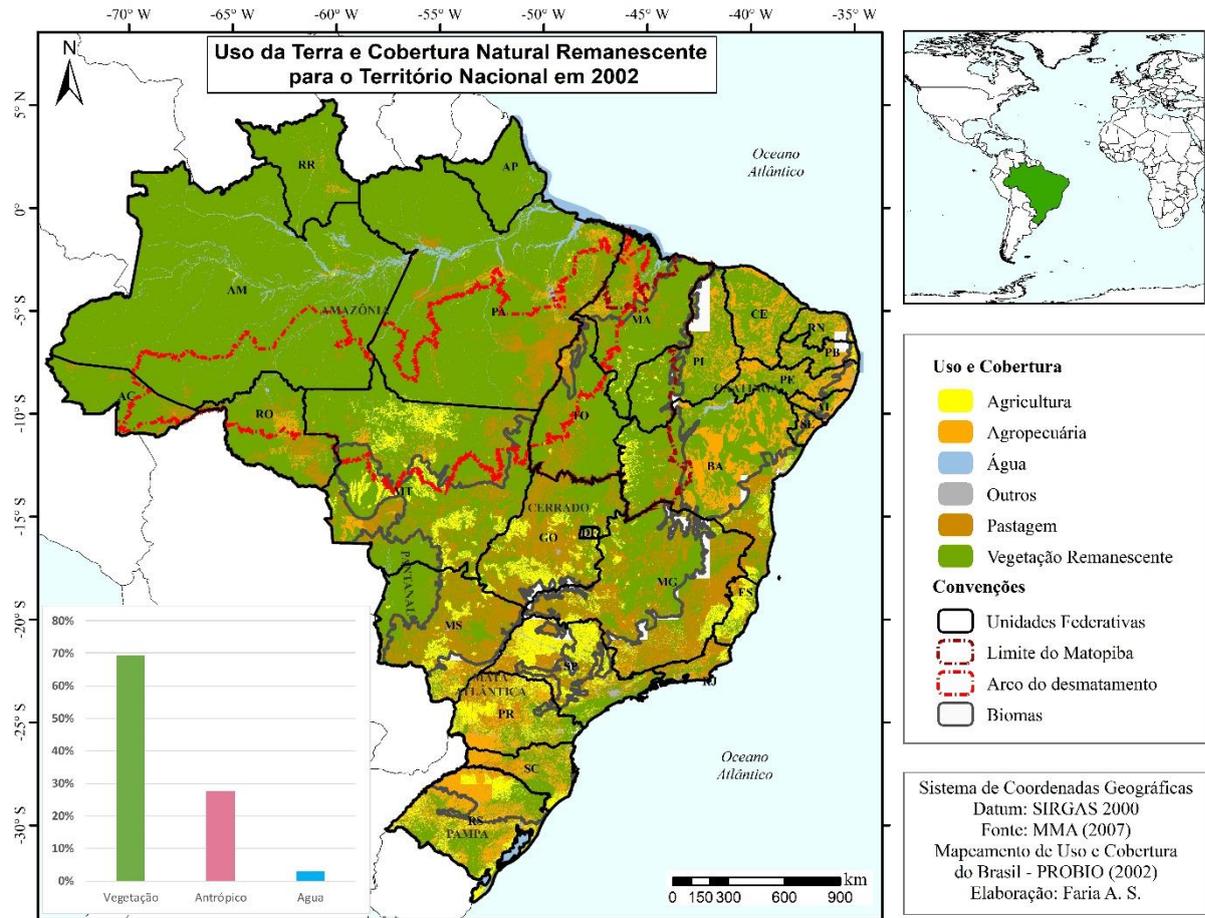


Figura 1 – Mapa de Uso da terra e Cobertura Natural Remanescente para o território nacional realizado através do projeto PROBIO (2002).

De acordo com o PROBIO (Figura 2), o bioma Pantanal apresentava, em 2002, 87% de sua vegetação remanescente preservada, seguida, respectivamente, dos biomas Amazônia (85%), Caatinga (63%), Cerrado (61%), Pampa (41%) e Mata Atlântica (27%). O PROBIO, além de fornecer a localização e a proporção das áreas de vegetação remanescente, nos mostra também que as áreas pastejáveis estão concentradas, em sua maior proporção, nos biomas Cerrado e Mata Atlântica, sobretudo em grandes proporções em estados com estruturas econômicas tipicamente pecuárias, como Goiás (GO), Minas Gerais (MG) e Mato Grosso do Sul (MS). Outra região em destaque, é a região do Arco do Desmatamento da Amazônia Legal, com destaques para os estados do Pará (PA), Rondônia (RO) e Acre (AC).

As regiões de agricultura, com destaque para a produção de grãos, sobretudo *commodities* (i.e. produto de origem primária que são comercializados em bolsa de valores), as quais necessitam de grandes extensões territoriais e disponibilidade hídrica ao longo do ano, seja proveniente do subsolo ou lençol freático para viabilizar a utilização de pivôs centrais e pela periodicidade de chuva entre os períodos de plantio (outubro-dezembro), desenvolvimento e

colheita (janeiro a junho) (Conab, 2017). Essas áreas concentra-se nas regiões sudeste (norte – São Paulo e Minas Gerais), centro-oeste, destaque para MT e GO, e na atual fronteira agrícola, conhecida como Matopiba (acrônimo formado pelas iniciais dos estados brasileiros do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia).

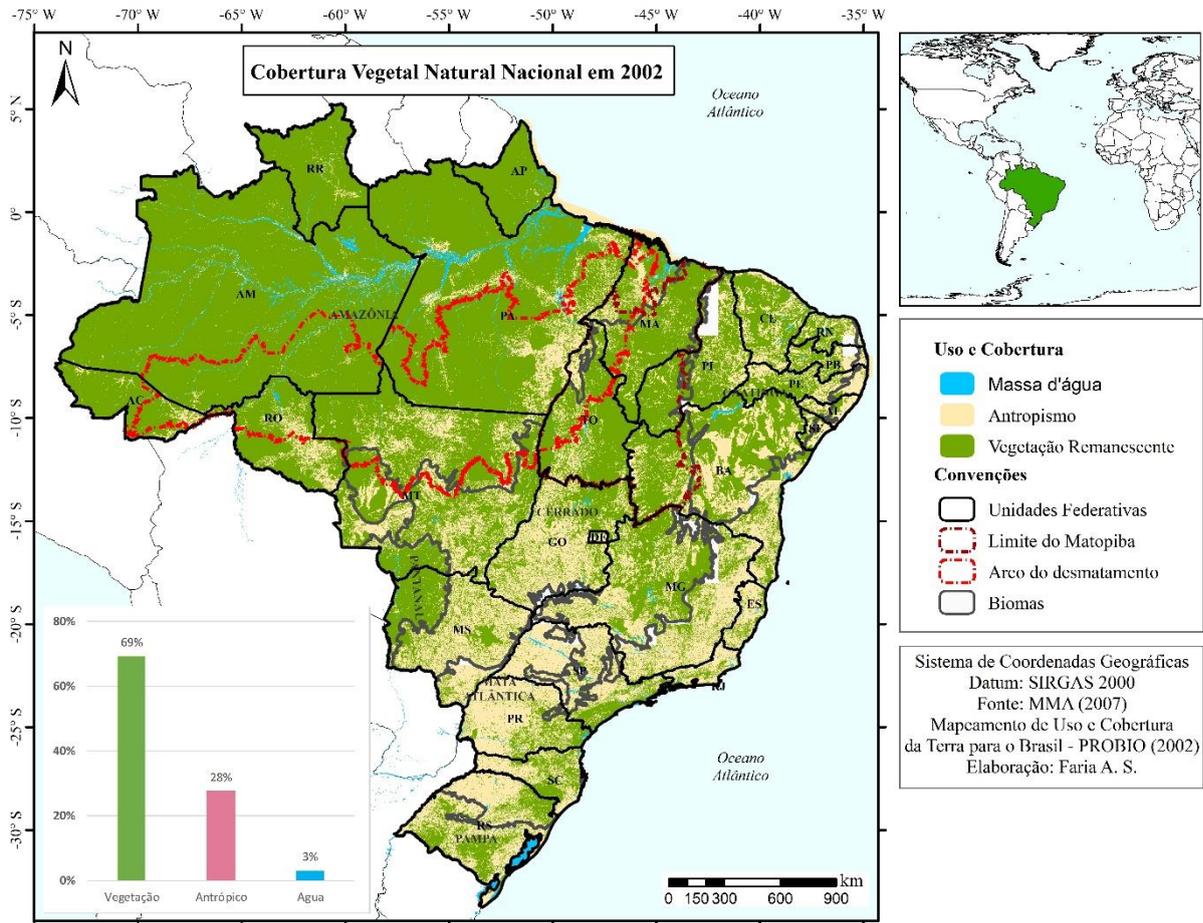


Figura 2 – Vegetação natural remanescente do mapeamento PROBIO, ano base 2002.

Com a entrega dos mapeamentos do PROBIO e pela considerável precisão e consistência territorial/espacial desse produto, a Secretária de Biodiversidade e Florestas (SBF) do Ministério do Meio Ambiente (MMA), em convênio com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), lançaram o Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDBBS) para os 6 biomas brasileiros em 2008, cujo o “tempo zero” para a análise do desmatamento são os mapeamentos do PROBIO, período de 2002 (BRASIL, 2009). O PMDBBS apresenta diferentes recortes temporais para o monitoramento do desmatamento entre os biomas brasileiros, conforme tabela 1.

Tabela 1 – Períodos de análise do monitoramento do desmatamento pelo PMDBBS para os biomas brasileiros.

<b>Biomas</b>	<b>Relatórios (Períodos)</b>	<b>Proporção de Remanescente (%)</b>
Amazônia	2009, 2010 e 2011	81,8
Caatinga	2002 - 2008; 2008 – 2009	53,38
Cerrado	2002 - 2008; 2008 - 2009; 2009 - 2010; 2010 – 2011	51
Mata Atlântica	2002 - 2008; 2008 – 2009	22,25
Pampa	2003 - 2008; 2008 – 2009	36,06
Pantanal	2004 - 2008; 2008 – 2009	83,14

Outra iniciativa importante é o Projeto TerraClass, que visa entender a dinâmica de uso e cobertura da Amazônia Legal Brasileira (2004 a 2014) (ALMEIDA et al., 2008) e do Cerrado (2013) (MMA, 2015). O Projeto TerraClass Amazônia surgiu da parceria entre Embrapa e INPE (Centro Regional da Amazônia – CRA), com o objetivo de mapear o uso das terras antropizadas em toda a Amazônia Legal, uma vez que o PRODES já mapeia as áreas desmatadas, mas não define o uso destinado a essas áreas que são alvos de interesses da sociedade civil e comunidade acadêmica.

O projeto TerraClass Amazônia possui atualmente cinco mapeamentos (recortes temporais), i.e. 2004, 2008, 2010, 2012 e 2014. As imagens bases (229) utilizadas para o mapeamento são provenientes do satélite Landsat 5 (TM), 7 (ETM+) e, recentemente, 8 (OLI), priorizando imagens com menor cobertura de nuvens (Figura 3). Foi realizado o processo de segmentação no programa Spring, com similaridade variando entre 10 a 20 e área mínima mapeada é de 49 pixels (4,41 hectares). As imagens MODIS, por sua vez, são utilizadas no TerraClass Amazônia para distinguir as áreas de agricultura e de pastagens. O mapeamento foi realizado no Sistema de Classificação da Cobertura da Terra (LCCS), criado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) e Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Unep) (COUTINHO et al., 2013).

O Mapeamento TerraClass Amazônia demonstra que as áreas destinadas a agricultura anual cresceram 145% entre 2004 a 2014, enquanto as classes de pastagem, cresceram em menor proporção que a agricultura, sendo 23% e 9%, respectivamente (Tabela 2). As classes

de pastagem intermediárias, i.e. pasto com solo exposto e regeneração com pasto por sua vez, apresentaram queda de 40% e 30%, respectivamente, para o mesmo período.

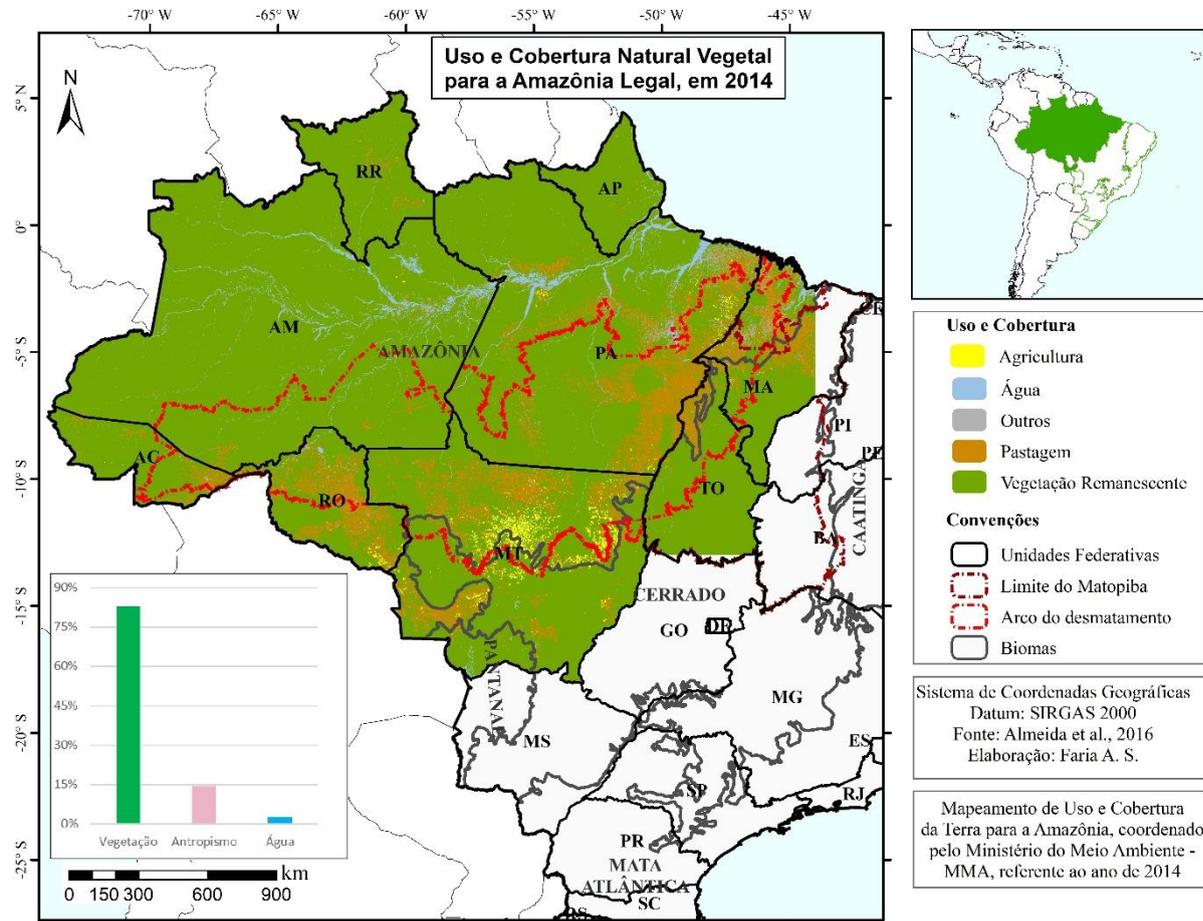


Figura 3 – Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal remanescente para a Amazônia Legal de acordo com o projeto TerraClass Amazônia para 2014.

Tabela 2 – Porcentagem (%) da área ocupada por classe de uso da terra na Amazônia Legal segundo o Mapeamento TerraClass Amazônia.

Classe de uso	2004	2008	2010	2012	2014
Agricultura Anual	0,47	0,9	1,0	1,0	1,1
Área não observada	1,24	1,1	1,1	1,7	0,7
Área Urbana	0,07	0,1	0,1	0,1	0,1
Mineração	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Mosaico de ocupações	0,42	0,6	0,4	0,2	0,4
Outros	0,12	0,01	0,1	0,2	0,2
Pasto com solo exposto	0,003	0,01	0,01	0,001	0,0
Pasto limpo	7,80	8,4	8,4	8,5	9,3
Pasto sujo	1,41	1,6	1,4	1,2	1,5
Regeneração com pasto	1,55	1,2	1,6	1,1	1,0
Reflorestamento	0,0	0	0,1	0,1	0,1
Vegetação secundária	2,57	3,8	4,1	4,2	4,3

Hydrografia	2,92	2,9	2,8	2,8	2,8
Florestal	81,4	79,5	78,9	78,7	78,4

Com o objetivo de estender a metodologia do projeto TerraClass Amazônia para outros biomas brasileiros, em 2013, o MMA iniciou a iniciativa TerraClass Cerrado. O mapeamento do Projeto TerraClass Cerrado – Mapeamento do Uso e Cobertura Vegetal do Cerrado (Figura 4), confeccionado 11 anos após o PROBIO, buscou promover o aumento da conservação da biodiversidade e melhorar o manejo dos recursos do bioma. Coordenado pelo MMA que montou uma equipe com conceituadas instituições públicas em sensoriamento remoto no Brasil, sendo: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Universidade Federal de Goiás (UFG) e Universidade Federal de Uberlândia (UFU), somando um grupo com 6 coordenadores técnicos e 18 consultores, além de coordenação geral e gestores, o projeto foi executado entre 2014 e 2015.

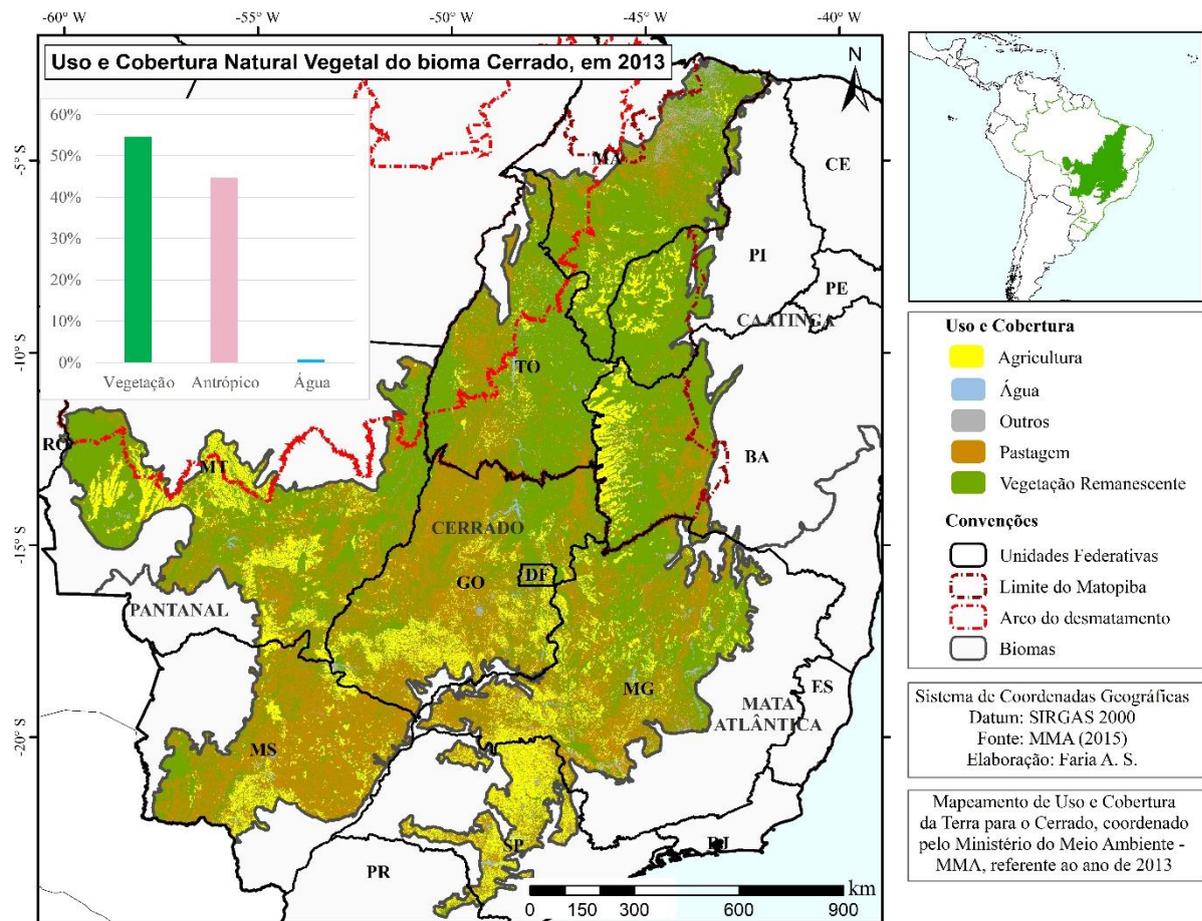


Figura 4 – Mapeamento de Uso e Cobertura da terra para o bioma Cerrado denominado TerraClass Cerrado (2013).

O método utilizado foi similar ao PROBIO, utilizando 121 imagens do satélite Landsat 8 (OLI), buscou se adquirir as imagens com menor incidência de nuvens para o ano de 2013. Posteriormente foram convertidas para refletância aparente ou de topo da atmosfera (TOA), salvas em composição colorida (R5, G6 e B4) e segmentadas no *software* SPRING 5.2.6.1 (versão adaptada as necessidades do projeto) com parâmetros de similaridade de 0.015 e área de pixel de 70 (correspondente a 6.25 hectares) de área mínima mapeada. A escala do mapeamento é de 1:250.000. A metodologia de mapeamento das classes foi de acordo com a experiência de cada instituição envolvida, ao exemplo de inspeção visual ou de séries históricas (imagens MODIS) na identificação de culturas agrícolas (MMA, 2015).

Após definição e execução do mapeamento, em 2015, os resultados obtidos foram de 54,49% de áreas remanescentes, sendo 20,54% em áreas florestais e 33,95% em não florestais, enquanto as áreas destinadas a agropecuária ocupam 41,15% do Cerrado, sendo 29,4% e 11,7% destinados as áreas de pastagens plantadas e agricultura, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3 – Classes mapeadas pelo projeto TerraClass Cerrado de 2013 e proporção para cada uso.

Macro-classe	Classe	% em área
Natural	Florestal	20,54
	Não Florestal	33,95
	Não Vegetado	0,13
Antrópico	Pastagem Plantada	29,46
	Agricultura Anual	8,54
	Agricultura Perene	3,15
	Área Urbana	0,43
	Mosaico de Ocupação	0,11
	Mineração	0,01
	Silvicultura	1,5
	Solo Exposto	0,18
	Outros	0
		Corpo d'água
	Não Observado	1,24

Adaptado do mapeamento TerraClass Cerrado (MMA, 2015).

Em 2015, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) publicou o mapeamento sobre as Mudanças na Cobertura e Uso da Terra no Brasil para os períodos de 2000, 2010, 2012 e 2014 (IBGE, 2015). Para esse mapeamento, o IBGE compatibilizou as classes de uso da terra e vegetação remanescente com o Sistema de Classificação da Cobertura e Uso da Terra (SCUT), compatível com os níveis II e III (IBGE, 2013), que, por sua vez, foi compatibilizado com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE).

A partir dessa junção, foram formuladas 13 classes de cobertura e uso da terra. Após a definição dessas classes, a imagem utilizada para o mapeamento/classificação foi do sensor MODIS (resolução espacial/pixel de 250m), proveniente dos satélites Aqua e Terra. Após a classificação das imagens MODIS e compatibilização com as classes pré-definidas, foram utilizados os métodos de inspeção visual, entrada de dados auxiliares (i.e. mapas temáticos, imagens de resolução média (Landsat, CBERS e RapidEye) e de desmatamento – PRODES) e validação em campo para a elaboração dos mapas (IBGE, 2015). Os mapeamentos possuem escala de 1:5.000.000 (Figura 5).

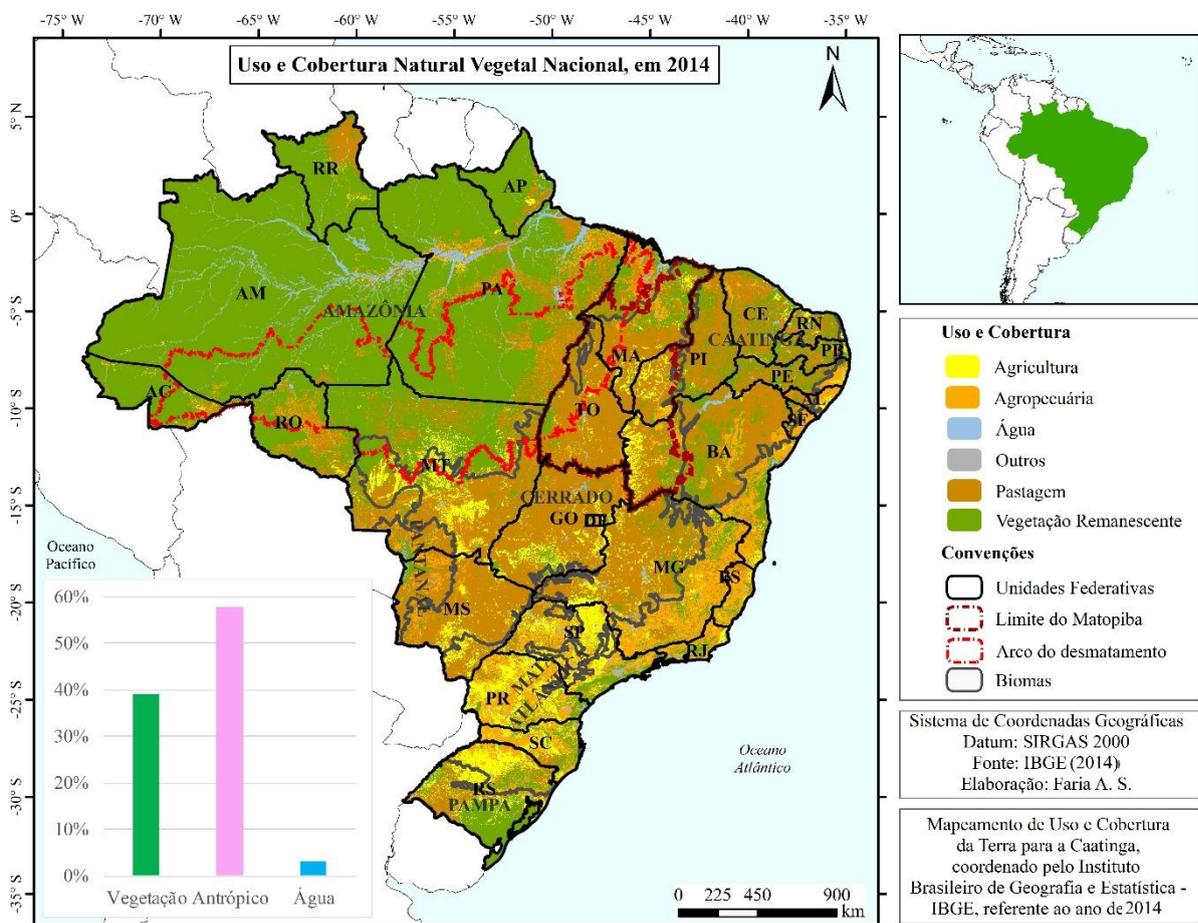


Figura 5 – Mapa de Mudanças na Cobertura e Uso da Terra no Brasil de 2014.

De acordo com o IBGE, ilustrando na figura 5 e a tabela 4, mostram que o principal uso da terra no Brasil é o da agropecuária, ocupando 38% do seu território, pois as classes agricultura, pastagem natural e pastagem plantada ocupam 6%, 21% e 11%, respectivamente. Do uso agropecuário, somente a pastagem natural apresentou queda em sua área no período 2000-2012, i.e. 13%, enquanto a área agrícola apresentou aumento de 27% e a pastagem

plantada de 54%. A vegetação florestal perdeu 9% da sua área remanescente no mesmo período, ocupando 39% do território brasileiro.

Tabela 4 - Porcentagem (%) da área ocupada por classe de uso da terra segundo o mapeamento das Mudanças na Cobertura e Uso da Terra no Brasil do IBGE.

<b>Classe de uso</b>	<b>2000</b>	<b>2010</b>	<b>2012</b>
Área agrícola	5	6	6
Área artificial	0,4	0,5	0,5
Área descoberta	0,1	0,1	0,1
Corpo D'agua continental	3	3	3
Mosaico de agropecuária com remanescentes florestais	9	9	9
Mosaico de vegetação campestre com Áreas Agrícolas	2	3	5
Mosaico de vegetação florestal com Áreas Agrícolas	5	5	4
Pastagem natural	24	23	21
Pastagem plantada	7	10	11
Silvicultura	0,6	0,8	0,8
Vegetação campestre	1,2	1,1	1,0
Vegetação campestre alagada	0,7	0,5	0,5
Vegetação florestal	41	38	38

Outra iniciativa recente é o Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomias) ([mapbiomas.org](http://mapbiomas.org)). O MapBiomias tem o objetivo de mapear a cobertura e uso do solo anualmente para o Brasil de forma automatizada, buscando produzir rapidamente mapeamentos consistentes e de menor custo/tempo em relação aos métodos utilizados convencionalmente na atualidade, conforme demonstrados anteriormente. Para obter êxito, o projeto reuniu equipes especializadas em cada bioma e temas transversais (i.e. agricultura, pastagem, dentre outros).

Desta forma, todo o mapeamento de cobertura e uso da terra do MapBiomias tem como referência imagens da série de satélites Landsat (i.e. 5 – TM, 7 – ETM+ e 8 – OLI), com disponibilidade de dados desde 1985 até a atualidade. A delimitação dos biomas é baseada no mapa oficial de biomas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e sua escala é de 1:5.000.000 (IBGE, 2004). Além do Brasil, a metodologia possui aplicação no *Chaco* (região na América do Sul que abrange parte da Bolívia, Argentina, Paraguai e Brasil) e países que possuem floresta amazônica em seu território.

Devido ao grande volume de dados e carência no aporte computacional, firmou se convênio com a empresa *Google* e todo o processamento é realizado na plataforma *Google Earth Engine*. A plataforma se mostra eficaz em estudos envolvendo grandes volumes de dados,

como do Hansen et al. (2013) que mapeou a perda e ganho florestal no mundo entre 2001 a 2014, e Parente et al. (2017) mapeando as áreas de pastagem do Brasil para o ano de 2015.

Para as coleções 1 e 2, o método utilizado foi classificação por algoritmo de árvore de decisão empírica que, ajustados os parâmetros de mapeamento por cartas de 1:250.000 do IBGE, se torna replicável para o restante dos biomas. Já a coleção 2.3, utiliza o algoritmo *Random Forest*, que necessita de amostras de treinamento para realizar a classificação (BREIMAN, 2001; HANSEN et al., 2013; PARENTE et al., 2017). Após a classificação, é realizado a sobreposição entre as classes para integração e obtenção dos mapas respeitando os pesos/prioridades das classes previamente definidos. Conforme a tabela 5, a agricultura é a classe com maior prevalência conforme precisão do mapeamento.

Tabela 5 – Prevalência das classes de cobertura e uso da terra do mapeamento MapBiomas.

<b>Legenda geral da coleção 2.3</b>	<b>Regra de prevalência</b>
Agricultura	1
Praias e dunas	2
Mangues	3
Corpos d'água	3
Floresta plantada	4
Floresta	5
Floresta natural	5
Formações florestais	5
Formações savânicas	5
Formação natural não vegetal	6
Áreas úmidas	6
Pastagem natural	6
Outras formações naturais não florestais	6
Pastagem	7
Infraestrutura urbana	8
Outras áreas não vegetadas	9
Agricultura ou pastagem	10
Não observado	11

A validação do mapeamento foi realizada em duas etapas, a primeira comparando com mapas de outras iniciativas, enquanto a segunda etapa ocorre por pontos amostrais inspecionados visualmente. A figura 6 mostra a evolução do mapeamento do uso da terra e vegetação remanescente no Brasil para quatro recortes temporais, com destaque para os anos 2000, 2005, 2010 e 2016. De modo geral, os resultados alcançados pelo MapBiomas seguem a mesma tendência que os demais mapeamentos supracitados, ou seja, entre 2000 a 2016, a área

de vegetação natural apresentou queda de 18% (florestal – 4% e não florestal – 14%), seguido do aumento da área agropecuária, sendo de 140% para a agricultura e de 27% para a pastagem/pecuária.

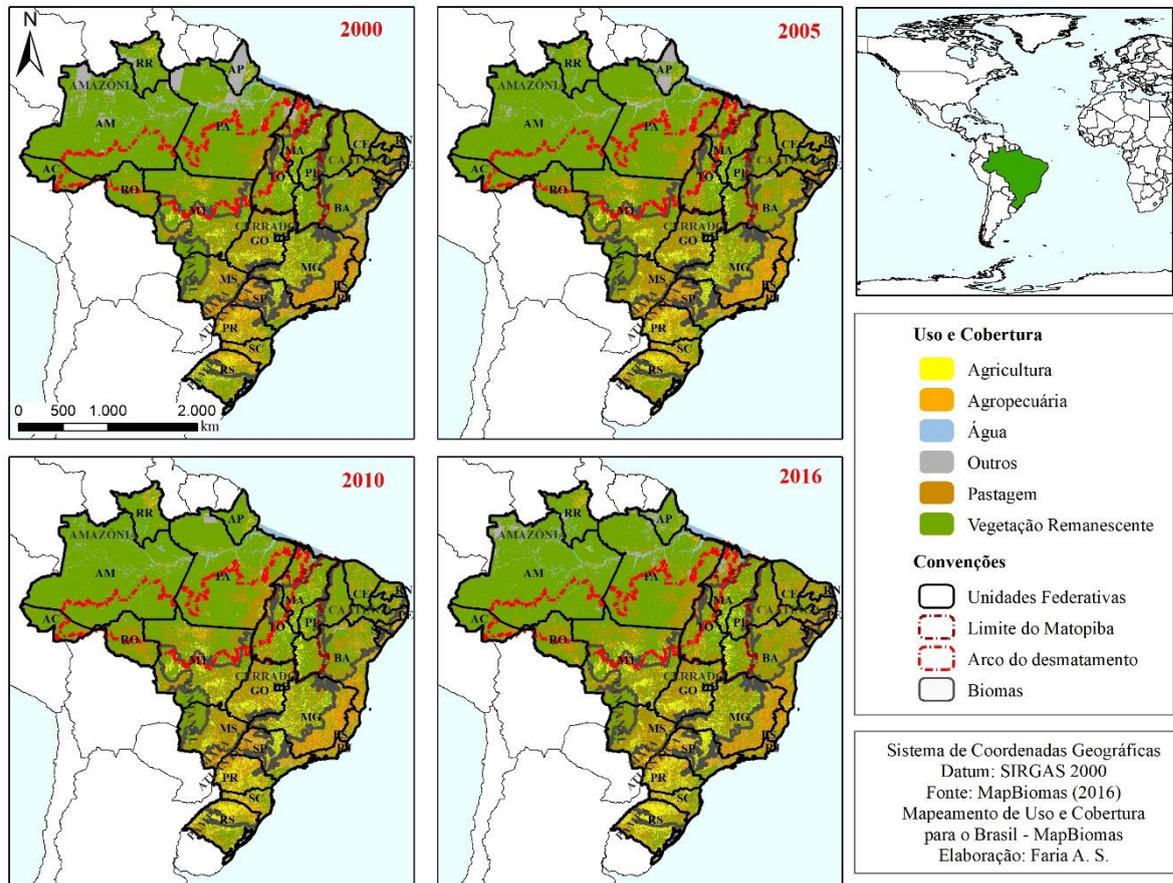


Figura 6 – Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal remanescente para o território brasileiro de acordo com iniciativa MapBiomas para os anos 2000, 2005, 2010 e 2016.

Além dessas iniciativas mencionadas, há outros mapeamentos importantes e realizados tanto com apoio governamental e privado, tais como o *Mapeamento da Cobertura Vegetal e das Alterações de Uso do Solo na Bacia do Alto Paraguai (BAP)*, porção brasileira, cobrindo o bioma Pantanal com mapeamentos realizados em 2002, 2008, 2010, 2012 e 2014. Os procedimentos metodológicos são os mesmos para todos os mapas/anos e constitui-se de inspeção visual sobre imagens de satélite. A escala de mapeamento é de 1:50.000, conforme figura 7 (SOS PANTANAL; WWF, 2015).

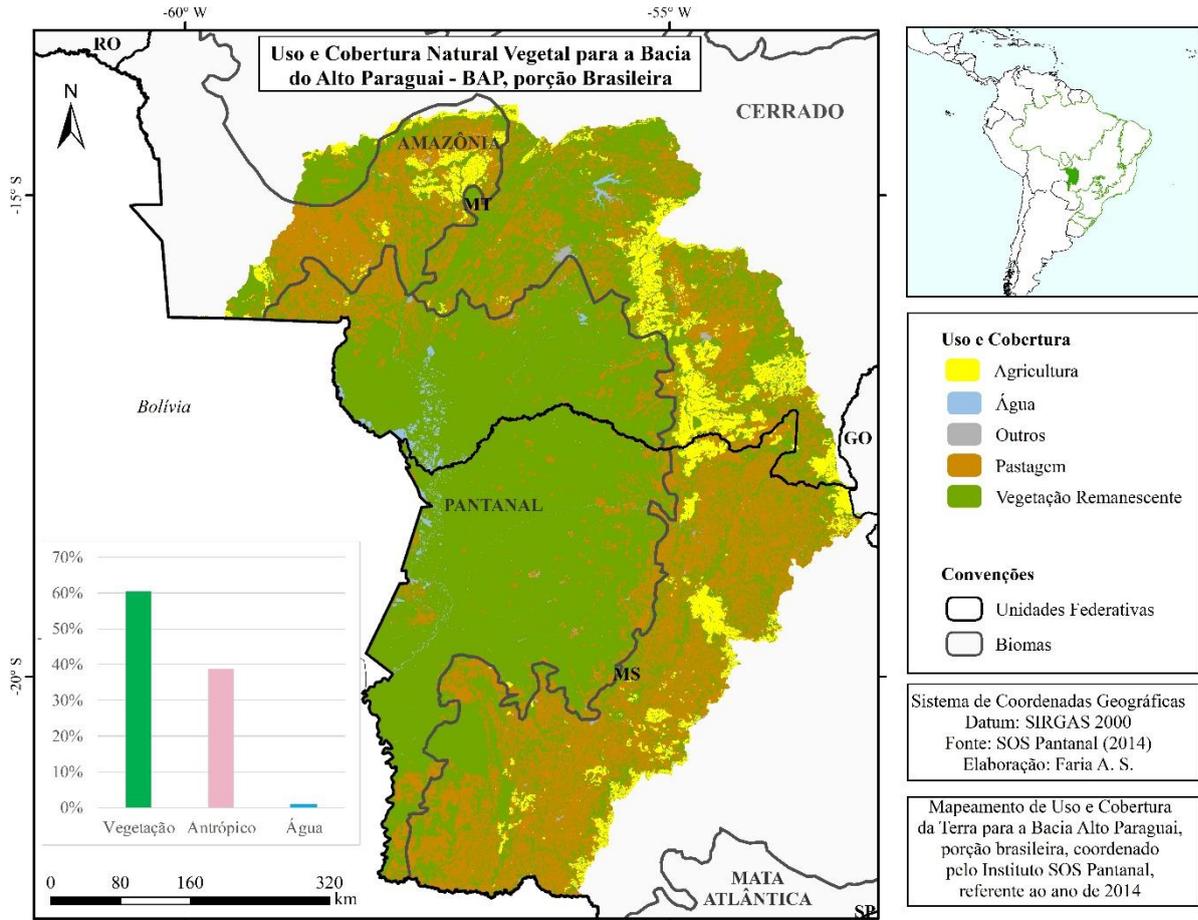


Figura 7 – Mapeamento de Uso e Cobertura Natural Vegetal da Bacia alto Paraguai, porção brasileira, realizado através de parceria entre SOS Pantanal e WWF.

O bioma Mata Atlântica conta com o Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, parceria entre a Organização Não Governamental (ONG) Fundação SOS Mata Atlântica e o INPE, cujo monitoramento ocorre desde 1990, sendo divulgado atualmente por meio de publicação anual. O método do mapeamento é semelhante a outras iniciativas, utilizado imagens do satélite Landsat 5 (TM) e Landsat 8 (OLI) para realizar a interpretação visual com o auxílio de imagens do *Google Earth*, quando disponíveis. O mapeamento possui escala de 1:50.000 e visa identificar áreas florestais e fragmentos de vegetação com área mínima de 3 hectares (Figura 8) (SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2017).

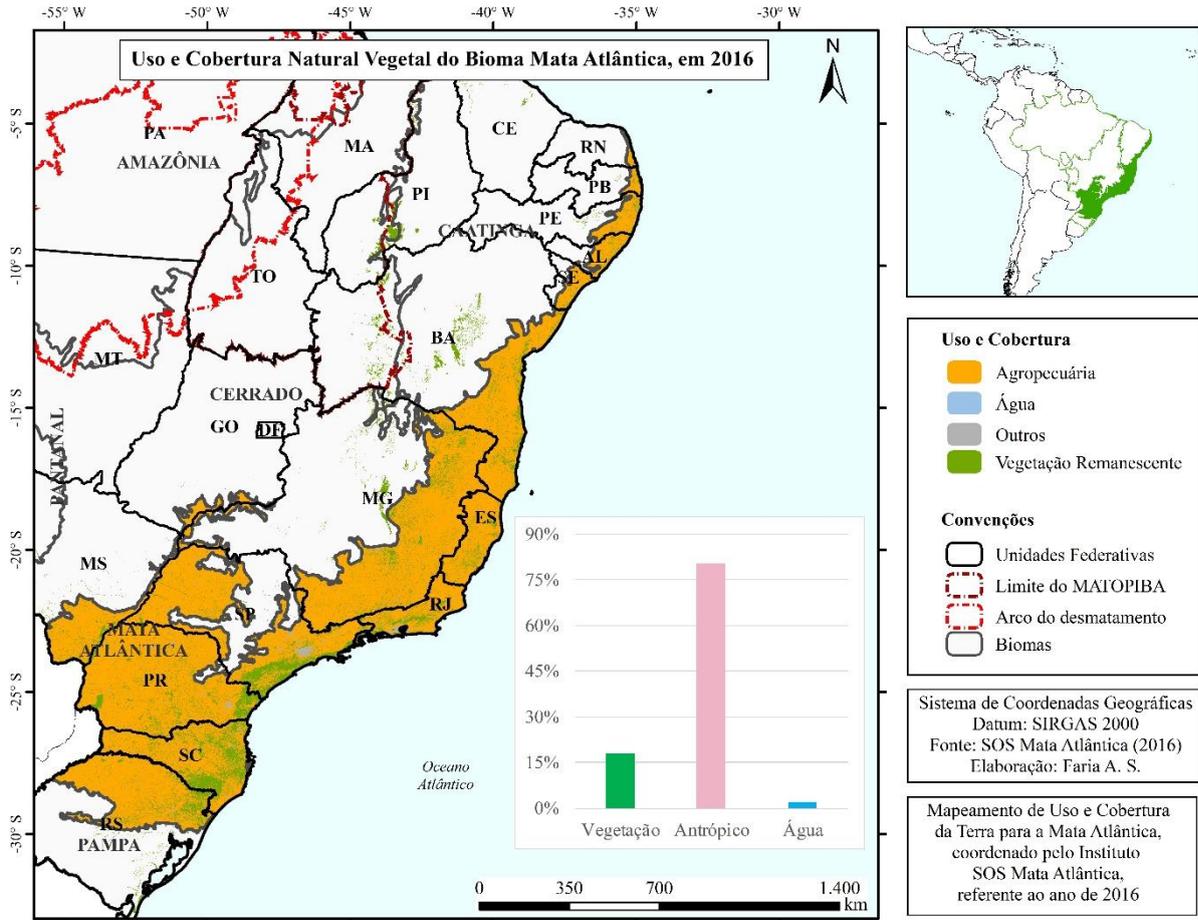


Figura 8 – Mapeamento da cobertura vegetal natural do bioma Mata atlântica, realizado entre a ONG SOS Mata Atlântica e Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE).

## 5.2 Sistemas de monitoramento do desmatamento no Brasil

O PRODES é o primeiro sistema de monitoramento do desmatamento no território brasileiro, especificamente para o bioma Amazônia, cujo objetivo é monitorar o corte raso, i.e. retirada total da cobertura vegetal florestal para áreas iguais ou maiores que 6,25 hectares. A base de análise de monitoramento do PRODES são as imagens de satélite Landsat 5 TM ou similares (INPE, 2013). O PRODES disponibiliza taxas de desmatamento para os estados que compõem a Amazônia Legal desde 1988, demonstrando consistência no monitoramento da perda de vegetação natural anualmente e qual o destino dessas áreas, as quais basicamente se destinam as atividades agropecuárias (Figura 9).



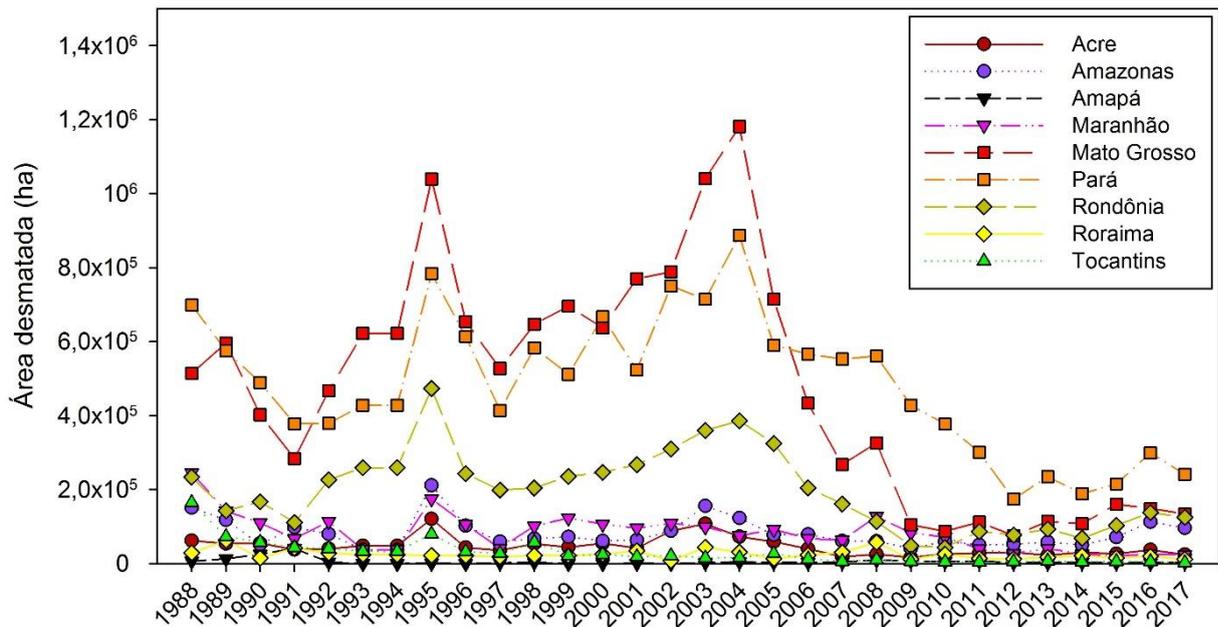


Gráfico 1 – Distribuição da área desmatada (ha) entre 1988 a 2017 de acordo com os estados que integram a região da Amazônia Legal monitorada pelo PRODES.

Cabe ressaltar que, entre os principais motivos para a queda da área desmatada na Amazônia Legal estão os sistemas de prevenção e controle, tais como a moratória da soja em 2006 por representantes dos produtores de soja, ONGs e governo, a qual estabeleceu o compromisso de não comercializar a produção de grãos provenientes de áreas desmatadas (GIBBS et al., 2015). Em 2008 foi criada a lista de municípios prioritários na Amazônia com os municípios com os maiores índices de desmatamento, para os quais, enquanto estiverem nessa lista, recebem restrições, como a eliminação de subsídio, redução de crédito agrícola, e outras. Nepstad et al. (2014) apontam a redução do desmatamento a partir da implementação de medidas restritivas, tais como a moratória da soja e lista dos municípios prioritários, mas que estas não são as únicas causas para esse declínio.

Outra importante iniciativa para monitorar o desmatamento é o Sistema Integrado de Alertas de Desmatamento (SIAD) para o bioma Cerrado. O SIAD foi desenvolvido para detectar desmatamento na Amazônia por meio da iniciativa governamental denominada de Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM - <http://www.sipam.gov.br/>) na busca por informações com base em sensoriamento remoto orbital, radares e estações meteorológicas, obtendo grande banco de dados no auxílio da gestão territorial da Amazônia Legal em tempo real. Houve necessidade de adaptação do SIAD para monitorar o desmatamento no Cerrado (SIAD Cerrado), principalmente devido as características edafoclimáticas individuais de cada bioma, fatores determinantes na formação da fitofisionomia.

O SIAD Cerrado busca detectar desmatamento com área mínima de 25 hectares, pois, utiliza imagens com resolução espacial de 250 metros do sensor MODIS, acoplado nas plataformas Terra e Aqua, com resolução temporal de 16 dias (HUETE, et al. 2002). Especificamente, o SIAD Cerrado utiliza o produto MODIS MOD13Q1, as bandas espectrais (intervalos no espectro) e índice de vegetação utilizados são: *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), NIR, *Red Reflectance* e *Pixel Reliability* (FERREIRA et al. 2007; ROCHA et al. 2011). O limiar de detecção utilizado é de 20% de mudança na cobertura vegetal (i.e. de acordo com índices de vegetação de imagens de satélite). Para diferenciar vegetação natural e áreas antropizadas é utilizado o mapa de vegetação natural remanescente para o bioma, i.e. mapa de referência.

O mapa de referência inicial possui a sua base no Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO) (BRASIL, 2007), de ano base 2002, ano de referência para o início do monitoramento anual do desmatamento realizado e disponibilizado pelo LAPIG (<https://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/>). O mapa de referência da vegetação (vetor) é convertido para a estrutura de dado matricial (raster) e compatibilizado com o tamanho de pixel de 250 metros, i.e. mesma resolução espacial das imagens MODIS. Para cobrir todo o Cerrado são necessárias 5 imagens MODIS (i.e. H12V10, H12V11, H13V09, H13V10 e H13V11), que, posteriormente, são reprojctadas e mosaicadas no *software Modis Reprojection Tools* (MRT) disponibilizado pela Agência Espacial Norte Americana (NASA) (disponível em: [https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis\\_reprojection\\_tool](https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis_reprojection_tool)).

O algoritmo SIAD Cerrado foi gerado em linguagem de programação *Python* e hospedada no *software* ArcMap (ArcGis/Esri). Basicamente, o SIAD Cerrado gera um raster da diferença entre duas imagens de NDVI MODIS no intervalo de 1 ano, i.e. para o Cerrado é utilizada a data *Day-Off-Year* (DOY) 161 (calendário juliano) pela baixa incidência de nuvens. Para filtrar a incidência de nuvens é utilizada a banda de confiabilidade *Pixel Reliability*. O arquivo da diferença de NDVI é convertido para vetor, que, posteriormente é calculada a área e extraídos apenas polígonos de áreas iguais ou superiores a 25 hectares.

Devido a fatores intrínsecos (i.e. resolução radiométrica) e extrínsecos (i.e. mapa de referência, precipitação, queimadas, dentre outros), faz se necessária a inspeção visual de todos os polígonos gerados para que haja maior confiabilidade no dado. A inspeção é realizada com imagens do satélite Landsat (i.e. utilizando os sensores TM (2003 a 2011), ETM+ (2012) e OLI (posterior a 2012)) do ano anterior e atual da análise, subpostas aos polígonos gerados pelo SIAD Cerrado, arbitrando desmatamentos e falsos positivos.

Os dados SIAD Cerrado, de 2002-2003 a 2015-2016, conforme a base municipal, são mostrados na figura 10.

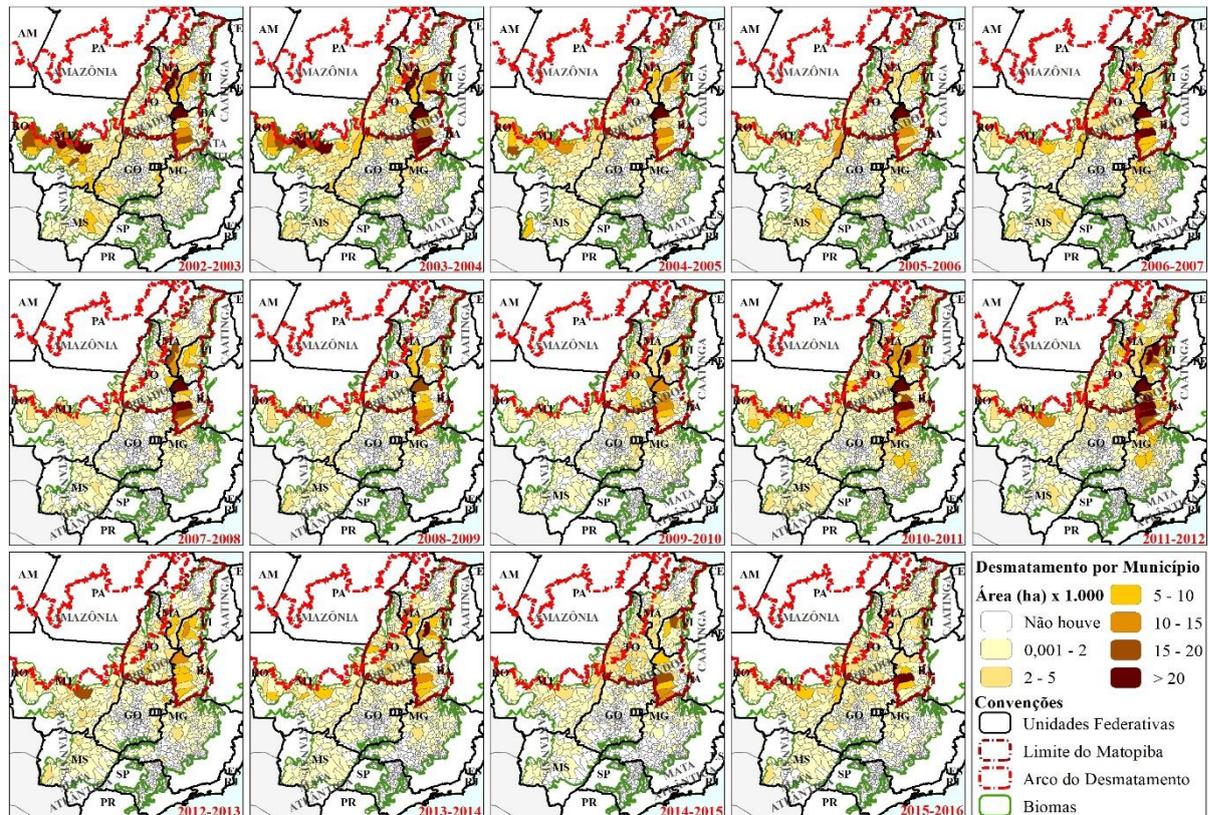


Figura 10 – Área desmatada (ha) no bioma cerrado monitorada pelo SIAD Cerrado entre os períodos de 2002-2003 a 2015-2016 por limite municipal.

Em relação aos dados SIAD, uma outra particularidade, diz respeito ao mapa utilizado como referência. Até o ano de 2015, este mapa era o PROBIO, sucessivamente atualizado, à medida que novos desmatamentos eram detectados. Com o lançamento do mapa TerraClass Cerrado, disponibilizado em 2015, uma nova referência foi adotada. Como é de se esperar, diferenças entre o mapeamento TerraClass, com base em imagens Landsat 8 OLI de 2013, e o PROBIO (atualizado com base nas detecções SIAD), certamente o uso de uma ou outra referência irá impactar as detecções de possíveis alertas de desmatamentos.

De acordo com o monitoramento realizado pelo SIAD, o estado do Mato Grosso é o líder no desflorestamento do Cerrado com 1,6 Mha convertidos entre o período de 2002-2003 a 2015-2016, com média 114.518 ha desmatados por período/ano (Figura 8 e Gráfico 2). A área desmatada no Mato Grosso é 23,6% (aprox. 380 mil/ha) maior que a registrada no estado da Bahia, segundo no rank do desmatamento, para o mesmo período. Entretanto, a partir do desenvolvimento e consolidação da região do Matopiba, a nova fronteira agrícola do Cerrado e do Brasil (VIEIRA FILHO, 2016), os estados do Tocantins, Bahia e Piauí, nessa ordem, a partir

do período 2010-2011, apresentaram maiores registros de desmatamentos que o Mato Grosso, com área desmatada média de, aproximadamente, 90 mil hectares por período/ano. O estado de Goiás, por sua vez, é considerável, sendo de 636 mil ha no período analisado e média de 45 mil ha por período/ano.

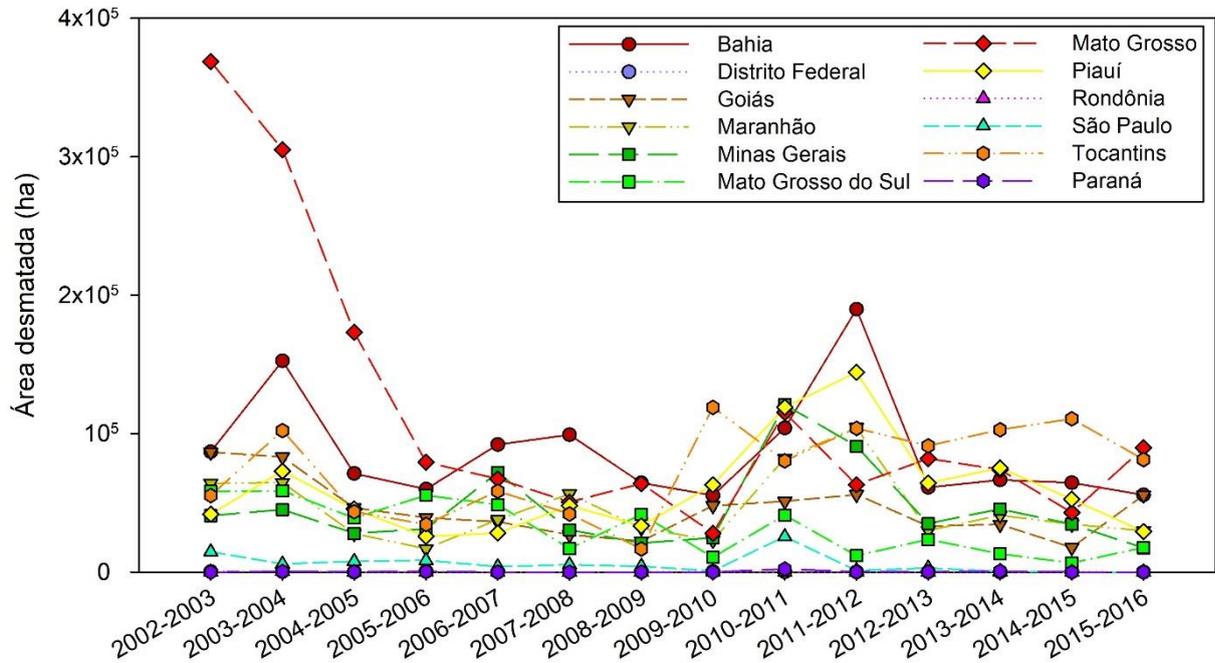


Gráfico 2 – Área desmatada (ha) no bioma Cerrado monitorada pelo SIAD Cerrado entre os períodos de 2002-2003 a 2015-2016 por limite estadual.

Recentemente, o Cerrado recebeu outra iniciativa para o monitoramento do desmatamento. O Ministério do Meio Ambiente (MMA), em 2014, por meio da Portaria nº 41/2014 (BRASIL, 2014b) criou um Grupo de Trabalho Técnico para discutir e mensurar REDD+ (GTT – REDD+) no âmbito do Projeto de Submissão Brasileira de Nível de Referência de Emissões Florestais (*Forest Reference Levels - FREL*) (BRASIL, 2016b). Inicialmente o estudo foi realizado para a Amazônia, com objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) provenientes do desmatamento (corte raso, i.e. remoção de todas as árvores de uma determinada área). As estimativas foram baseadas nos dados de desmatamento do Projeto de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES) (INPE, 2013) por se tratar de dados com metodologia consolidada e obter série histórica (i.e. desde 1988) suficiente para estimativas de mudança do clima. O projeto FREL é subdividido em 4 frentes, sendo que a número 3, contempla o monitoramento do desmatamento. Posteriormente, foi implementado no bioma Cerrado, buscando calcular emissões sobre o desmatamento bruto,

com perspectiva de inserção nos 6 biomas, que somados, futuramente gerarão resultados para todo o Brasil (FREL Brasil).

A iniciativa FREL surgiu em meio a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), por meio do evento denominado de Conferência das Partes (COP), que reúne representantes de vários países para discutir a mudança global do clima. Em 2005 (COP 11), inseriram nos debates o conceito de Redução de Emissões Provenientes de Desmatamento e Degradação Florestal (REDD), que, somado a outras ações (i.e. conservação dos estoques de carbono florestal, manejo sustentável de florestas e aumento dos estoques de carbono florestal), formam a sigla REDD+ (BRASIL, 2016a). Na 19ª conferência, realizada na Polônia, em 2013, com o acordo “Marco de Varsóvia”, cujo o objetivo é o de estimular financeiramente os países em desenvolvimento a reduzir emissões de gases de efeito estufa (GEE), visando a conservação, manejo sustentável e estoque de carbono das florestas (BRASIL, 2014a).

Os processos metodológicos e execução do mapeamento do desmatamento foram realizados pela FUNCATE, baseada no sistema de classificação da vegetação (*Land Cover Classification System - LCCS/FAO*), sobre supervisão do MMA (BRASIL, 2016b). Foram mapeados os desmatamentos de 2002, 2004, 2006, 2008, 2010 e entre 2013 a 2015. Para realizar o mapeamento a partir de 2002, foi elaborado o mapa de vegetação remanescente do Cerrado para o ano de 2000, possibilitando mapeamentos bianuais e base consistente. A base de dados do FREL é semelhante à de mapeamentos consolidados (i.e. PROBIO e TerraClass) utilizando imagens Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ e Landsat 8 OLI, com menor incidência de nuvens (período seco), interpretação visual e processamento com base em análise topológica, cálculo de área e cruzamento de dados obtendo a diferença entre mapas (BRASIL, 2016b). Toda a série foi produzida pela mesma equipe, buscando manter a consistência metodológica na interpretação dos desmatamentos.

O mapa possui três classes, sendo: Antropizado, caracterizado pela remoção total ou parcial da vegetação natural; Água, corresponde a drenagem natural e antrópica, sejam elas rios, lagos, lagoas ou barramento, possíveis de serem mapeadas através das imagens utilizadas e; NO (Não Observado), áreas cobertas por nuvens e/ou sombra de nuvens.

A figura 11 mostra os dados FREL em base municipal, que entre 2002 a 2015, registrou 23,77 Mha. O Mato Grosso é o estado com o maior registro de desmatamento (16,7%), mas diferentemente do SIAD, o segundo e terceiros colocados, são Minas Gerais (16,6%) e Goiás (16,6%). Os dados FREL mostram que esses três estados supracitados praticamente desmataram a mesma extensão territorial (área) entre 2002 a 2015, apresentando médias anuais

de desmatamento de 661.000 ha (MT), 657.000 ha (MG) e 656.000 ha, enquanto o SIAD apresenta outra dinâmica. A região do Matopiba, por sua vez, considerando ambas iniciativas, SIAD e FREL, corresponde a 52% (3,5 Mha) e 42% (10 Mha), respectivamente, dos desmatamentos registrados considerando o período total de cada mapeamento, demonstrando uma diferença de 182% do SIAD em relação ao FREL. Esta diferença ocorre por conta da área mínima mapeada pelos sistemas, i.e. SIAD com 25 ha e FREL de 1 ha. Devido à grande diferença em área mínima mapeada, o SIAD é um alerta de desmatamento que visa detectar grandes conversões, permitindo análises regionais, enquanto o FREL detecta conversões em áreas menores, se tornando mais eficaz em análises regionais e locais.

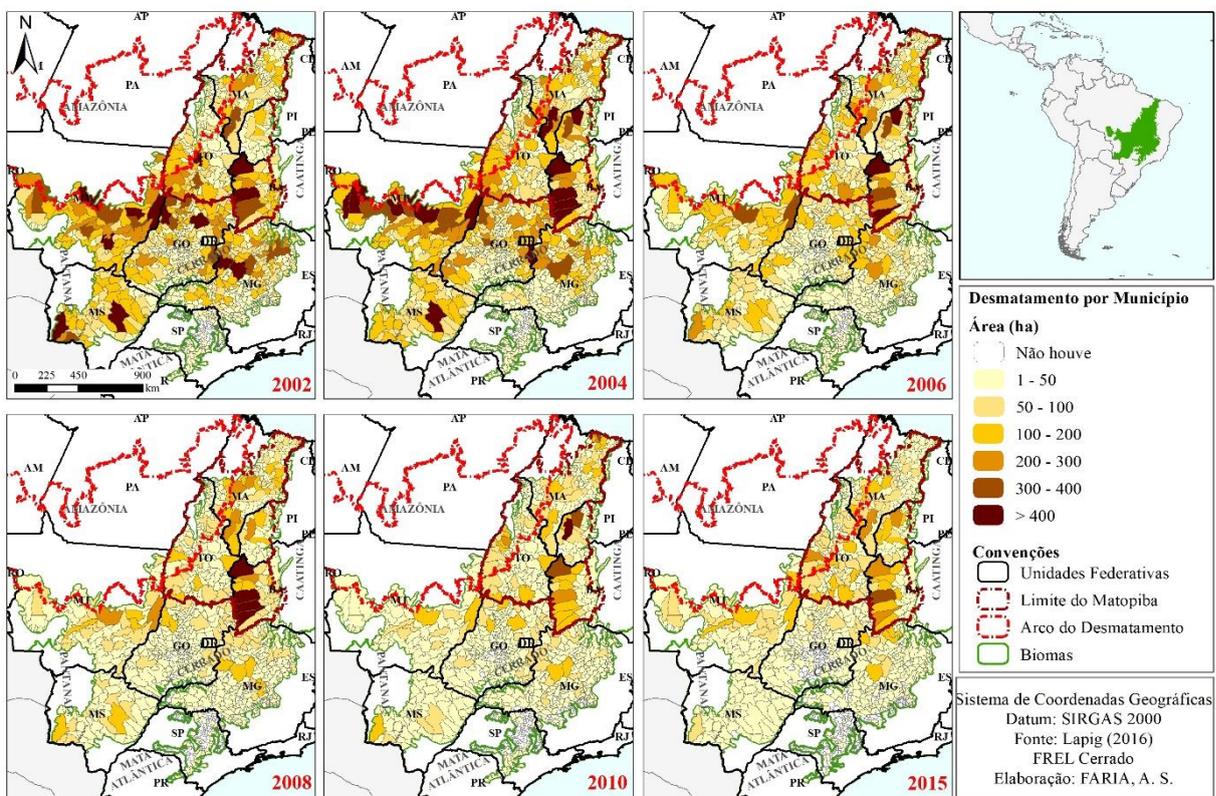


Figura 11 – Área desmatada (ha) no bioma cerrado monitorada pela iniciativa FREL entre os períodos de 2002 a 2015 por limite municipal.

O Quadro 1 compara as características técnicas dos mapeamentos SIAD e FREL.

Quadro 1 - Características técnicas das iniciativas SIAD e FREL para o monitoramento do desmatamento no bioma Cerrado.

Características	SIAD	FREL
Ocorrências	2003 a 2016	2002, 2004, 2006, 2008, 2010 e 2013 – 2015
Escala	1:500.000	1:250.000
Satélite/Resolução espacial	MODIS/250m	Landsat/30m
Abrangência	Cerrado	Cerrado
Iniciativa	LAPIG	FUNCATE/MMA

Metodologia	Com base no mapa PROBIO (2002), os alertas são gerados anualmente a partir da diferença normalizada entre imagens de NDVI (MODIS produto MOD13Q1 do dia 161) de duas datas (ex.: 161 de 2015 e 161 de 2016), com área mínima de 25 hectares.	Por meio do mapa de vegetação feito pela FUNCATE (2000), são gerados os desmatamentos bianualmente (2002 a 2010), com exceção do último (2013 a 2015). A diferença entre os mapas de vegetação é caracterizada como (desmatamento).
-------------	--	---

### 5.3 Produtos de índices de vegetação (MOD13Q1) – Coleções 5 e 6

Neste tópico é abordado o produto MOD13Q1 devido a sua aplicação no Sistema Integrado de Alerta de desmatamento (SIAD). Uma das principais características do sensor MODIS é a sua atualização dos parâmetros de imageamento da superfície terrestre, sempre em forma de coleções. A cada coleção, todos os dados e produtos (i.e. mais de 40 produtos) do sensor MODIS são reprocessados de acordo com os novos parâmetros, visando incorporar melhor calibração e refinamento do algoritmo.

O SIAD utilizou as coleções 4, 5 e 6 para gerar toda a série de alertas de desmatamento (2003 a 2016), sendo que, a cada coleção MODIS, a série temporal do SIAD não é reprocessada novamente. O objetivo de se processar e disponibilizar novas coleções dos produtos MODIS, é sempre corrigir falhas no processo de aquisição das imagens, processamento e refinamento do algoritmo. Estas correções podem impactar nos resultados obtidos nos processamentos realizados com base nestes produtos, para tanto, faz-se necessário entender estas mudanças para explicar anomalias em modelos caso elas aconteçam. A Agência Espacial dos Estados Unidos, NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), sempre que ocorrem lançamentos de novas coleções MODIS publica o documento denominado de “*MODIS Vegetation Index User’s Guide (MOD13 Series)*” que apresenta o detalhamento dos processamentos (algoritmos) realizados para o refinamento geométrico e radiométrico das bandas espectrais e, conseqüentemente, dos seus produtos (DIDAN et al., 2015).

A coleção 5 apresentou mudanças significativas em relação a coleção 4, sendo que o mais importante melhoramento ocorreu no processo de filtragem baseado na qualidade e método de composição do dado MODIS para amenizar a presença e os efeitos das nuvens, impactando positivamente na qualidade dos produtos de índices de vegetação. Além do processamento de dados para períodos de 8 dias, aumentando a frequência da detecção das mudanças diárias, foram adicionados dois parâmetros/bandas para auxiliar os usuários, sendo o dia da composição

(*Day of Composite*) dos dados (8 dias) e a confiabilidade dos dados pixel a pixel (banda *Data Reliability*) (DIDAN e HUETE, 2006).

Os dados SIAD Cerrado se baseiam na análise comparativa de imagens MODIS (*Moderate-resolution imaging spectroradiometer*) índice de vegetação - produto MOD13Q1 (HUETE et al., 2002) de dois anos consecutivos (ex. 2015 e 2016). Como as imagens MODIS são disponibilizados em sucessivas coleções, cada qual marcada por melhorias nos dados, é de se esperar que, o uso de distintas coleções, resultem em diferenças quanto a área total identificada como desmatamento. A partir de 2015, uma nova coleção, 6, foi disponibilizada, cujas principais diferenças em relação a coleção anterior, sendo (DIDAN, 2015):

- Uso de dados pré-publicados (utilizam imagens diárias, compilando as melhores observações de 8 em 8 dias com reflectância de superfície, aplicando conjunto de filtros com base em qualidade, nuvem e geometria de visualização, substituindo o algoritmo de reflexão superficial, disponibilizando imagens a cada 16 dias). Essa é a mais importante modificação para o algoritmo da coleção 6;

- Modificação do ângulo de visada restrito (CV) da composição de imagens de valor máximo (MVC) para trabalhar com método de composição de novos fluxos de entrada;

- Atualização do EVI por meio da cópia de segurança do produto SAVI para o novo e robusto EVI de 2 bandas (não utiliza a banda espectral do azul – minimizando o efeito de superfícies de alta reflectância);

- Ajuste necessário no conjunto de dados científicos (SDS) em relação ao novo fluxo de dados de entrada, sobretudo para os dados referentes ao ângulo relativo do azimute, que utiliza uma nova dinâmica de alcance, i.e. -180 a 180 graus.

O produto MOD13Q1 tem a sua base em outro produto MODIS, i.e. MOD09 ou reflectância de superfície, que basicamente mede a quantidade de energia radiante que deixa uma unidade de área no terreno (Radiância) pela quantidade de energia incidente naquela área (Irradiância) (MENESES, 2012). O produto MOD13Q1 disponibiliza composições quinzenalmente e mensal em diferentes resoluções espaciais, sendo 250/500m (MOD13Q1/A1 – 16 dias), 1 km (MOD13A2/A3 – 16/30 dias) e 5km (MOD13C1/C2 – 16/30 dias) (Figura 12).

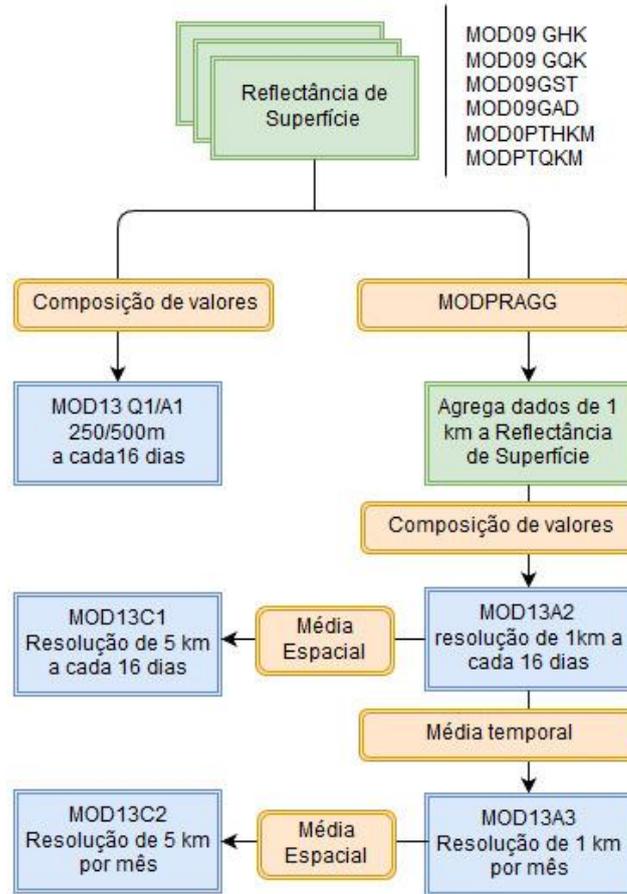


Figura 12 – Conjunto de processamento dos produtos MODIS Índice de Vegetação (IV) e processamento dos algoritmos. Adaptado: Didan et al, 2015.

O produto MODIS MOD13Q1 possui o conjunto de dados científicos composto por 2 índices de vegetação (NDVI e EVI), 4 bandas espectrais (comprimentos de onda do vermelho (RED), infravermelho próximo (NIR), Azul (BLUE) e infravermelho médio (MIR)), 2 bandas de qualidade do dado, 1 banda sobre a composição do dia do dado e 3 bandas sobre o ângulo de visada referente a aquisição das imagens (Quadro 2).

Quadro 2 – Conjunto de dados científicos referente ao produto MODIS MOD13Q1

Conjunto de dados	Unidades	tipo de dado	Intervalo válido	Fator de escala
250/500m 16 dias NDVI	NDVI	int16	-2000, 10000	0,0001
250/500m 16 dias EVI	EVI	int16	-2000, 10000	0,0001
250/500m 16 dias Qualidade do IV detalhado (QA)	Bits	uint16	0, 65534	NA
250/500m 16 dias reflectância vermelho (Banda 1)	reflectância	int16	0, 10000	0,0001
250/500m 16 dias reflectância infravermelho próximo (Banda 2)	reflectância	int16	0, 10000	0,0001

250/500m 16 dias reflectância azul (Banda 3)	reflectância	int16	0, 10000	0,0001
250/500m 16 dias reflectância infravermelho médio (Banda 7)	reflectância	int16	0, 10000	0,0001
250/500m 16 dias ângulo de visada zenital	Grau	int16	-9000, 9000	0,01
250/500m 16 dias ângulo zenital solar	Grau	int16	-9000, 9000	0,01
250/500m 16 dias ângulo zenital relativo	Grau	int16	-18000, 18000	0,01
250/500m 16 dias dia do ano da composição (DOY)	Dia do ano (DOY)	int16	1, 366	NA
250/500m 16 dias sumário da confiabilidade do pixel (QA)	Classificação	int8	0, 3	NA

Adaptado: Didan et al, 2015.

Desses conjuntos de dados apresentados, o SIAD utiliza: NDVI, confiabilidade do pixel (*pixel reliability*) e as bandas espectrais no comprimento de onda do vermelho e infravermelho próximo, ambas em valores de reflectância (0 – 1).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI -*Normalized Difference Vegetation Index*) é um índice espectral que envolve a diferença e a soma dos valores espectrais, reflectância, das bandas do vermelho e infravermelho próximo. Os valores de NDVI variam entre -1 a 1, sendo que, mais próximo de -1, maior é a supressão da vegetação ou verdor, enquanto próximo a 1, maior é proporção de vegetação fotossinteticamente ativa/verdor a na constituição do dado/pixel, não sendo, necessariamente, um bom índice indicador de biomassa da vegetação no terreno (MENESES e ALMEIDA, 2012). A equação 1 demonstra a formula do NDVI.

$$NDVI = \frac{\text{Infravermelho Próximo (NIR)} - \text{Vermelho (RED)}}{\text{Infravermelho Próximo (NIR)} + \text{Vermelho (RED)}}$$

Eq. 1

O NDVI tem a vantagem de minimizar o ruído correlacionado as bandas espectrais (positivamente correlacionadas), influências das variações na irradiância direta ou difusa, nuvens e sombras de nuvens, ângulos de visada solar, topografia e atenuação atmosférica (DIDAN et al., 2015).

A banda de confiabilidade (*Pixel reliability*) fornece a qualidade da informação pixel a pixel das imagens que compõem o produto MOD13Q1, sendo que o valor zero (0) é o de máxima confiabilidade (Tabela 6).

Tabela 6 – Confiabilidade do Pixel do produto MODIS MOD13Q1

<b>Classificação</b>	<b>Sumário de Qualidade</b>	<b>Descrição</b>
-1	Preencher/sem dado	Não processado
0	Dado Bom	Uso com confiança
1	Dado Marginal	Útil, mas veja outras informações de qualidade
2	Neve/Gelo	Alvo coberto com neve/gelo
3	Nuvem	Alvo não visível, coberto com nuvem

Adaptado: Didan et al., 2015.

O efeito de utilizar somente os pixels com a máxima confiabilidade é a falta de dados em determinadas regiões, como a Amazônia, que apresenta grande presença de nuvens ao longo do ano, sobretudo no período chuvoso, assim como, no Cerrado, das 23 composições anuais, aproximadamente 10 (período seco – maio a setembro) auxiliam no monitoramento de suas regiões, bem como a obtenção do mosaico do bioma como passagens ou períodos próximos.

O comprimento de onda da banda do Vermelho (Red) está centrado em 670 nm, sendo absorvido em quase a sua totalidade pela vegetação fotossinteticamente ativa. O contraste entre as bandas do vermelho e infravermelho próximo (700 – 1.100 nm) é uma medida sensível a quantidade de vegetação, ocorrendo maior contraste quando o dossel está completo, i.e. grande proporção de vegetação e baixa ou nenhuma influência de galhos e solo exposto, enquanto o inverso, pouca ou nenhuma vegetação, o contraste é mínimo. Dessa forma, a proporção de vegetação, estrutura e período do ano é a chave para se obter a eficiência de índices de vegetação, tais como o NDVI, pois em quantidades de vegetação, o NIR irá contribuir para aumento do contraste à medida que a banda do vermelho fica saturada devido à alta absorção da clorofila (DIDAN et al., 2015).

Diante do exposto, o levantamento do referencial teórico se faz necessário para auxiliar na escolha adequada dos materiais e métodos utilizados na presente pesquisa.

## **6 Materiais e Métodos**

O presente trabalho possui dois eixos principais para entender os desafios do monitoramento do desmatamento do bioma Cerrado. O primeiro eixo se restringe em avaliar o impacto das máscaras de vegetação natural, i.e. PROBIO e TerraClass, no processo de mapeamento das áreas desmatadas juntamente com a variação sazonal anual utilizando o Índice da Diferença da Vegetação Normalizada (NDVI) provenientes do produto MODIS MOD13Q1 das coleções 5 e 6. O segundo eixo foca na análise temporal para avaliar a tendência de mudança sazonal e antrópica da cobertura vegetal natural por meio da utilização de séries temporais do produto MOD13Q1.

Em relação ao primeiro eixo, o mapa base do SIAD é o de cobertura vegetal remanescente (natural). Toda a série histórica do SIAD é baseada no projeto PROBIO Cerrado (MMA, 2007) devido ao fato de ser o único mapa oficial disponível no período entre 2002 a 2015. Projetos como TerraClass Amazônia (2004, 2008, 2010, 2012 e 2014) e Cerrado (2013) se basearam em metodologia de mapeamento semelhante ao projeto PROBIO, i.e. segmentação, classificação e inspeção visual. Dessa forma, os mapeamentos PROBIO e TerraClass para o Cerrado constituem a base do SIAD para a identificação e mapeamento dos desmatamentos entre 2002 a 2016, sendo utilizado o TerraClass apenas para o período 2015/2016.

Especificamente para 2015-2016, buscando refinar o mapa de referência, foi subtraído da vegetação do TerraClass Cerrado os mapas de cana-de-açúcar de 2015 (CanaSat) (RUDORFF et al., 2010; AGUIAR et al., 2011)) e Floresta Plantada (*Tree Plantations*) (*Global Forest Change*, disponível em: (<https://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>), com vistas à uma maior consistência metodológica e espacial. Após a aquisição do mapa de referência é necessário realizar a conversão e compatibilização para resolução espacial moderada de 250m. O algoritmo *CELL CENTER*, i.e. através do grid da imagem (linha x coluna), converte em estrutura matricial (imagem) apenas as áreas do mapa que sobrepõe o centro do pixel (célula) com tamanho determinado pelo usuário (250m). Este algoritmo é utilizado por oferecer melhor consistência espacial em relação ao mapa de referência (mapa de vegetação, originalmente em estrutura vetorial).

A variação sazonal (i.e. basicamente o início e fim da estação chuvosa) no bioma Cerrado é outro fator que pode impactar no processo de detecção do desmatamento via imagens de satélite, sobretudo utilizando índices que realçam o sinal da vegetação (NDVI, EVI, NDFI e outros). Para avaliar o impacto da sazonalidade foram utilizados os dados de precipitação pluviométrica (mm) provenientes dos dados TRMM (2002-2014) (KUMMEROW et al., 2000) e GPM (2015-2016) (NASA; JAXA, 2016). Para entender como o SIAD Cerrado se comporta em detrimento da instabilidade do início e término do período seco e chuvoso de um ano para outro, utilizou-se a seguinte equação para a normalização da precipitação entre os períodos da análise, sendo:

$$\text{Impacto da precipitação} = \frac{\sum_{Abril}^{Março} PPT_{Anterior} - \sum_{Maio}^{Abril} PPT_{Posterior}}{\sum_{Abril}^{Março} PPT_{Anterior}} \quad \text{eq. 2}$$

A equação 2 leva em consideração a lógica que o SIAD Cerrado utiliza, ou seja, para determinar o desmatamento 2015/2016 são utilizadas imagens de junho (dia 161 – segunda quinzena) de 2015 (anterior) e de 2016 (posterior), enquanto os períodos março-abril são os meses finais do período chuvoso e abril-maio é a transição entre as estações chuvosa e seca. Dessa forma, optou-se por verificar a precipitação normalizada entre os meses de março a maio por se tratarem dos meses que antecedem o período/mês utilizado na detecção de desmatamento para o bioma. O cálculo da precipitação normalizada foi aplicado na série histórica do SIAD Cerrado (2003 a 2016).

Partindo do pressuposto que o mapa de vegetação natural remanescente de referência deve ser o mais próximo do real e das melhorias da coleção 6 em relação a coleção 5 para o produto MOD13Q1, optou-se por processar o SIAD Cerrado referente ao período 2015/2016 para ambas coleções e mapas de referência (i.e. PROBIO e TerraClass Cerrado). Os limiares de detecção utilizados estão entre 20% a 50%, variando de 5% em 5%, para identificar o impacto da quantidade de alertas gerados pelo SIAD considerando duas máscaras de vegetação remanescente com diferentes acurácias/precisão espaciais e coleções do índice de vegetação.

O segundo eixo, análise temporal do comportamento espectral das áreas desmatadas, consiste em analisar possíveis quebras nas séries temporais MODIS (de 2000 a 2017) associadas aos desmatamentos identificados como verdadeiros em 2016, utilizando o algoritmo *Breaks For Additive Seasonal and Trend* (BFAST) (VERBESSELT et al., 2010). O BFAST analisa principalmente rupturas por meio da decomposição de séries temporais em componentes de tendência e sazonalidade, identificando mudanças na paisagem por meio de séries temporais, calculando iterativamente o número de mudanças e caracterizando a sua magnitude e direção (SANTOS et al., 2017).

Especificamente sobre a identificação de polígonos de desmatamentos verdadeiros e falsos, esta se baseou na inspeção visual dos polígonos gerados automaticamente pelo SIAD; i.e. cada polígono SIAD foi inspecionado com base em imagens Landsat, conforme ilustrado na figura 13.

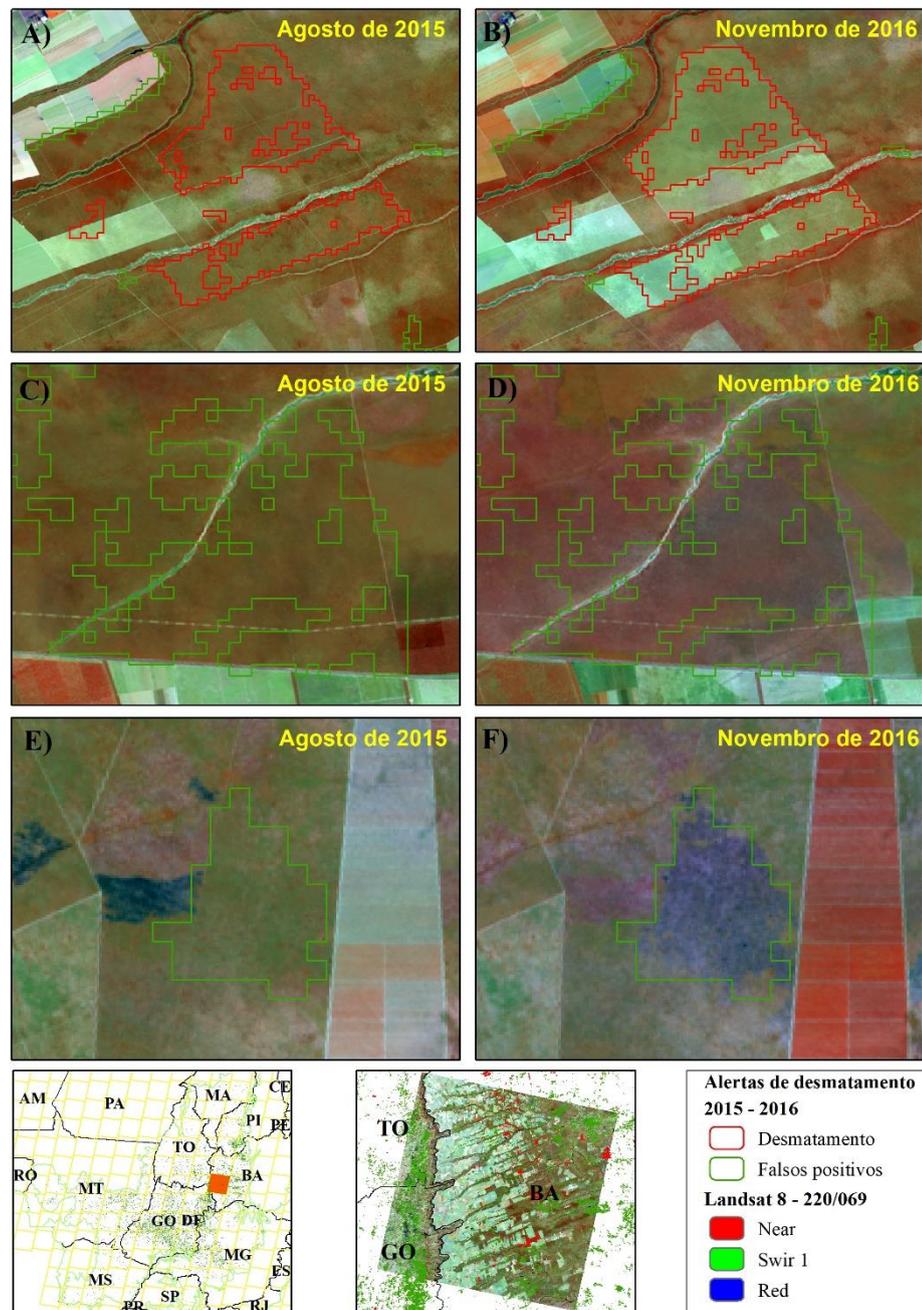


Figura 13 - Processo de inspeção visual dos alertas de desmatamentos gerados pelo SIAD.

Sobre o uso de séries temporais, estas podem ajudar a compreender a trajetória das áreas detectadas pelo SIAD Cerrado, identificando desmatamentos verdadeiros e/ou a causa dos falsos positivos (i.e. queimada, nuvem ou sazonalidade), além de verificar se estas áreas já foram abertas em um passado não muito distante e se regeneraram. Espera-se que áreas desmatadas possuam valores contínuos ou negativos após a conversão. Por outro lado, falsos positivos, associados, por exemplo às áreas queimadas, há valores crescentes (taxas de rebrota) obtidos nas imagens seguintes (Figura 14).

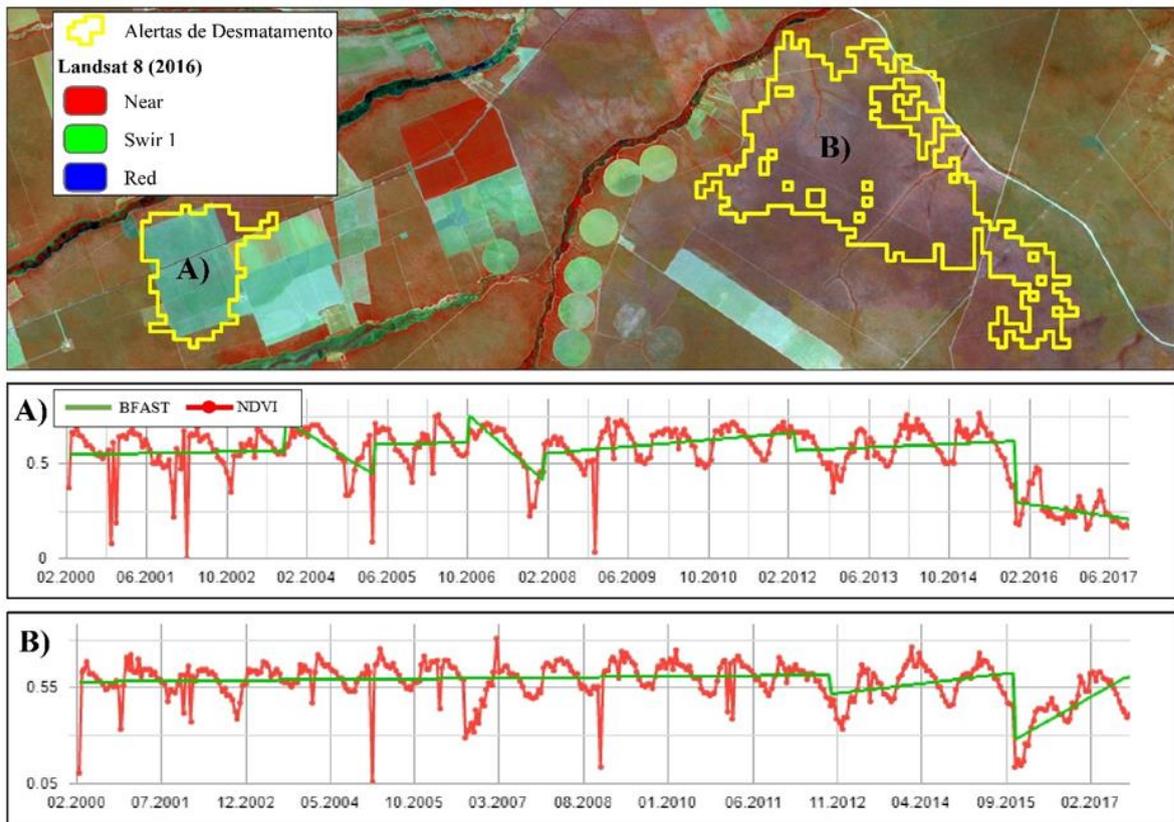


Figura 14 – Série temporal de NDVI MODIS. A esquerda desmatamento verdadeiro datado em novembro de 2015 e a direita o falso desmatamento em área queimada identificada no mesmo período. Em verde, a detecção de ruptura no BFAST.

A série temporal utilizada é composta pelo produto MOD13Q1 do sensor MODIS, base utilizada pelo SIAD. Lu et al. (2016) realizaram a análise temporal para detecção do desmatamento no estado do Mato Grosso (MT), município de Juara, utilizando o BFAST e imagens MODIS, obtendo resultados positivos para detecção dos desmatamentos por meio da modelagem de mudanças espaço-temporais. Em particular, espera-se que o BFAST detecte rupturas nas séries temporais em áreas de vegetação natural remanescente do bioma Cerrado, de regime pluviométrico marcante em períodos chuvoso e seco bem definidos e vegetação com pelo menos 11 tipos de fitofisionomias (WALTER e RIBEIRO, 2006) de alta sazonalidade.

A série temporal utilizada com intervalo de 2000 a 2017 de NDVI foi organizada pelo LAPIG (MALAQUIAS et al., 2017a; MALAQUIAS et al., 2017b). Com base na série de NDVI, o BFAST possui como resultado a quantidade de rupturas (quebras) em toda a série, a data, a magnitude (diferença de valor entre dados detectados como ruptura), o intercepto (relação dos valores da quebra com o valor inicial da série temporal) e o *slope* (tendência após a detecção da ruptura, podendo ser positiva, estável ou negativa) referentes a cada quebra identificada. Caso se detecte uma ruptura e logo na próxima imagem os valores estejam nos

padrões da curva sazonal característica de determinado tipo de vegetação, este é classificado como ruído e ignorado, abordando apenas as rupturas que detenham valores próximos aos da quebra caracterizando-se um *Break point*.

O parâmetro determinante na detecção de quebras é o fator H (intervalo temporal de detecção) (LU et al., 2016), que quando não ajustado adequadamente pode vir a omitir as informações desejadas. Pelas características sazonais do Cerrado, foi determinado o H de 6 meses, pois o algoritmo identifica a quebra com maior magnitude entre a janela estipulada, podendo detectar anomalias separadamente nas estações chuvosa e seca.

O BFAST foi executado para todos os alertas de desmatamento identificados pelo SIAD para o ano de 2016. Para cada alerta foi calculada a média dos valores de NDVI em toda a série temporal, buscando um valor médio individual por alerta, pois a análise a partir do centroide não garante que o pixel analisado se encontre dentro do polígono que, por sua vez, possui geometria indefinida. Além disso, de acordo com Santos et. al. (2017) não há diferença significativa entre utilizar o valor médio para o alerta ou o centroide. Entretanto, o estudo foi desenvolvido em outro contexto com formações florestais tropicais na Amazônia brasileira situada no estado do Mato Grosso. Após obtenção das informações adquiridas pelo BFAST, foram utilizadas apenas as informações referentes ao período de análise do SIAD para 2016 i.e. de DOY 161 de 2015 a DOY 161 de 2016.

Os alertas de desmatamentos categorizados como falsos positivos são determinados por causas intrínsecas e extrínsecas como queimada, sazonalidade da vegetação e mapa de referência. Para identificar possíveis padrões que resultam em alertas falsos positivos, foram escolhidas manualmente, de forma semialeatória, 50 amostras em diferentes regiões do Cerrado, nas quais 10 são provenientes de áreas desmatadas, 10 de áreas de vegetação impactadas pela sazonalidade, 10 em áreas queimadas (Figura 15) (i.e. identificadas no processo de inspeção visual do SIAD) e mais 20 de borda impactadas pelo processo de compatibilização do mapa de vegetação de 30m, TerraClass Cerrado, para 250m, sendo 10 em áreas agrícolas e 10 em pastagens (Tabela 7), contemplando com a maior representatividade possível dentro do polígono.

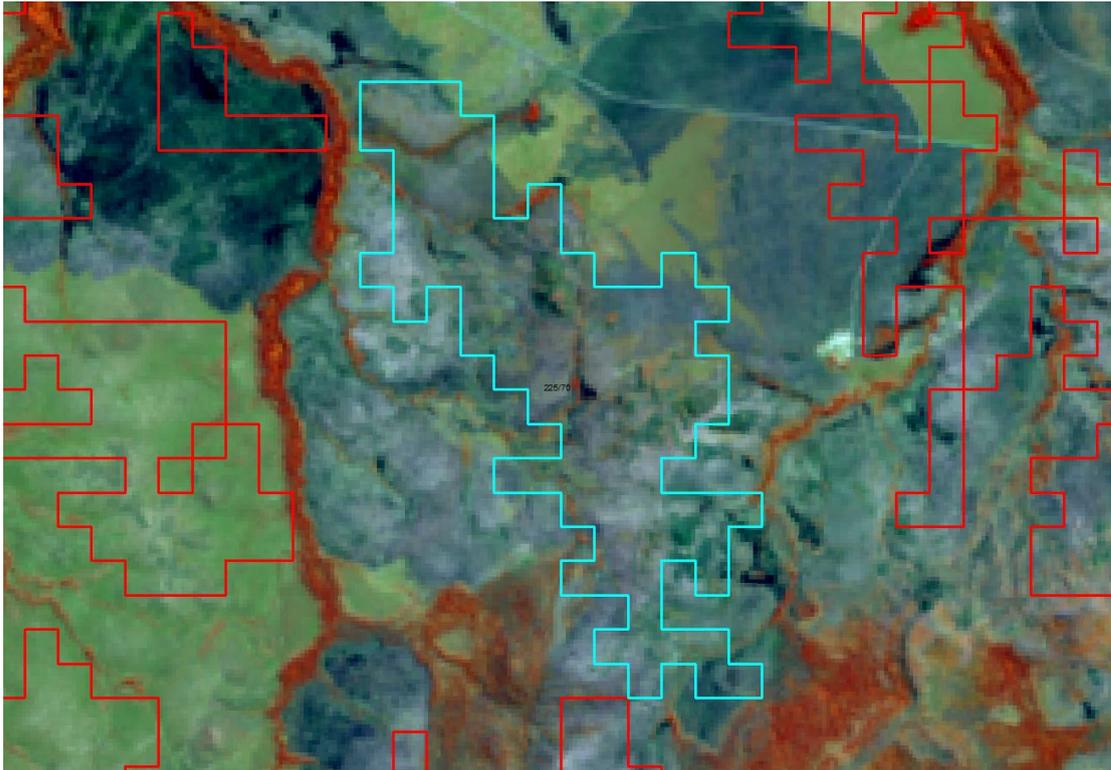


Figura 15 – Alerta de desmatamento do SIAD (2016) (em cor azul) categorizado como falso positivo devido a ocorrência da queimada sobre a vegetação remanescente de formação savânica.

Tabela 7 – Amostras selecionadas para análise dos polígonos de desmatamento do SIAD Cerrado de 2016 com o algoritmo BFAST.

<b>CATEGORIA</b>	<b>MUNICÍPIO</b>	<b>UF</b>	<b>LONGITUDE</b>	<b>LATITUDE</b>
DESMATAMENTO	SÃO GONÇALO DO ABAETÉ	MG	-45,462	-17,960
DESMATAMENTO	BURITIZEIRO	MG	-45,305	-17,164
DESMATAMENTO	COCALINHO	MT	-51,318	-14,084
DESMATAMENTO	NOVA MUTUM	MT	-56,161	-13,514
DESMATAMENTO	NOVA MUTUM	MT	-56,529	-13,398
DESMATAMENTO	SANDOLÂNDIA	TO	-49,781	-12,247
DESMATAMENTO	DUERÉ	TO	-49,802	-11,011
DESMATAMENTO	BALSAS	MA	-45,884	-7,615
DESMATAMENTO	SÃO FÉLIX DE BALSAS	MA	-44,899	-7,337
DESMATAMENTO	SÃO FÉLIX DE BALSAS	MA	-44,891	-7,307
VEGETAÇÃO	BURITIZEIRO	MG	-45,188	-17,87
VEGETAÇÃO	PARANATINGA	MT	-54,510	-14,353
VEGETAÇÃO	CAMPINÁPOLIS	MT	-53,378	-14,188
VEGETAÇÃO	SÃO DESIDÉRIO	BA	-45,663	-13,012
VEGETAÇÃO	BAIANÓPOLIS	BA	-44,523	-12,438
VEGETAÇÃO	BARREIRAS	BA	-45,207	-12,237
VEGETAÇÃO	LAGOA DA CONFUSÃO	TO	-49,997	-11,058
VEGETAÇÃO	RIO SONO	TO	-47,332	-9,990
VEGETAÇÃO	SÃO JOÃO DOS PATOS	MA	-43,541	-6,697
VEGETAÇÃO	SÃO JOÃO DOS PATOS	MA	-43,593	-6,646
QUEIMADA	CAMPINÁPOLIS	MT	-53,079	-14,284
QUEIMADA	CAMPINÁPOLIS	MT	-53,108	-14,265
QUEIMADA	CANARANA	MT	-51,659	-13,591
QUEIMADA	RIBEIRÃO CASCALHEIRA	MT	-51,294	-13,100
QUEIMADA	FORMOSO DO ARAGUAIA	TO	-50,492	-11,630

QUEIMADA	LAGOA DA CONFUSÃO	TO	-50,103	-11,144
QUEIMADA	TOCANTÍNIA	TO	-48,109	-9,573
QUEIMADA	TOCANTÍNIA	TO	-48,056	-9,432
QUEIMADA	SUCUPIRA DO NORTE	MA	-44,139	-6,322
QUEIMADA	MATÕES	MA	-43,350	-5,302
AGRICULTURA	PONTA PORÃ	MS	-55,439	-22,481
AGRICULTURA	PEDRINÓPOLIS	MG	-47,440	-19,258
AGRICULTURA	TUPACIGUARA	MG	-48,766	-18,550
AGRICULTURA	VAZANTE	MG	-47,080	-18,204
AGRICULTURA	JABORANDI	BA	-45,703	-13,847
	LUÍS EDUARDO			
AGRICULTURA	MAGALHÃES	BA	-46,200	-12,309
AGRICULTURA	BOM JESUS	PI	-44,559	-9,068
AGRICULTURA	BAIXA GRANDE DO RIBEIRO	PI	-45,266	-8,597
AGRICULTURA	MIRADOR	MA	-44,192	-6,272
AGRICULTURA	PARNARAMA	MA	-43,532	-5,840
PASTAGEM	TUPACIGUARA	MG	-48,982	-18,511
PASTAGEM	CATALÃO	GO	-48,044	-18,223
PASTAGEM	IPAMERI	GO	-48,123	-17,793
PASTAGEM	PIRACANJUBA	GO	-48,991	-17,297
PASTAGEM	ARAÇU	GO	-49,717	-16,346
PASTAGEM	RUBIATABA	GO	-49,972	-15,141
PASTAGEM	ÁGUA FRIA DE GOIÁS	GO	-48,010	-14,969
PASTAGEM	SERRA NOVA DOURADA	MT	-51,286	-11,976
PASTAGEM	SANTA RITA DE CÁSSIA	BA	-44,556	-10,859
PASTAGEM	PARAIBANO	MA	-43,895	-6,486

Após realizar todos os processos na presente pesquisa, a seguir apresentamos os resultados obtidos.

## 7 Resultados

Os mapas base da vegetação remanescente para o Cerrado, PROBIO (2002) e TerraClass Cerrado (2013), apresentam uma diferença de 6% na extensão territorial, redução de 60,5% para 54,5%, respectivamente. Entretanto, de acordo com os alertas gerados pelo SIAD no mesmo período entre os mapeamentos base, a área convertida foi de 4,8% (Figura 16).

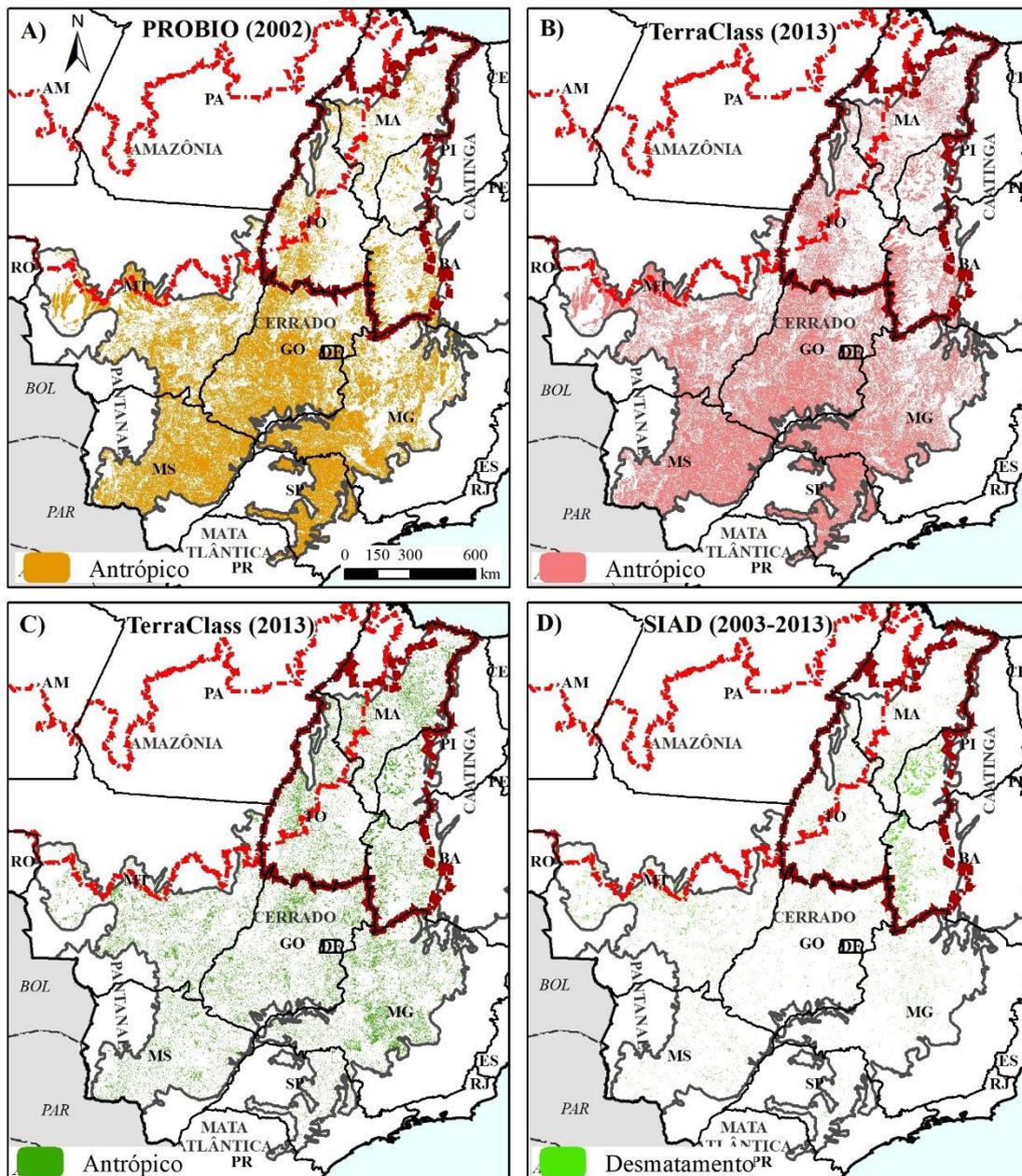


Figura 16 – Mapeamentos de áreas antropizadas para o bioma Cerrado (A e B), incremento de áreas antropizadas (C) segundo o TerraClass Cerrado (2013) em relação ao PROBIO (2002) e desmatamentos SIAD entre 2003 a 2013 (D).

Ainda que haja uma diferença de 1,2% de área natural convertida, há uma grande convergência entre os mapas de referência com os dados registrados pelo SIAD, devendo ser ressaltada as diferenças metodológicas; entre estas, a escala de mapeamento de ambos projetos. Com base no PROBIO, o SIAD detém área média anual de 5,1 mil km<sup>2</sup>, com altos valores de desmatamentos nos primeiros anos de análises (2003 e 2004), seguido de quedas, aumento entre 2011 e 2012, e redução com valores abaixo da média, indicando queda na supressão da vegetação natural remanescentes do bioma, como ilustrado no gráfico 3.

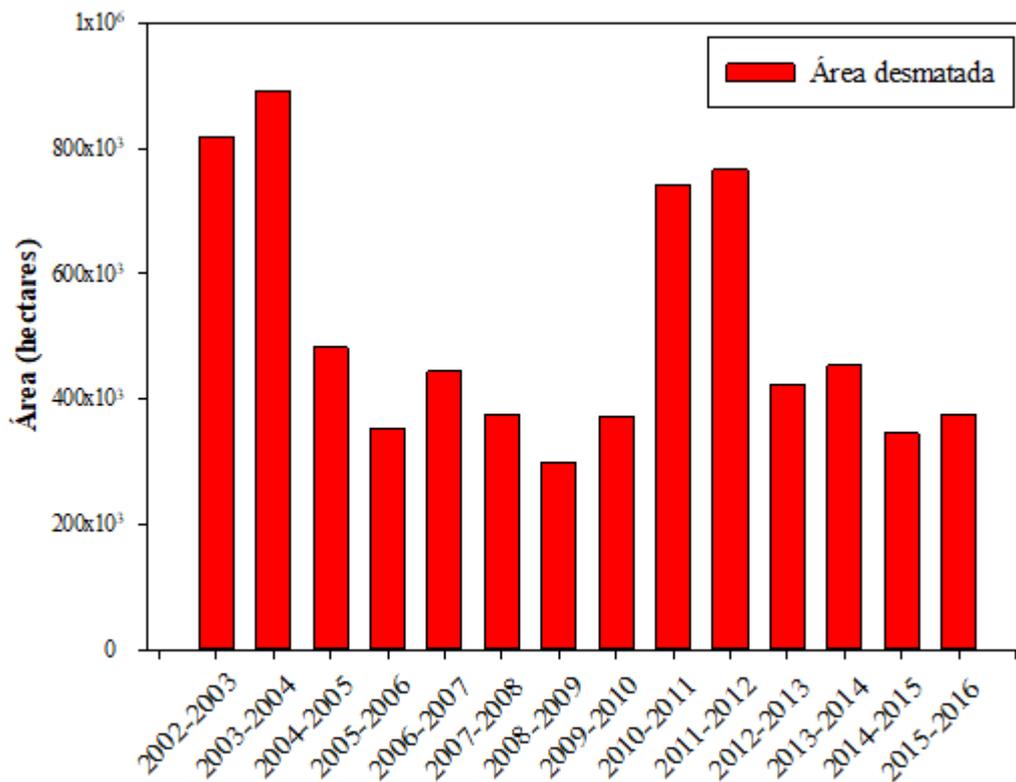


Gráfico 3 – Áreas desmatadas detectadas pelo SIAD entre 2003 a 2016 utilizando o mapeamento PROBIO e imagens do produto MOD13Q1.

Especificamente para o período 2015-2016, no total, foram gerados 101.902 polígonos, sendo 3.185 identificados como verdadeiros e 98.717 como falsos (segundo o processo de inspeção visual).

Basicamente, os alertas verdadeiros se concentram em regiões onde há grandes núcleos de vegetação natural e que estão próximas a grandes processos de conversão, tais como o estado de Mato Grosso e a região do Matopiba. Nos demais estados em que o Cerrado possui os seus limites, o desmatamento ocorre em menor proporção por se tratarem de regiões com maior densidade de antropismo e/ou área convertida, ou seja, os desmatamentos são majoritariamente para manutenção de áreas abertas e não para novas aberturas. No estado do Mato Grosso, conforme dados do SIAD, a ocorrência de desmatamento vem sofrendo redução nos últimos 15 anos, e pode estar relacionado às políticas públicas, a exemplo da moratória da soja (tratado de comercialização da soja, que coíbe a compra da produção em áreas desmatadas após 2006 na Amazônia Legal) (CARDOSO, 2008) e para a região do Matopiba, que em 2015, foi implementado o Plano de Desenvolvimento Matopiba, projeto de ampliação da área de cultivo de *commodities* (LUMBRERAS et al., 2015) que anteriormente era conhecida por Oeste baiano (porção de Cerrado do estado da Bahia) (SILVA, 2013).

Já os falsos positivos se distribuem em todo o bioma, pois, são caracterizados por nuvens (ocorrem em todo o bioma), queimadas (maior ocorrência em áreas de formações savânicas e campestres, geralmente na estação seca), sazonalidade da precipitação (condições climáticas) e mapeamento de referência (erro de comissão, incluindo em seu mapeamento áreas antropizadas), que somados apresentam maior quantidade de falsos alertas de desmatamento.

O processo de compatibilização do mapa de referência, i.e. realizado com imagens do satélite Landsat com 30 metros de resolução espacial ( $900\text{m}^2$ ) reamostradas para resolução do sensor MODIS i.e. 250 metros (6,25 hectares), impacta diretamente no mapeamento dos polígonos do desmatamento (Figura 17). Por exemplo, o mapa de vegetação do PROBIO 2016 (i.e. PROBIO 2002 com subtração da série SIAD de 2002-2003 a 2014-2015) suprimiu uma área de 1.09 milhões de  $\text{km}^2$  e, após a compatibilização para 250m, a área passou para 1.28 milhões de  $\text{km}^2$ , apresentando o aumento de 15% (195 mil  $\text{km}^2$ ), enquanto o mapeamento TerraClass Cerrado registrou um aumento de 11% em relação a sua área base.

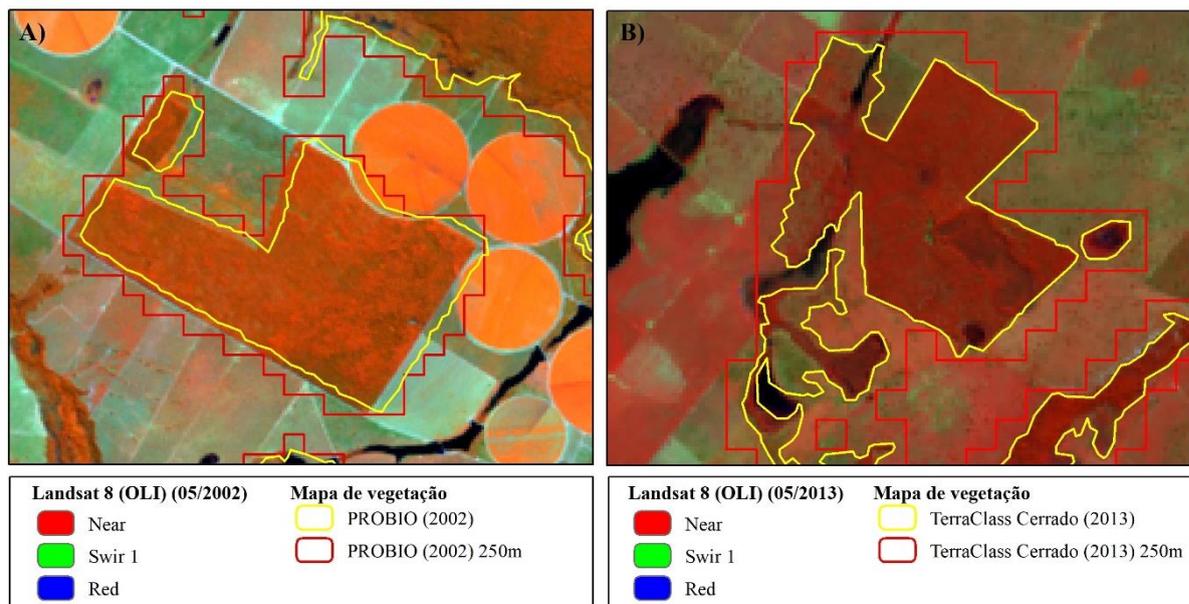


Figura 17 – Comparação da área de vegetação remanescente do PROBIO (A) e TerraClass Cerrado (B) convertidos para células de 250 m.

Outro importante dado para a execução do SIAD é o índice de vegetação NDVI proveniente do produto MOD13Q1. Dessa forma, os resultados provenientes das coleções 5 e 6 do MOD13Q1, verificou-se o aumento médio de 31% e 37%, respectivamente, da coleção 6 para a coleção 5, aumento diretamente relacionado as melhorias radiométricas entre as coleções. Considerando os mapas de referência, verificamos que, o processamento SIAD utilizando o mapa PROBIO gerou mais alertas de desmatamento em relação ao mapa TerraClass Cerrado, com diferenças médias de 24% e 16% utilizando as coleções 5 e 6, respectivamente.

Com o aumento do limiar de mudança espectral em 5% para cada processamento do SIAD variando de 20 (limiar base) a 50 (i.e. coleções 5 e 6 entre PROBIO e TerraClass Cerrado), a diferença entre os valores diminuem conforme se aproximam dos 50% (Gráfico 4), sendo esse limiar o ponto de intersecção entre os processamentos utilizando ambas coleções e mapeamentos base, ou seja, geram praticamente a mesma quantidade de alertas de desmatamentos entre os dados e combinações utilizadas. Sendo assim, se faz necessário equilibrar os limiares, pois próximo a 50% de mudança (limiar conservador), a quantidade de alertas falsos positivos a serem inspecionados diminui em detrimento do aumento do erro de omissão. Limiares menos conservadores, por sua vez, próximo a 20%, temos o aumento do erro de comissão, consequentemente, aumenta o período de inspeção visual devido à grande quantidade de alertas gerados.

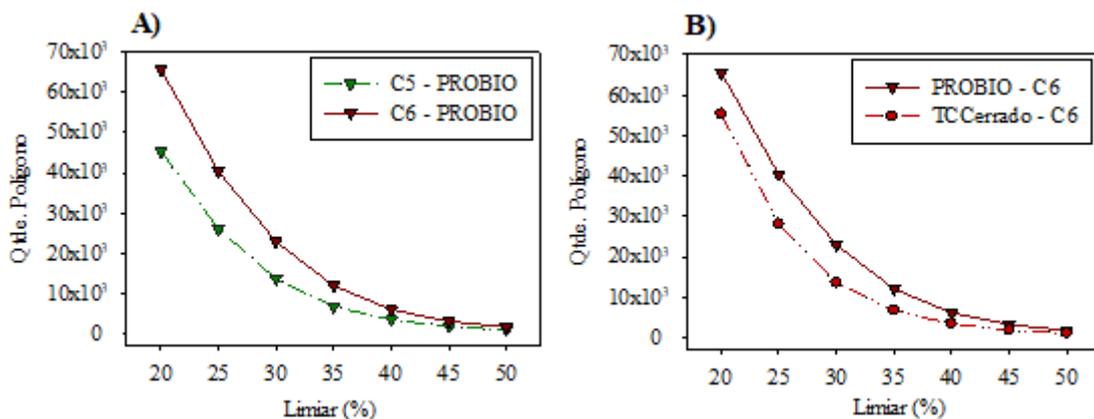


Gráfico 4 – Distribuição da quantidade dos alertas de desmatamento SIAD 2016, utilizando a coleção 5 e 6 do sensor MODIS (A) e mapeamentos de vegetação natural remanescente PROBIO e TerraClass Cerrado (B).

Outra variável importantíssima no processo do mapeamento do desmatamento no Cerrado, que não está contida diretamente no processo de alertas de desmatamento, é a sazonalidade do período chuvoso, a qual influencia diretamente no verdor da vegetação do Cerrado que, captada pelo sensor MODIS por meio da reflectância, constitui o pixel (resultado da mistura espectral dos diferentes objetos que compõem a superfície terrestre por unidade de área) a ser analisado pelo SIAD. O processo de resiliência (i.e. capacidade de recuperação) da vegetação após longos períodos secos é rápido após as primeiras precipitações e vice-versa, sobretudo para fitofisionomias arbustivas e herbáceas.

O gráfico 5 nos mostra que os períodos de mapeamentos do SIAD entre anos, cujas as anomalias de precipitação são positivas, i.e. ano chuvoso seguido por ano seco, tem-se os maiores registros de alertas de desmatamento, como é o caso dos períodos de 2003-2004, 2006-2007, 2009-2010, 2011-2012, 2013-2014 e 2015-2016, enquanto entre anos, cujas as anomalias

de precipitação são negativas, ou seja, ano anterior seco e posterior chuvoso, a quantidade de alertas de desmatamento diminui drasticamente, mesmo considerando limiares de detecção baixos, como 20%, destacando-se os períodos 2007-2008, 2010-2011, 2012-2013 e 2014-2015.

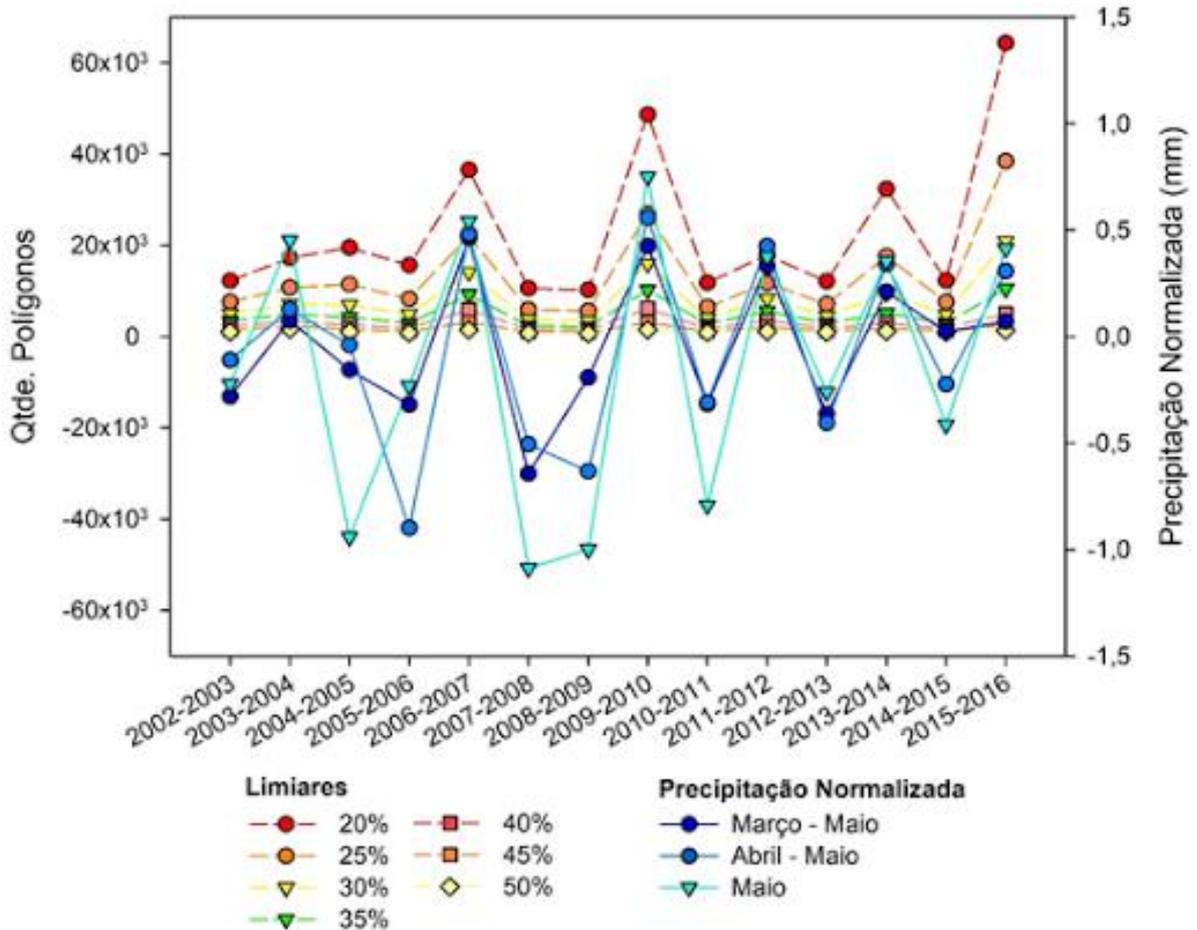


Gráfico 5 – Quantidade de alertas gerados pelo SIAD anualmente com intervalos no limiar de 5% e precipitação normalizada entre os meses de março a maio, abril e maio e apenas maio.

Considerando apenas os alertas gerados a partir do limiar de 20%, maior suscetibilidade a variação sazonal entre os períodos considerados, os maiores picos de alertas de desmatamento coincidem justamente na transição de entre os anos com os menores e maiores registros de focos de calor no Cerrado (INPE, 2017), enquanto que, a transição dos anos com os maiores registros de focos, i.e. 2007, 2010, 2012 e 2015, temos a menor quantidade de alertas gerados (Gráfico 6). Os anos de 2015 e 2016 foram anos bastante anômalos em relação aos focos de calor, registrando a maior quantidade de focos de calor entre 2011 a 2016, muito em função das altas temperaturas de superfície registradas e por apresentar precipitação mensal irregular durante o ano, sobretudo na estação chuvosa.

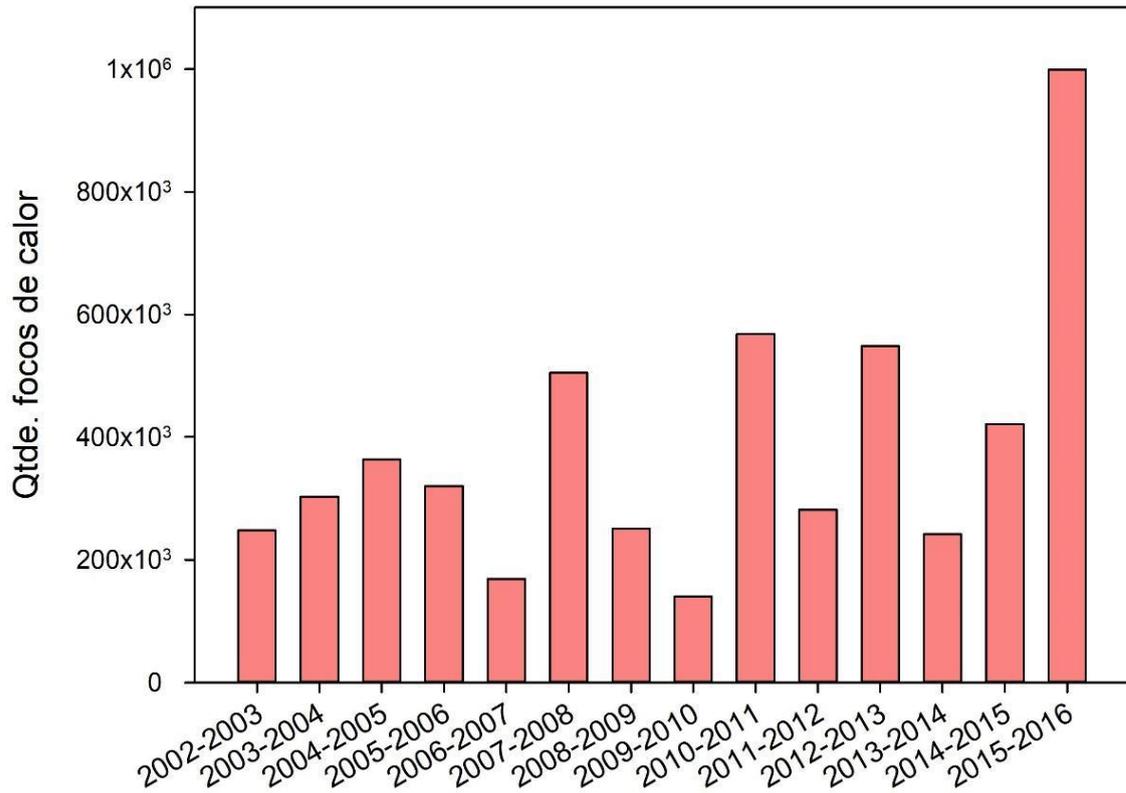


Gráfico 6 – Quantidade de focos de calor no bioma Cerrado para os períodos de monitoramento do SIAD.

O SIAD detectou 101.902 alertas de desmatamento para o ano de 2016, indicando possíveis alterações na cobertura natural remanescente. Destes, 3% (3.185) foram classificados como desmatamento através do método de inspeção visual (LEITE; BRITO, 2011) e 97% (98.717) determinados como falsos positivos (queimada, sazonalidade da vegetação, erro do mapa de referência, dentre outros). Devido à grande quantidade de falsos positivos, aplicou-se o algoritmo BFAST em todos os polígonos detectados pelo SIAD no período de análise 2015-2016 com a finalidade de encontrar métodos para redução dos falsos positivos. Os valores médios para as categorias de desmatamentos e falsos positivos são: magnitude de -0,05 e -0,03, intercepto 0,67 e 1,37 e slope -0,005 e -0,004, respectivamente.

Dos 101.902 polígonos analisados, 83,4% (84.971) obtiveram quebras com 42,8% (43.630) concentrados no ano de 2015 e 40,6% (41.341) em 2016, mostrando que as mudanças resultantes dos processos antrópicos e/ou naturais ocorrem ao longo do ano, pois, o mesmo comportamento foi observado para os polígonos classificados como desmatamento (3.185), possuindo 44% (1.389) em 2015, 49% (1.556) no ano de 2016 e 8% (240) não foram identificados pelo BFAST (Figura 18).

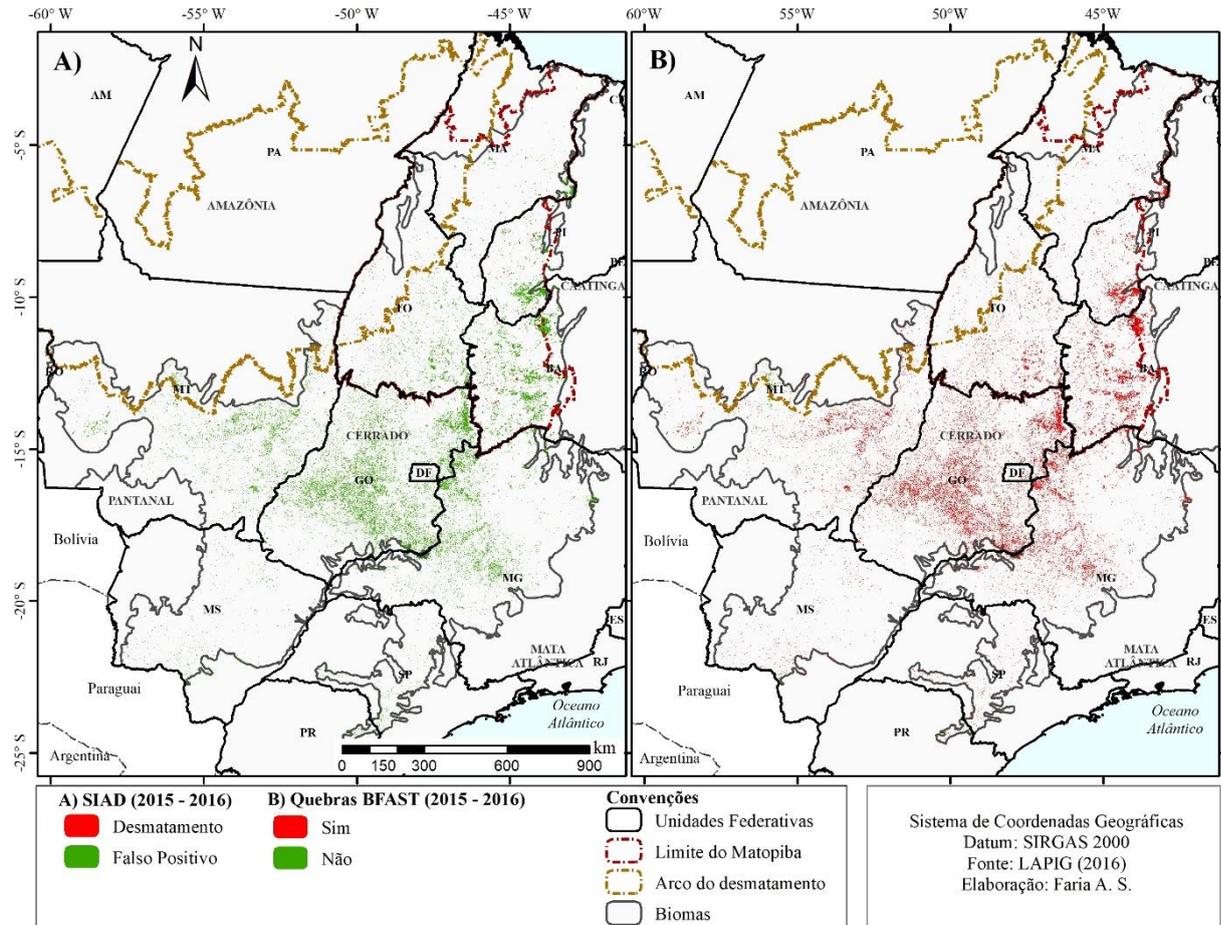


Figura 18 - Distribuição dos alertas de desmatamento classificados como desmatamento e falsos positivos através de inspeção visual (A) e a distribuição dos alertas de desmatamento conforme detecção de quebras encontradas pelo BFAST (B).

No gráfico 7, verificamos que os alertas são identificados de forma crescente quando analisados mensalmente na mesma janela utilizada pelo SIAD (i.e. de junho a maio), com menos de 4% em junho e chegando a quase 12% em abril, período com maior quantidade de desmatamentos identificados nos 12 meses analisados, registrando queda no mês seguinte. Acredita-se que os meses com maiores registros se dão por conta de o período chuvoso possuir muitas nuvens, camuflando os desmatamentos que serão identificados apenas meses depois na estação seca através de imagens satélites.

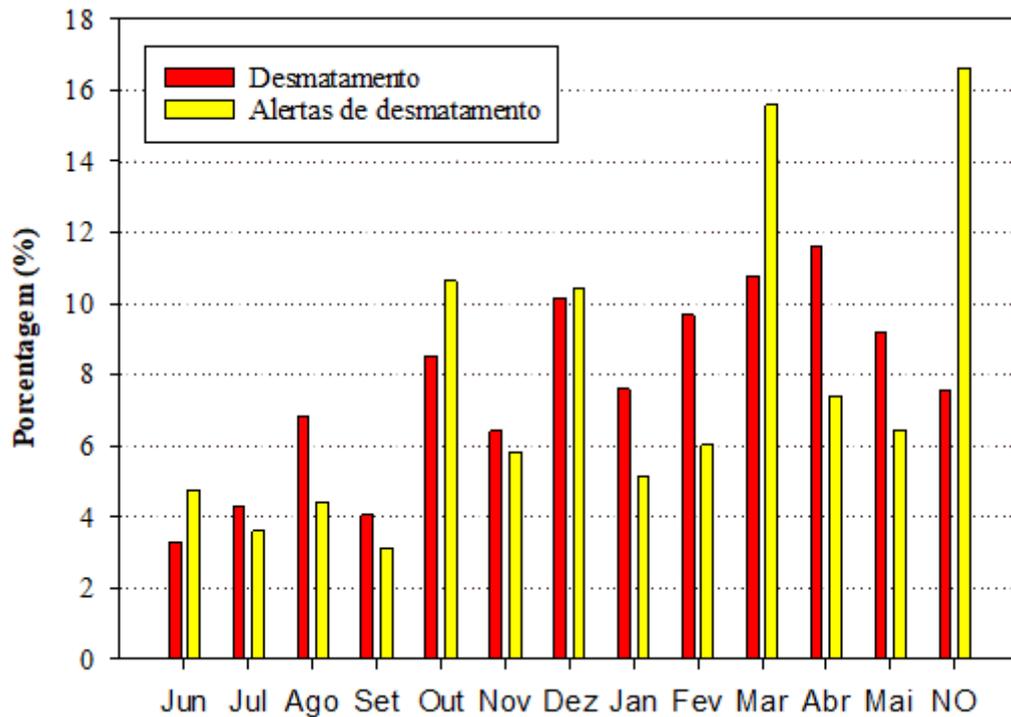


Gráfico 7 - Distribuição mensal dos alertas de desmatamento 2015-2016 de acordo com a detecção BFAST.

Os demais polígonos do SIAD (2015-2016), totalizando 16,6% (16.931), não obtiveram detecções de quebras encontradas entre junho de 2015 a junho de 2016 (DOY 161, período de análise do SIAD), com 99% (16.691) dos polígonos classificados como falsos positivos (não desmatamento) e 1% (240) destes polígonos foram interpretados como desmatamento, não identificado quebras pelo algoritmo BFAST. Desta forma, foi realizada a matriz de avaliação de precisão (PONTIUS JR; MILLONES, 2011) sobre os resultados obtidos com o algoritmo BFAST nos alertas de desmatamento SIAD (2015-2016) (Quadro 3).

Os alertas de desmatamento que não houveram quebras de acordo com o BFAST possuem apenas 1% de omissão, com 99% de concordância com a inspeção visual, classificados como falsos positivos. Já os alertas classificados como desmatamento possuem concordância de 3% com as quebras identificadas pelo BFAST, logo, a comissão é de 97%, ou seja, são identificadas áreas de não desmatamento. Dos 3.185 alertas determinados como desmatamento por inspeção visual, o BFAST concorda em 92%, omitindo 8% (240). Os alertas falsos positivos (98.717) possuem concordância com o BFAST em apenas 17%, o restante, 83%, é erro de comissão. Desta forma, a acurácia global é de 19% de precisão entre a inspeção visual dos alertas de desmatamento e o algoritmo BFAST (Quadro 3). Assim, o algoritmo BFAST é eficaz para filtrar os polígonos falsos positivos (não desmatamento), com 99% de acerto baseado em comparação com os alertas inspecionados visualmente.

		SIAD			
		FP	D	Total	
BFAST	FP	16.691	240	16.931	1%
	D	82.026	2.945	84.971	97%
	Total	98.717	3.185	101.902	
		83%	8%		<b>19%</b>
FP - Falsos positivos					
D - Desmatamento					

Quadro 3 - Matriz de avaliação de precisão dos alertas de desmatamento SIAD (2015-2016) e das quebras na série temporal (2015-2016) identificadas pelo algoritmo BFAST.

O BFAST, assim como o SIAD, verificou anomalias nos valores de NDVI entre 2015 e 2016. A diferença entre as análises da presente pesquisa é que o BFAST verifica uma série temporal de 2000 a 2017, enquanto o SIAD avalia a diferença normalizada do NDVI entre duas datas fixas (DOY 161 2015 e DOY 161 2016). Com as 50 amostras selecionadas para análise (i.e. 10 de desmatamento, 10 de vegetação impactada pela sazonalidade, 10 de área queimada no período de análise e 20 de borda com o mapeamento de referência, contendo 10 em áreas agrícolas e 10 em áreas de pastagens) confirmou se que, independente da causa, todas as amostras possuem queda nos valores de NDVI, conforme gráfico 8 (e apêndice 1).

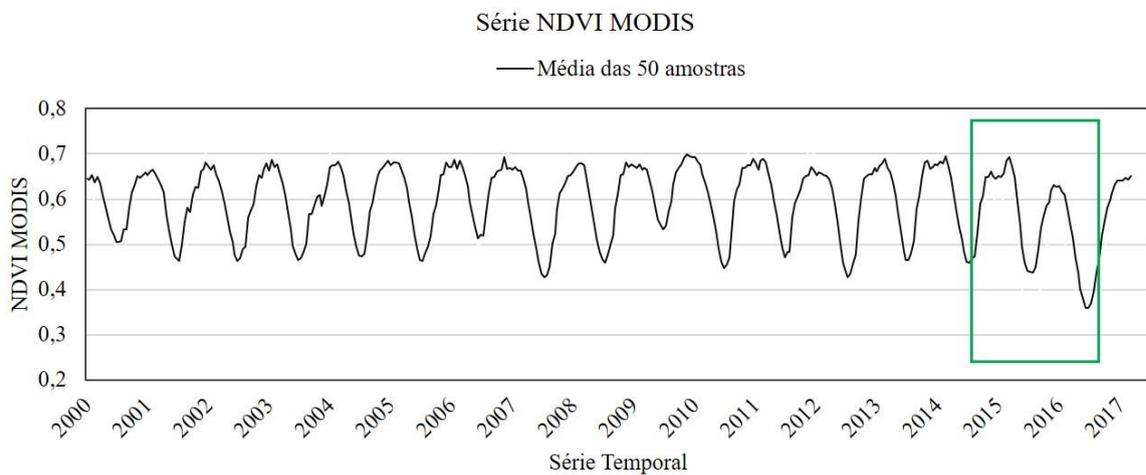


Gráfico 8 – Valores médios de NDVI MODIS das 50 amostras selecionadas provenientes dos polígonos de desmatamento do SIAD (2015-2016) sobre áreas de vegetação com efeito sazonal, queimada, agricultura e pastagem (10 amostras de cada classe).

Para as 10 amostras selecionadas de desmatamentos, vemos que os valores encontrados na série temporal entre o período analisado são mais baixos que os valores anteriores, caracterizando mudança da cobertura. A vegetação com formações florestais e savânicas possuem valores de NDVI acima de 0,5, parâmetros utilizados por Boratto e Gomide (2013) no

mapeamento realizado para a vegetação remanescente da região norte do estado de Minas Gerais, com predominância de Cerrado e transição de Mata Atlântica, contando ainda com uma pequena parcela de Caatinga no extremo norte do estado (Figura 19).



Figura 19 – Distribuição espacial dos biomas Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica no estado de Minas Gerais.

Neste contexto, a série temporal entre 2000 a 2014 possui valores característicos de Vegetação, com mínimos superiores a 0.5. Já no intervalo de análise (2015 a 2016), os valores de NDVI ficam abaixo de 0.3, valores característicos de formações gramíneas, mostrando que há pouca presença de vegetação arbórea e arbustiva, caracterizando desmatamento, conforme gráfico 9.

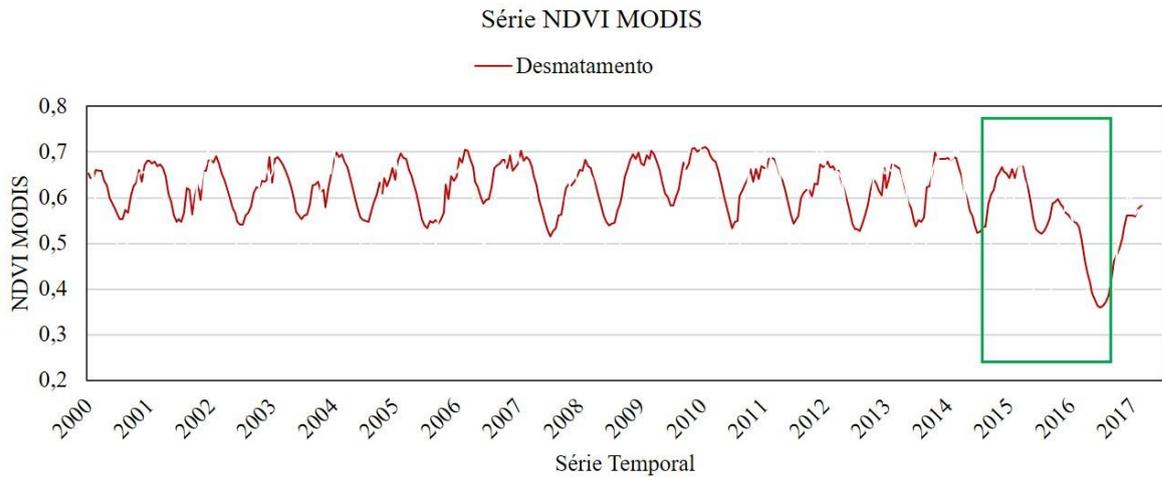


Gráfico 9 – Série temporal NDVI MODIS referentes as 10 amostras de desmatamentos detectados pelo SIAD (2015-2016).

Os polígonos nos quais a vegetação sofreu alteração, provavelmente pela sazonalidade da precipitação, percebeu-se leve alteração nos valores do período em análise, identificando mudança na sazonalidade da série NDVI. A vegetação sofreu perturbações por questões naturais e com início do período chuvoso, os valores de NDVI retornam à normalidade (Gráfico 10).

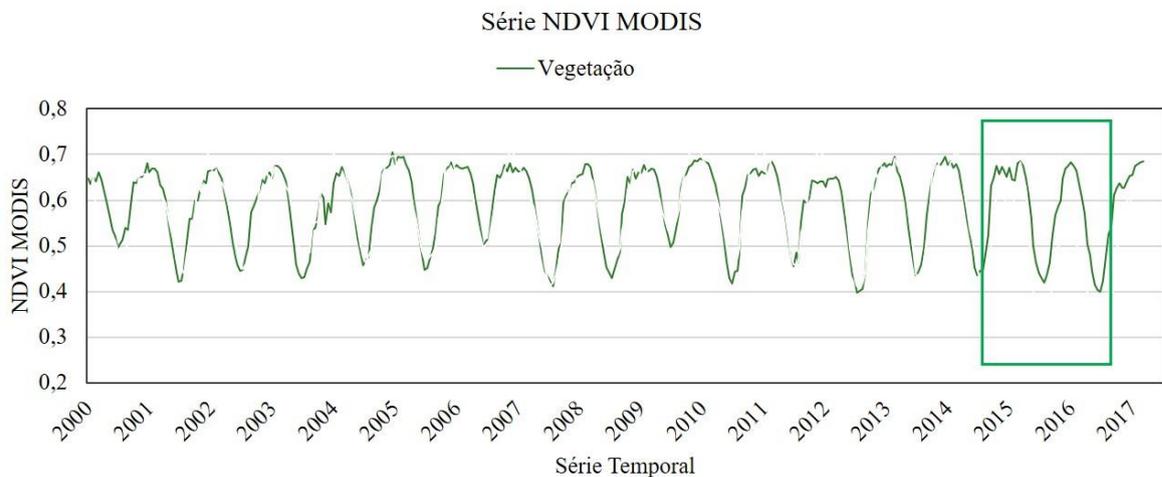


Gráfico 10 - Série temporal NDVI MODIS referentes as 10 amostras de vegetação (impactada pela sazonalidade da chuva) detectadas pelo SIAD (2015-2016) e classificadas como falsos positivos.

Nas amostras adquiridas que houveram queimadas no período de análise (2015-2016), os valores na série de NDVI sofreram alteração e se aproximaram aos de desmatamento, com diferencial nos valores posteriores a detecção da anomalia, que chegaram a ultrapassar os picos encontrados anteriormente a quebra devido à alta taxa de rebrota da planta após a queima, apresentando altos índices fotossintéticos (Gráfico 11).

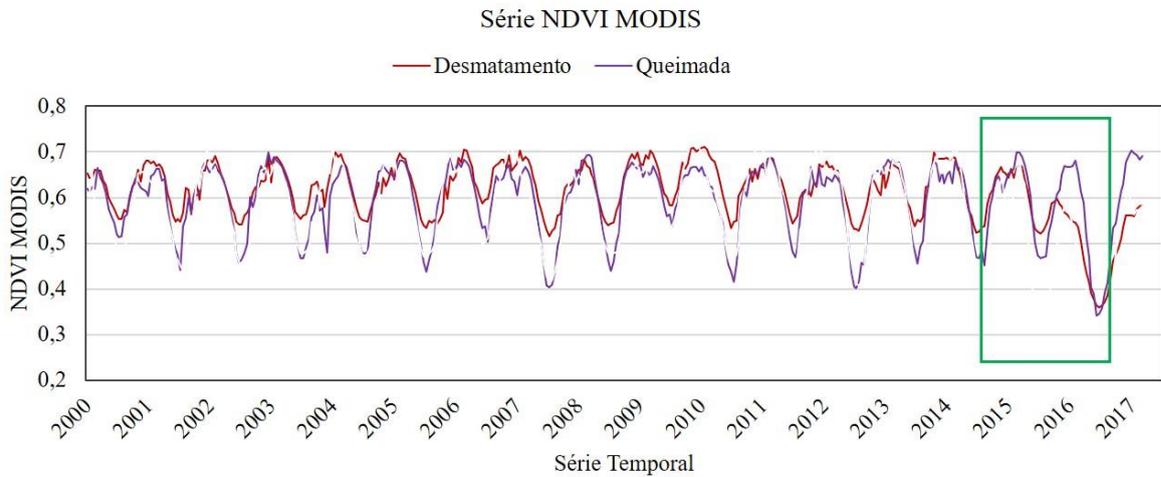


Gráfico 11 - Série temporal NDVI MODIS referentes as 10 amostras de áreas queimadas detectadas pelo SIAD (2015-2016) classificados como falsos positivos e comparados aos valores das áreas desmatadas.

Em relação aos polígonos de borda (vegetação e usos antrópicos), há diferença entre áreas agrícolas e pastagens na série temporal como um todo (Gráfico 12). As áreas de pastagens possuem maiores amplitudes e séries com padrões mais definidos por não possuírem períodos de safra, safra e safrinha e/ou com eventuais pousios. Essas áreas são detectadas pelo SIAD por conta do processo de rasterização do mapa de referência de 30m para 250m, fazendo com que a dinâmica imposta pelo uso influencie nos valores de NDVI sendo detectados mudanças no SIAD e BFAST.

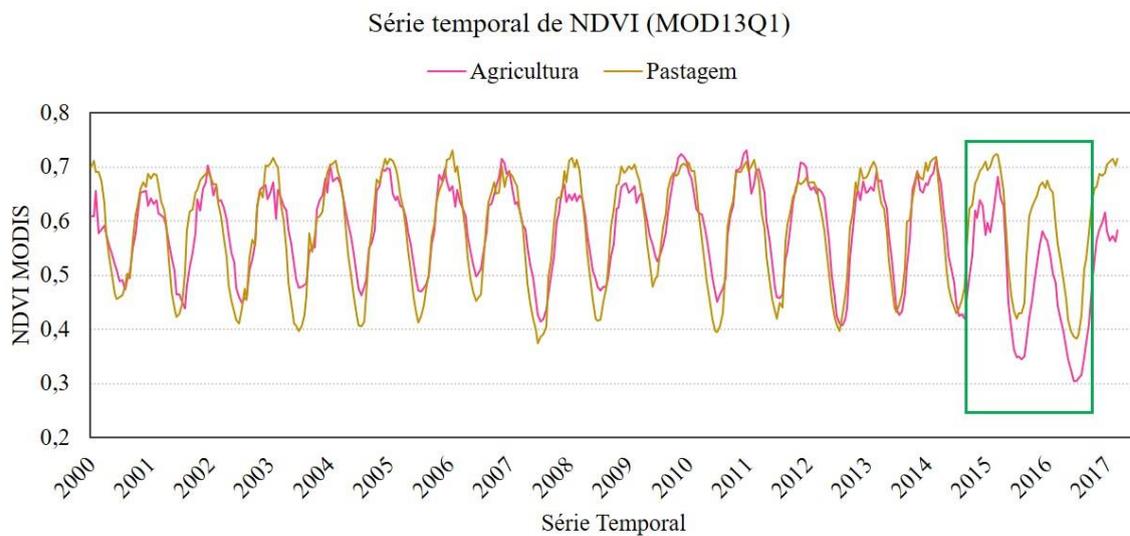


Gráfico 12 - Valores médios da série temporal NDVI MODIS referentes as 10 amostras de agricultura e 10 amostras de pastagens nas bordas do mapa de vegetação PROBIO (referência) detectadas pelo SIAD (2015-2016) e classificados como falsos positivos.

Com base nos resultados obtidos na pesquisa, temos as seguintes discussões.

## **8 Discussões**

Mesmo utilizando metodologias semelhantes, o Projeto PROBIO, pioneiro no mapeamento digital utilizando imagens orbitais em grande escala territorial no Brasil, detecta grandes manchas de cobertura vegetal natural e usos antrópicos, enquanto o TerraClass Cerrado buscou mais detalhe, mapeando a vegetação que circunda os cursos d'água com áreas superiores a 6,25 hectares.

A figura 20A, ilustra o nível de detalhamento de mapeamento anteriormente mencionado, sendo que, o PROBIO não objetivou o mapeamento das APPs de pequenos cursos d'água, enquanto o SIAD Cerrado detectou algumas parcelas de desmatamentos. A figura 20B, por sua vez, demonstra maior detalhe no mapeamento TerraClass Cerrado, identificando área mínima de vegetação de 6,25 hectares, enquanto o PROBIO objetivou 25 hectares. As figuras 18C e 18D, mostram o avanço do desmatamento e a grande sinergia entre a qualidade do mapeamento SIAD em função dos mapeamentos base da vegetação natural, enquanto as figuras 18E e 18F nos demonstra que a dinâmica de conversão e do uso da terra no Cerrado ocorre de forma acelerada, sobretudo por vieses de políticas públicas e econômicos, pois o município de Balsas (MA) é um dos principais produtores agrícolas da nova fronteira de expansão agrícola do Cerrado - Matopiba, reforçando que, a atualização anual do mapeamento base de vegetação natural é extremamente importante para o SIAD gerar os alertas, contribuindo diretamente na queda dos erros de comissão e omissão.

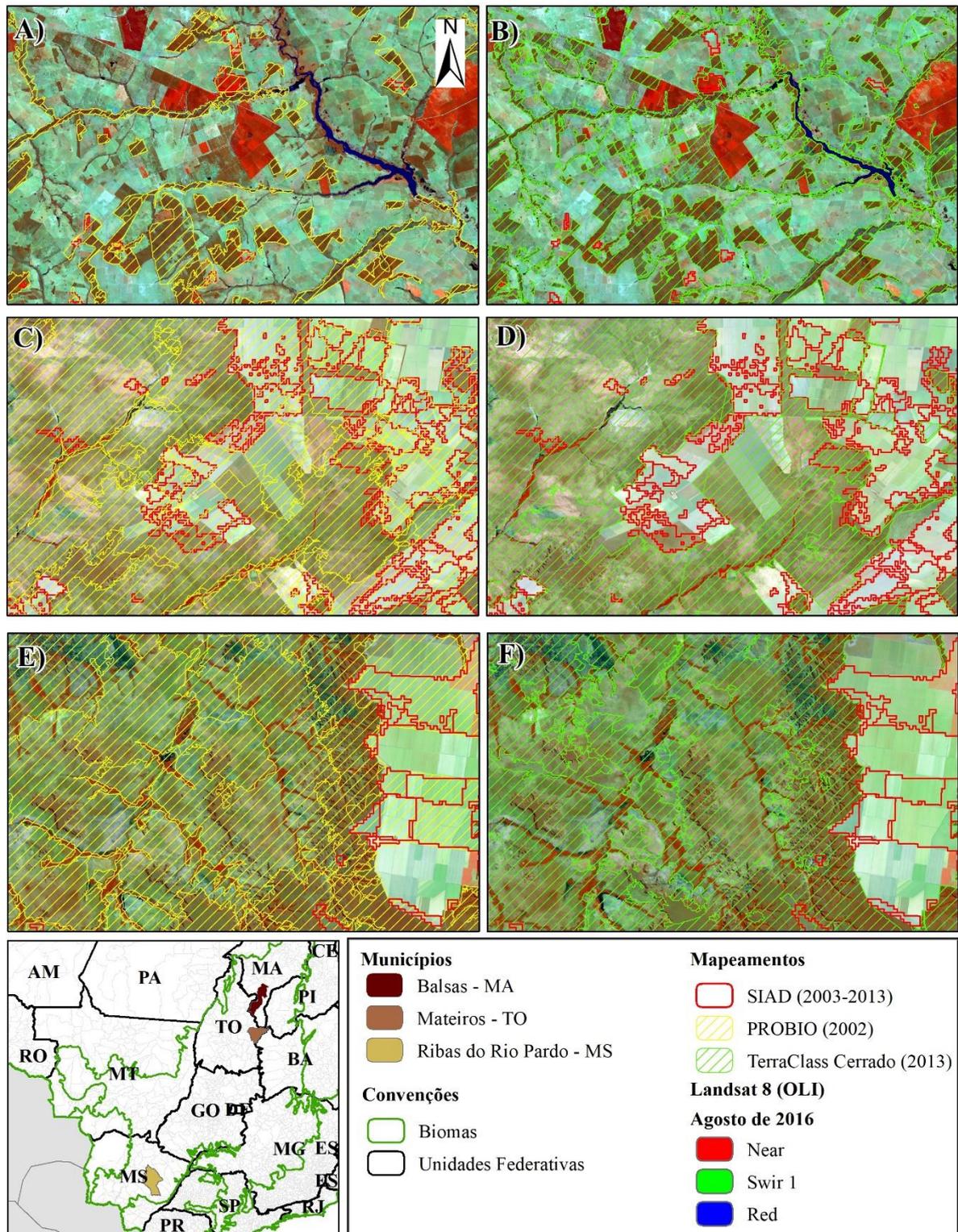


Figura 20 – Demonstrativo dos mapeamentos de vegetação remanescente PROBIO e TerraClass Cerrado, juntamente com dos alertas de desmatamento SIAD. Onde em A) mapa PROBIO e B) mapa TerraClass sobre o município de Ribas do Rio Pardo – MS. C) e D) os mesmos mapas sobre o município de Balsas – MA e E) e F) os mapas PROBIO e TerraClass sobre o município de Mateiros – TO.

Utilizando os exemplos dos mapeamentos de vegetação remanescente do PROBIO e do TerraClass Cerrado para 2016, constatamos que o aumento de área em relação ao mapeamento

realizado com base em imagens Landsat é de 15% e 11%, respectivamente quando compatibilizado para resolução moderada de 250 metros. Esse acréscimo considerável causado pelo aumento do tamanho do pixel (célula) nas bordas dos polígonos impacta, principalmente, no aumento de falsos positivos, uma vez que, o incremento de uso da terra com alta variabilidade (ex.: agricultura) reflete diretamente no índice de NDVI, com oscilações na série temporal e diferenças superiores a 20%, tornando-se áreas identificadas pelo SIAD por apresentarem características de mudança na cobertura vegetal natural com base nos limiares estabelecidos para detecção de desmatamento (Figura 21).

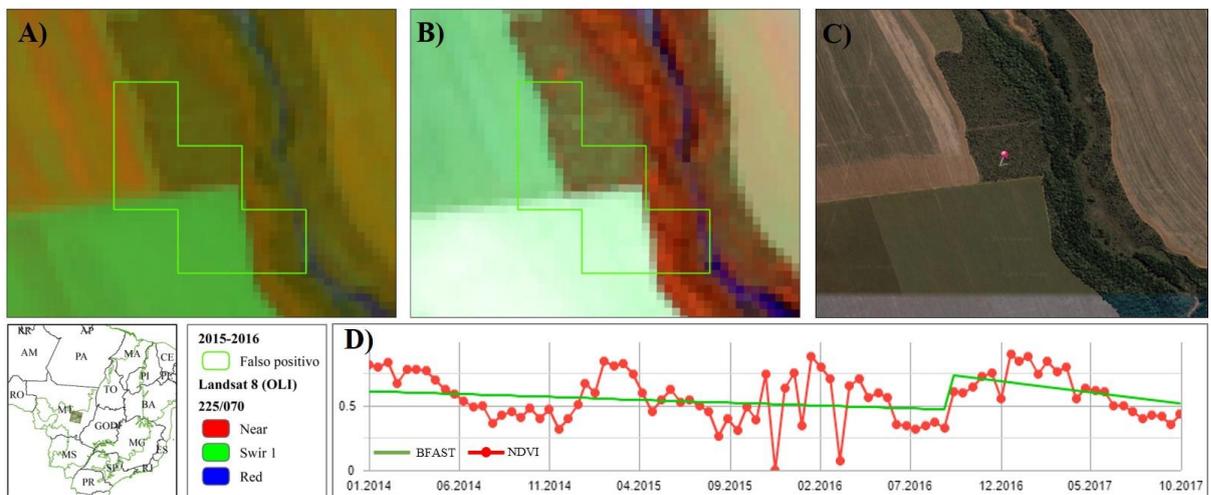


Figura 21 - Alerta de desmatamento do SIAD (2015-2016) sobreposto a imagens de satélite Landsat 8 dos meses de fevereiro (A) e agosto (B) de 2016 comparadas com o mapa interativo da plataforma de reposição de dados do Lapig (C), bem como a série de tendência temporal (BFAST) do índice NDVI (MOD13Q1).

Os falsos desmatamentos gerados para 2016 se concentram em apenas três estados, sendo Goiás (37,5%), Minas Gerais (18,6%) e Mato Grosso (17,3%) totalizando 73,4% (Gráfico 13), regiões consolidadas por usos agropecuários no Cerrado com 55,9%, 44,9% e 40% respectivamente, de acordo com o mapeamento TerraClass Cerrado (BRASIL, 2015).

Levando em consideração que o SIAD Cerrado detectou supressão da vegetação semelhante a diferença de área entre os mapas analisados, acredita-se que o PROBIO detecta maior quantidade de alertas de desmatamentos pela generalidade espacial, compatibilizando com imagens de satélite com resolução moderada (imagens MODIS, AVHRR, e outras) enquanto o TerraClass Cerrado, escala de maior detalhamento espacial, não contempla a área mínima necessária de 25 hectares para que haja a detecção do alerta de desmatamento (Figura 20).

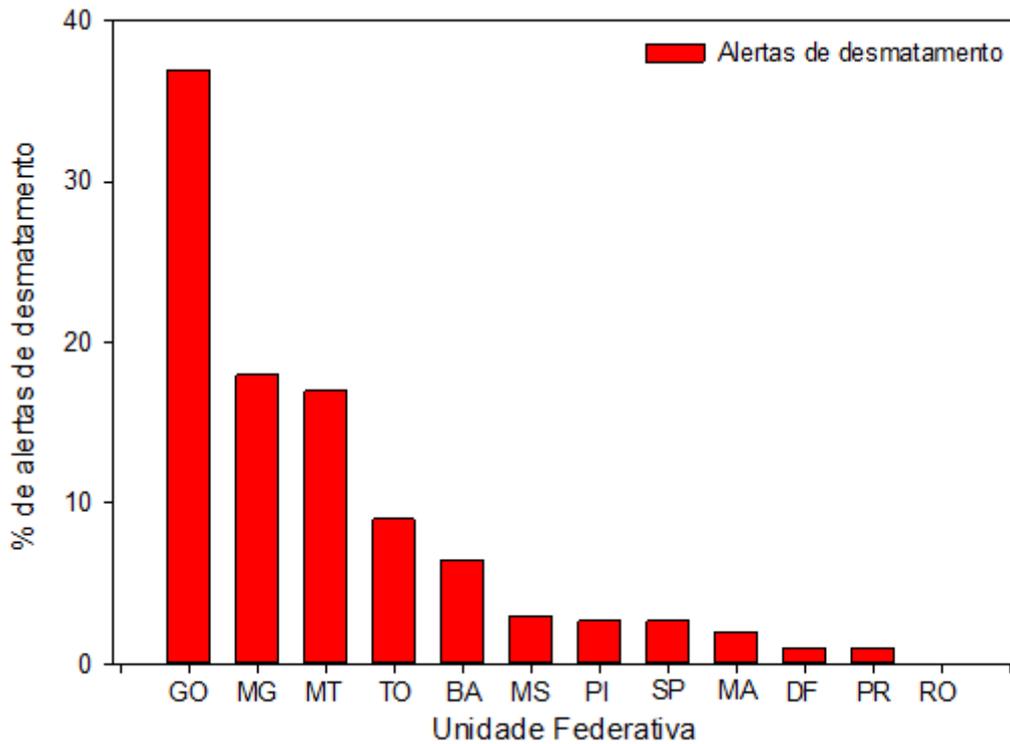


Gráfico 13 – Distribuição quantitativa de ocorrência dos alertas de desmatamentos por unidades federativas, gerados pelo SIAD Cerrado para o ano de 2015-2016.

Quanto a análise do limiar de mudança na cobertura, já era esperado a redução na quantidade de alertas gerados a cada aumento de 5%, pois as queimadas, proporção de nuvens por imagem, desmatamento e a sazonalidade da precipitação são motivos que contribuem para as mudanças dos valores de NDVI para diferenças superiores a 20%. Ao aproximar o limiar a 50% de mudança, são excluídas áreas de vegetação que sofreram alguma anomalia, seja em função da sazonalidade da precipitação, cicatrizes de queimadas e presença de nuvens, detectando apenas as mudanças abruptas, como o corte raso da vegetação ou queimada recentes a passagem do satélite/sensor.

Dessa forma, altas restrições dos limiares de mudança espectral compromete o desempenho do SIAD, pois algumas áreas de vegetação savânica e campestre podem obter diferença no índice de vegetação inferior a 50% de mudança após o desmatamento, aumentando a omissão na detecção. Assim, recomenda-se manter o limiar de mudança em 20% e utilizar outras alternativas para reduzir a quantidade de alertas de desmatamentos do SIAD categorizados como falsos positivos (Figura 22), ao exemplo do algoritmo BFAST, testado na presente pesquisa.

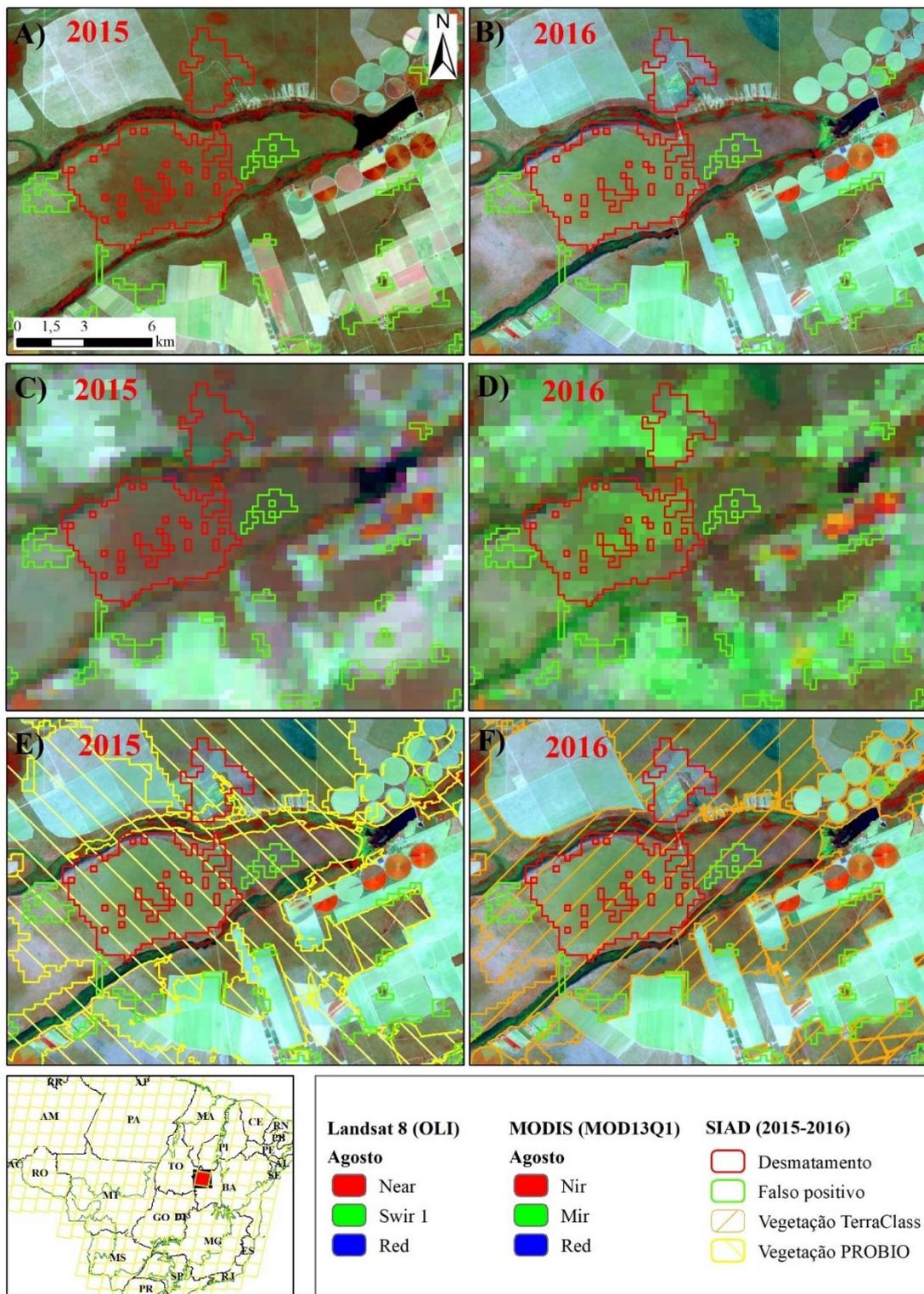


Figura 22 – Alertas de desmatamento SIAD 2015-2016 sobrepostos a imagens de 2015 e 2016 do satélite Landsat 8 (A e B), imagens MODIS (C e D) e mapeamentos de vegetação natural PROBIO (E) e TerraClass Cerrado (F).

Relacionando os alertas de desmatamento gerados pelo SIAD com limiar de 20% de mudança e a precipitação média no Cerrado para os meses que antecedem a detecção, verificamos que, períodos sem precipitação superiores a 60 dias, as imagens utilizadas no

sistema de detecção não determinam a variação da quantidade de alertas como no mês anterior devido as características das fitofisionomias do Cerrado. Para os casos onde a precipitação é acima da média, provavelmente a vegetação é menos impactada pelo retardo do período chuvoso, persistindo alta umidade no solo e mantendo o verdor da planta no momento de aquisição das imagens MODIS (DOY 161), as diferenças entre anos mais secos e chuvosos apresenta-se maior variação na quantidade de alertas gerados pelo SIAD. Dessa forma, nos anos em que a média da precipitação é menor, caracterizando uma estação seca estendida, consequentemente há redução dos valores de NDVI. Sendo assim, quando a precipitação média se mantém por dois períodos/anos seguidos, registra-se pequena diferença dos valores de NDVI e, consequentemente, são gerados menos alertas, exemplificado entre os anos de 2008 e 2009 (Gráfico 14).

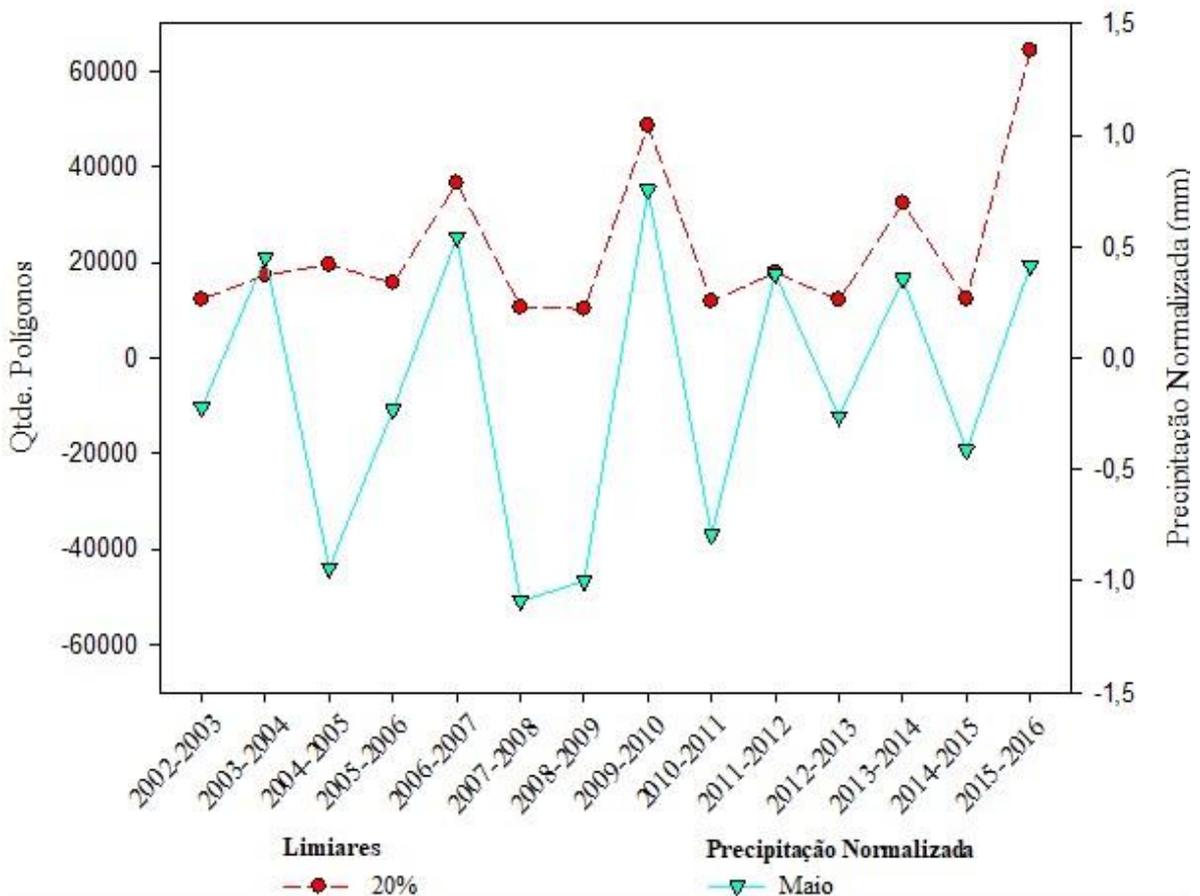


Gráfico 14 – Série histórica de alertas de desmatamentos gerados com limiar de 20% e precipitação média normalizada para o mês de maio.

O mês de maio (i.e. mês que antecede a detecção de desmatamento pelo SIAD) apresenta maior impacto sobre as detecções de alertas de desmatamento. Comparamos a precipitação para maio de 2015 e maio de 2016 para o Cerrado (Figura 23), com base nos dados *Global Precipitation Measurement* (GPM) (NASA; JAXA, 2016), buscando verificar se os falsos positivos estão associados a diferença da precipitação entre as datas analisadas. Praticamente em todo o Cerrado houve redução da precipitação em maio de 2016 comparativamente a maio de 2015, sendo essa redução responsável pela potencialização da detecção de alertas de desmatamentos categorizados como falsos positivos, devido à alta variabilidade sazonal das fitofisionomias do Cerrado, sobretudo, as herbáceas e subarbustivas, as quais apresentam variações do vigor vegetativo em função da quantidade de água no sistema (MUNHOZ; FELFILI, 2005).

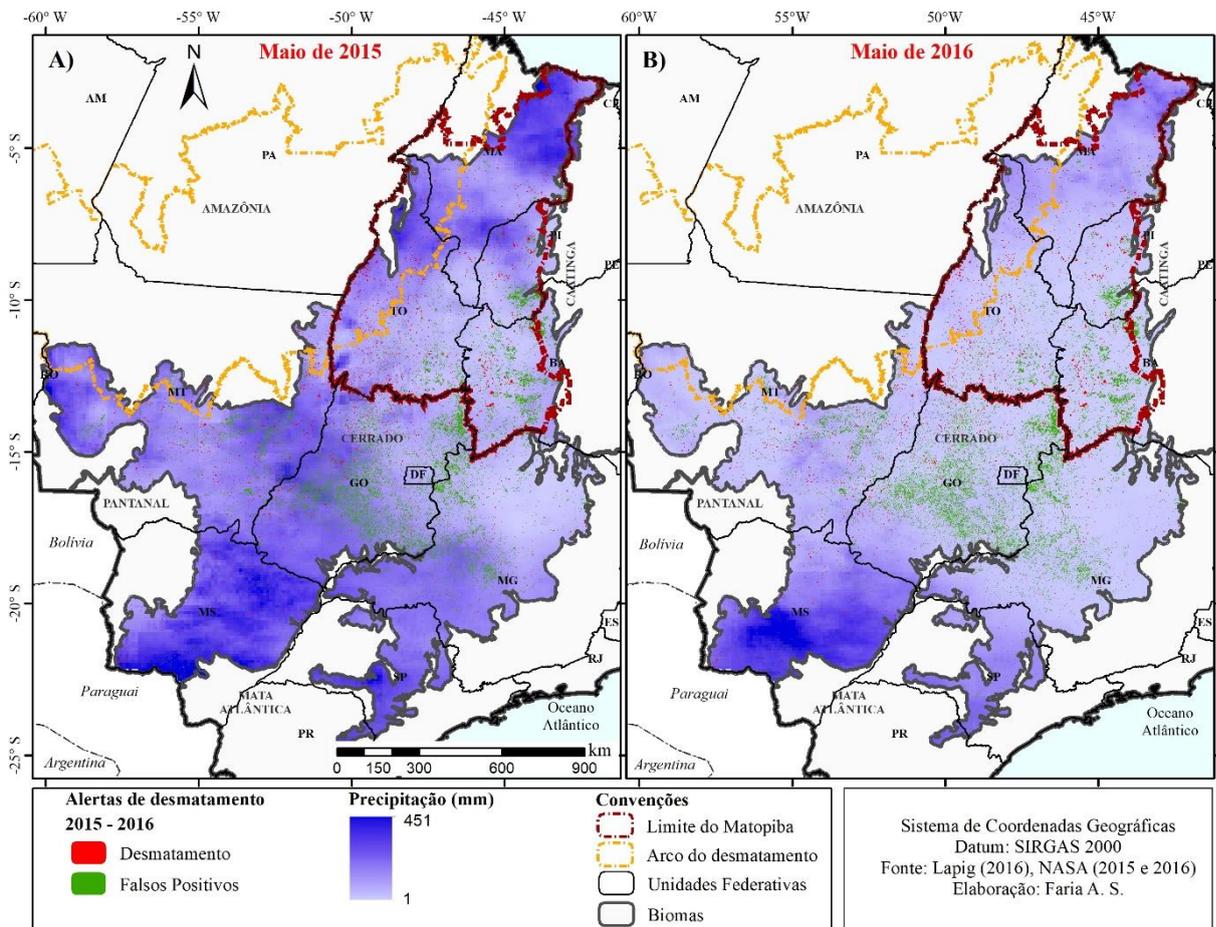


Figura 23 - Distribuição dos alertas de desmatamento (i.e. falsos e verdadeiros) gerados pelo SIAD entre 2015 e 2016, sobrepostos aos dados de precipitação GPM para maio de 2015 (A) e maio de 2016 (B).

O Cerrado possui 37 fitofisionomias distribuídas em 3 categorias de vegetação, i.e. florestal, savânica e campestre (WALTER, 2006), caracterizadas pela alta variabilidade sazonal e com duas estações bem definidas, seis meses chuvosos e seis meses de estiagem,

características determinantes para a escolha do parâmetro H, i.e. 6 meses (janela temporal), para detecção de *break point* (quebras temporais) no Cerrado. No início da estação seca do bioma, a planta possui disponibilidade de água no solo para manter seu vigor, mas ao se aproximar da estação chuvosa, a vegetação se adapta a escassez de água, reduzindo o potencial fotossintético, tornando-se mais propensa a queimadas e de baixos valores de NDVI comparativamente com o período chuvoso.

As 5 categorias de cobertura da terra (i.e. desmatamento, vegetação de efeito sazonal, área queimada e de borda com áreas agrícolas e de pastagens) analisadas separadamente com o BFAST para o período 2015-2016 apresentaram anomalias/quebras temporais, conferindo características intrínsecas para cada categoria. As classes de vegetação, área queimada e de bordas com pastagem e agricultura apresentam períodos de ruptura semelhantes, pois todas essas categorias possuem total ou parcialmente áreas de vegetação, conferindo respostas distintas após a detecção da anomalia no período analisado (2015-2016) (Gráfico 15).

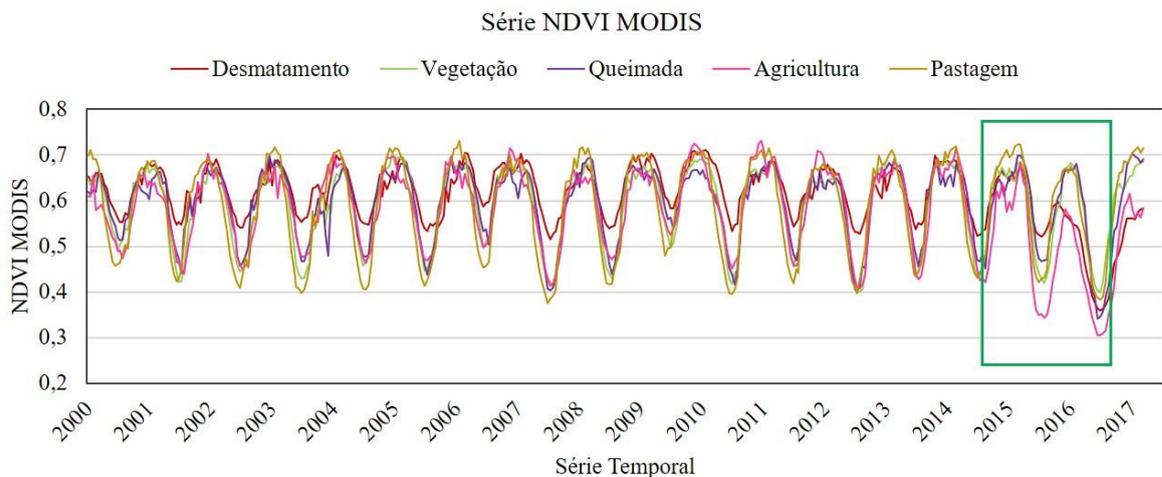


Gráfico 15 - Gráfico da série temporal NDVI MODIS referentes as 50 amostras analisadas (i.e. desmatamento, vegetação sazonal, área queimada e de bordas com áreas agrícolas e de pastagens) detectadas pelo SIAD no período 2015-2016.

Tendo em vista que o SIAD busca identificar os desmatamentos e o BFAST detecta a ruptura em função da variação sazonal e de anomalias na série temporal NDVI, ao realizar o comparativo das curvas de vegetação natural e do desmatamento (Gráfico 16), nota-se que as mesmas são distintas, antes e depois, da detecção da anomalia. Isto se deve pelo fato da ocorrência dos falsos positivos se localizarem em regiões em que a vegetação possui formações savânicas, com maior susceptibilidade a variação sazonal da precipitação e que, devido a sua estrutura radicular (raízes profundas), não consegue obter água situada em camadas mais profundas do solo para a manutenção da atividade fotossintética (SANTOS e CARLESSO,

1998). Já os desmatamentos são detectados com maior facilidade em áreas de vegetação com estrutura florestal que, ao contrário das formações savânicas, conseguem penetrar seu sistema de raízes em solos mais profundos, captando água e mantendo seu vigor vegetativo ao longo do ciclo hidrológico, sendo menos impactada durante a estação seca e mantendo os valores de NDVI elevados.

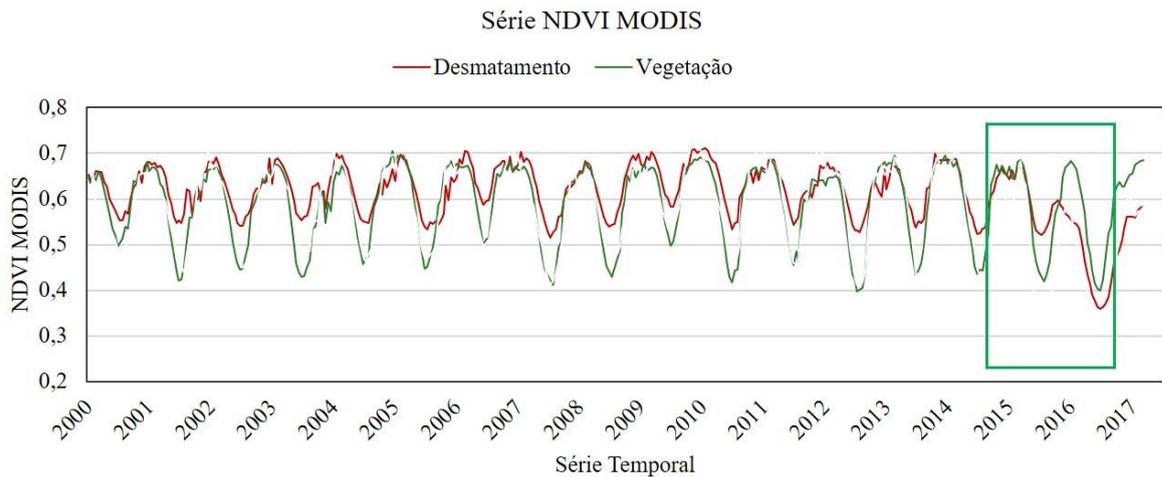


Gráfico 16 - Série temporal NDVI MODIS referentes as amostras de vegetação e desmatamentos detectados pelo SIAD no período 2015-2016.

Já para os falsos positivos gerados em áreas de transição, i.e. borda com pastagens e áreas agrícolas, podem ser reduzidos utilizando o um mapa de vegetação (referência) que seja compatível com a resolução espacial do produto MOD13Q1 (250 metros) para o ano de 2002, sendo atualizado posteriormente por meio da subtração dos desmatamentos mapeados e consolidados (inspeção visual) da série existente. Atualmente, há disponibilidade de vários classificadores com bom desempenho, como exemplo o *Random Forest*, com aplicações no mapeamento de cobertura natural vegetal remanescente e usos antrópicos, como o mapeamento das pastagens brasileiros realizado por Parente et al. (2017). Em relação as detecções de falsos positivos em regiões de vegetação natural com alta variabilidade sazonal e queimadas, se faz necessário o uso de séries temporais para analisar o comportamento/tendência posterior a detecção do evento ocorrido, possibilitando classificar a cobertura e uso da terra a posteriori.

O BFAST, atualmente, não substitui a forma tradicional do SIAD, seja por não detectar a maioria das quebras temporais dos alertas classificados como falsos positivos ou por não realizar a inspeção visual, ainda importante nesse processo. É necessário realizar testes de forma mais criteriosa e ajustar os parâmetros as especificidades da vegetação do bioma Cerrado, contribuindo na identificação de possíveis desmatamentos. Lu et al. (2017) abordam duas métricas eficazes na detecção de rupturas, tanto em áreas de vegetação florestal tropical

(Amazônia), como em vegetação savânica, sendo uma delas denominado de Índice Sazonal Reduzido (SRI), subsidiando melhorias no desenvolvimento de métricas para o monitoramento da vegetação, principalmente em áreas com pressão antrópica para a manutenção da produção de alimentos. Outra maneira, seria avaliar o SIAD em outras datas sequentes a data 161(DOY 177 e 193), pois, desmatamentos verdadeiros tendem a ser detectados nos imageamentos seguintes.

## **9 Considerações finais**

A presente dissertação abordou os diferentes fatores que implicam diretamente na detecção dos desmatamentos no Cerrado por meio do SIAD, sejam esses fatores intrínsecos e/ou extrínsecos ao mapeamento.

Desta forma, houve avanços no entendimento do processo de alertas do desmatamento pelo SIAD, sobretudo em relação a quantidade de polígonos gerados para diferentes limiares. Ainda que os diferentes limiares influenciem na quantidade de polígonos gerados, a máscara de vegetação remanescente é a principal variável no SIAD para gerar alertas de desmatamentos positivos, seja utilizando dados MODIS das coleções 5 ou 6, confirmando a primeira hipótese. O período utilizado para gerar os alertas de desmatamento apresentou grande variabilidade nas diferentes regiões do Cerrado, apresentando a maioria dos desmatamentos positivos no estado do Mato Grosso e região do Matopiba, concentrando os falsos positivos, em maior proporção, nos estados de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso, uma vez que, o comportamento espectral e sazonal para essas regiões apresentou baixa variação entre as coleções 5 e 6 do produto MOD13Q1, com diferença apenas no aumento de alertas gerados da coleção m6 em relação a coleção 5, confirmando a segunda hipótese.

O ano de 2016, através dos resultados alcançados, foi bastante atípico, pois gerou quantidades de alertas de desmatamento bem acima dos anos anteriores. Por utilizar em sua metodologia apenas uma imagem (DOY 161) para verificar mudança na cobertura, a variabilidade sazonal da precipitação tem forte impacto na detecção dos alertas de desmatamento por todo o bioma, confirmando se a terceira hipótese.

A utilização de séries temporais MODIS para monitorar desmatamento proporcionou bons resultados, o mais importante é que 99% dos alertas que o BFAST não identifica quebra são falsos desmatamentos, corroborando a quarta hipótese. Como esperado inicialmente, a grande maioria dos alertas gerados pelo SIAD são identificados pelo BFAST. O diferencial da série temporal é a filtragem de ruídos na série MODIS que, possivelmente, o SIAD detecta pela

variabilidade sazonal da precipitação. O BFAST mostrou resultados positivos na identificação do desmatamento, podendo ser incorporado ao SIAD para melhorar a detecção de desmatamento e, conseqüentemente, na filtragem de falsos positivos, pois permite ajustar parâmetros e disponibiliza informações variadas para cada alerta durante a análise da série temporal.

Todas essas características analisadas e o entendimento do processo de geração dos alertas de desmatamento irá auxiliar nas melhorias do SIAD, sobretudo utilizando análise de séries temporais, bem como o entendimento da alta variabilidade sazonal do Cerrado.

## 10 Referências

AGUIAR, D. A.; RUDORFF, B. F. T.; SILVA, W. F.; ADAMI, M.; MELLO, M. P. Remote Sensing Images in Support of Environmental Protocol: Monitoring the Sugarcane Harvest in São Paulo State, Brazil. *Remote Sensing*, 3(12), 2011. p.2682-2703. doi: <10.3390/rs3122682>.

\_\_\_\_\_. **Área Territorial Brasileira**. 2017. Disponível em: <[https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default\\_territ\\_area.shtm](https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm)>. Acesso em: 10 de outubro de 2017.

\_\_\_\_\_. Banco de dados de Queimadas. 2017. Disponível em: <<https://prodwww-queimadas.dgi.inpe.br/bdqueimadas/>>. Acesso em: Dez. 2017.

BORATTO, I. M. P; GOMIDE, R. L.; Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. **Anais**. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu, PR. 2013. p. 7345-7352.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/noticias/2015/05/ministra-lanca-plano-Matopiba-nesta-quarta-feira-em-palmas>>. Data de acesso em: 30 de novembro de 2015.

CARDOSO, F. C. Do confronto à governança ambiental: uma perspectiva institucional para a Moratória da Soja na Amazônia. **Tese**. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2008. 151p.

Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. Calendário de Plantio e Colheita de Grãos no Brasil 2017. 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acessado em: 10 jan. 2017.

COUTINHO, A. C.; ALMEIDA, C. VENTURIERI, A.; ESQUERDO, L. C. D. M.; SILVA, MAURICIO. **Uso e Cobertura da Terra nas Áreas Desflorestadas da Amazônia Legal. TerraClass Amazônia 2008**. Embrapa, Brasília, DF; INPE, São José dos Campos, SP. 2013.

Dias-Filho, M. Os desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira Challenges of animal production in pastures in the Brazilian agricultural frontier. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Vol. 40, 2011. p. 243-252.

DOMINGUES, M. S.; BERMANN, Célio. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 15, n. 2, 2012. p. 1-22. <http://dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2012000200002>.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Matopiba: indicação de microrregiões e cadeias produtivas prioritárias**. 2015. Disponível em: <[https://www.embrapa.br/gite/projetos/Matopiba/150603\\_MicroPrioritarias\\_MATOPIBA\\_V4.pdf](https://www.embrapa.br/gite/projetos/Matopiba/150603_MicroPrioritarias_MATOPIBA_V4.pdf)> Acesso em: 07 de janeiro de 2018.

ESPÍNDOLA, J. C.; CUNHA, R C. C. A dinâmica geoeconômica recente da cadeia produtiva da soja no Brasil e no mundo. **GeoTextos**, vol. 11, n. 1, 2015. C. p. 217-238.

\_\_\_\_\_. **Estimativas da População Residente no Brasil e Unidades da Federação com data de Referência em 1º de julho de 2017**. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas\\_de\\_Populacao/Estimativas\\_2017/estimativa\\_dou\\_2017.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2017/estimativa_dou_2017.pdf)>. Acesso em: 10 de outubro de 2017.

FERREIRA, N. C. et al. An operational deforestation mapping system using MODIS data and spatial context analysis. **International Journal of Remote Sensing**. v. 28, p. 47-62, 2007.

GIBBS, H. K.; RAUSCH, L.; J. MUNGER, J.; I. SCHELLY, I.; MORTON, D.; C. P. NOOJIPADY, C. P.; SOARES-FILHO, B.; P. BARRETO, P.; L. MICOL, L.; WALKER, N. F. Brazil's Soy Moratorium. **Science**, Vol. 347 (6220), 2015. p.377-378.

HANSEN, M. C. et al.; High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. **Science**. V. 342. n. 6160, p. 850-853, 2013.

HUETE, A. R et al.; Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**. v.83, 2002. p.195-213.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área Territorial Brasileira**. 2017. Disponível em: <[https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default\\_territ\\_area.shtm](https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm)>. Acesso em: 10 de outubro de 2017.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Mapa de Biomassas e de Vegetação**. 2004. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomasshtml.shtm>>. Acesso em: 08 de maio de 2017.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. **Programa Amazônia – Projeto PRODES: Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**. 2013. 37 p. Disponível em: < <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>. Acessado em: 15 set. 2017.

Instituto SOS Pantanal; WWF- Brasil. Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do Solo na Bacia do Alto Paraguai – Porção Brasileira – Período de Análise: 2012 a 2014. **Relatório Técnico Metodológico**. Brasília, 2015.

KUMMEROW, C. et al.; The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. **Journal Applied Meteorology**. Vol. 39, 2000. p.1965–1982.

Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG. Instituto de Estudos Socioambientais – IESA. Universidade Federal de Goiás – UFG. **Alertas de Desmatamento no Cerrado**. Disponível em: < <http://maps.lapig.iesa.ufg.br/lapig.html>>. Acessado em: 12 de abril de 2017

LAPOLA, D. M. et al.; Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**. Vol. 04. 2014. p. 27-35.

LEITE, M. E.; BRITO, J. L. S.; Sensoriamento Remoto e SIG aplicados ao mapeamento do uso do solo urbano de Montes Claros/MG. **Anais**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba, PR. 2011. p.933.

LU, M. et al; Dimension Reduction of Mult - Spectral Satellite Image Time Series to Improve Deforestation Monitoring. **Remote Sensing**. Vol. 09. 2017. p. 1025.

LU, M. et al.; Spatio-Temporal Change Detection from Multidimensional Arrays: Detecting Deforestation from MODIS Time Series. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. Vol. 117, 2016. p. 227-236.

LUMBRERAS, J. F. et al.; Potencialidades e limitações ao uso agrícola de solos no Matopiba. **Anais**. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Natal, RN. 2015. p. 1-4.

MALAQUIAS, F. S. S. et al.; Pastagem.org: dados e informações para uma compreensão ambiental, econômica e social sobre a última fronteira agrícola do Brasil. **Anais**. XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Santos, SP. 2017. p.1392-1399.

MALAQUIAS, F. S. S.et al.; Uma plataforma de risco socioambiental em suporte ao agronegócio nacional. **Anais**. XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Expositiva. Rio de Janeiro. 2017. p. 1267-1270.

\_\_\_\_\_. Manual técnico da vegetação brasileira. **Manual técnico**. 2 ed. Rio de Janeiro, RJ. 2012. 271 p. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>>. Acesso em: 15 de outubro de 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento de Cobertura Vegetal do Bioma Cerrado**. Relatório final. Brasília, DF. 2007. Disponível em: < [http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/cerrado/documentos/relatorio\\_final.pdf](http://mapas.mma.gov.br/geodados/brasil/vegetacao/vegetacao2002/cerrado/documentos/relatorio_final.pdf)>. Acessado em: 17 de agosto de 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado – Projeto TerraClass Cerrado 2013**. MMA. SBF. Brasília, DF. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. **Portaria Nº. 97, de 22 de março de 2012**. 2012.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. **Prevenção e controle do desmatamento**. Projeto FREL Cerrado. Disponível em< <http://redd.mma.gov.br/pt/component/content/article/94-assuntos/information-hub/756->

instrucoes-para-acessar-os-dados-e-informacoes-do-frel-cerrado?Itemid=0>. Acesso em 08 de dezembro de 2017.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. **Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDBBS)**. 2009. Disponível em: <[http://siscom.ibama.gov.br/monitora\\_biomais/index.htm](http://siscom.ibama.gov.br/monitora_biomais/index.htm)>. Acessado em: 15 set. 2017.

MUNHOZ, C. B. R.; FELFILI, J. M. Fenologia do estrato herbáceo-subarbustivo de uma comunidade de campo sujo na Fazenda Água Limpa no Distrito Federal, Brasil. **Acta Botanica Brasílica**, São Paulo, v.19, n.4, 2005. p. 979-988. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062005000400031>.

NASSER, B. Economia Regional, Desigualdade Regional no Brasil e o Estudo dos Eixos Nacionais de Integração e Desenvolvimento. **Revista do BNDES**. V. 07, N. 14. 2000. p. 145-178.

National Aeronautics and Space Administration - NASA / Japan Aerospace Exploration Agency - JAXA. **Global Precipitation Measurement (GPM)**. 2016. Disponível em: <[https://www.nasa.gov/mission\\_pages/GPM/main/index.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/GPM/main/index.html)>. Acessado em: jul. 2017.

OLIVEIRA, S. A. M. et al.; Digitalização e disponibilização dos filmes originais dos Projetos RADAM/RADAMBRASIL - Exemplos para Aplicação. **Anais. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**. Curitiba - PR, 2011. p. 8303.

PARENTE, L. L. et al.; Monitoring the brazilian pasturelands: A new mapping approach based on the landsat 8 spectral and temporal domains. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. V. 62. 2017. p. 135-143.

PEREIRA, P. I.; PAULI, L. O Processo de Estrangeirização da Terra e Expansão do Agronegócio na Região do Matopiba. **Campo-Território: revista de geografia agrária**. Edição especial, Vol. 11, n. 23, 2016. p. 196-224.

PONTIUS JR., R. G.; MILLONES, M.; Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. **International Journal of Remote Sensing**. V.32. N 15. 2011. p. 4407-4429.

\_\_\_\_\_. **Portaria Nº. 97, de 22 de março de 2012**. 2012.

QUADRO, M. F.L. et al.; Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Climatologia de Precipitação e Temperatura**. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/chuesp.html>>. Acessado em: 07 de outubro de 2017.

ROCHA, G. F. et al.; Detecção de desmatamentos no bioma cerrado entre 2002 e 2009: padrões, tendências e impactos. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia**. 2011, v.63, p.341 – 349.

RUDORFF, B. F. T. et al.; Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**. V 02. p. 1057 – 1076. 2010.

SANTOS, C. O. et al.; Avaliação do algoritmo BFAST, aplicado a séries temporais NDVI (MOD13Q1), para detectar mudanças de uso da terra na região nordeste do Mato Grosso – Brasil. **Anais XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia**. Rio de Janeiro – RJ. 2017.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit Hídrico e os Processos Morfológico e Fisiológico das Plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, 1998. p.287-294.

SILVA, E. B. et al.; Mapeamento de mudança de uso e cobertura da terra no bioma Cerrado entre 1975 e 2010 a partir da classificação de imagens Landsat. **Anais. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Foz do Iguaçu, PR. 2013. p. 1626-1633.

SOS Mata Atlântica. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica - Período 2015-2016. **Relatório Técnico**. 2017. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/projeto/atlas-da-mata-atlantica/>>.

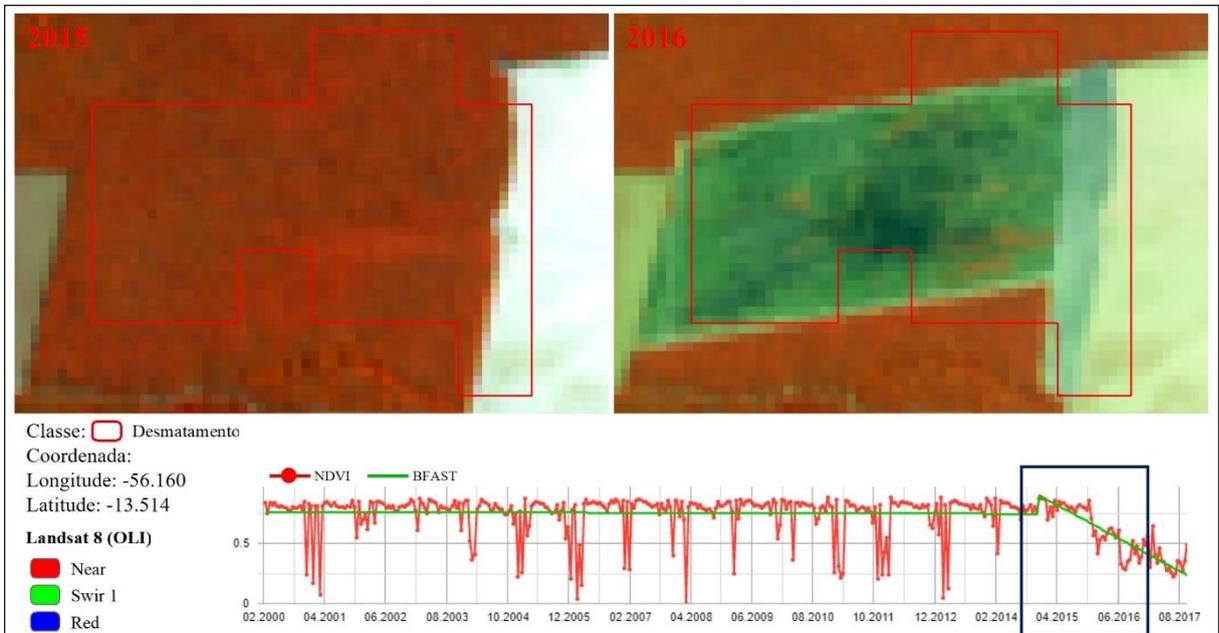
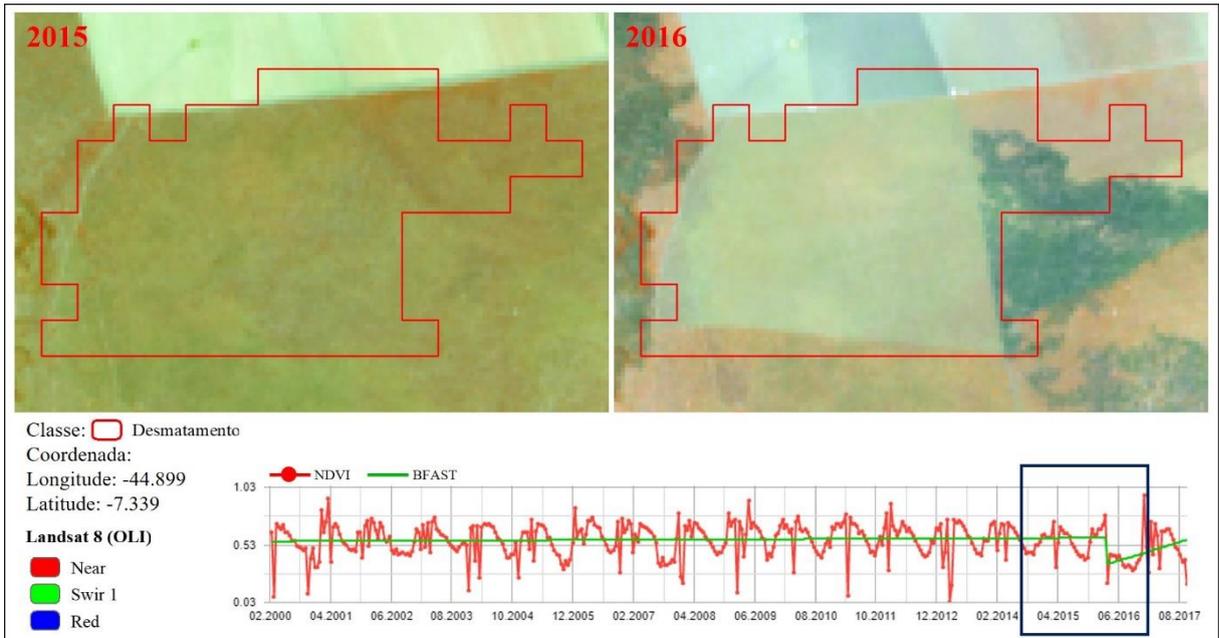
VERBESSELT, J. et al.; Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. **Remote Sensing of Environment**. Vol. 114, ed. 1, 2010, pg. 106-115.

WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. **Tese**. Unb. Brasília, DF. 2006.

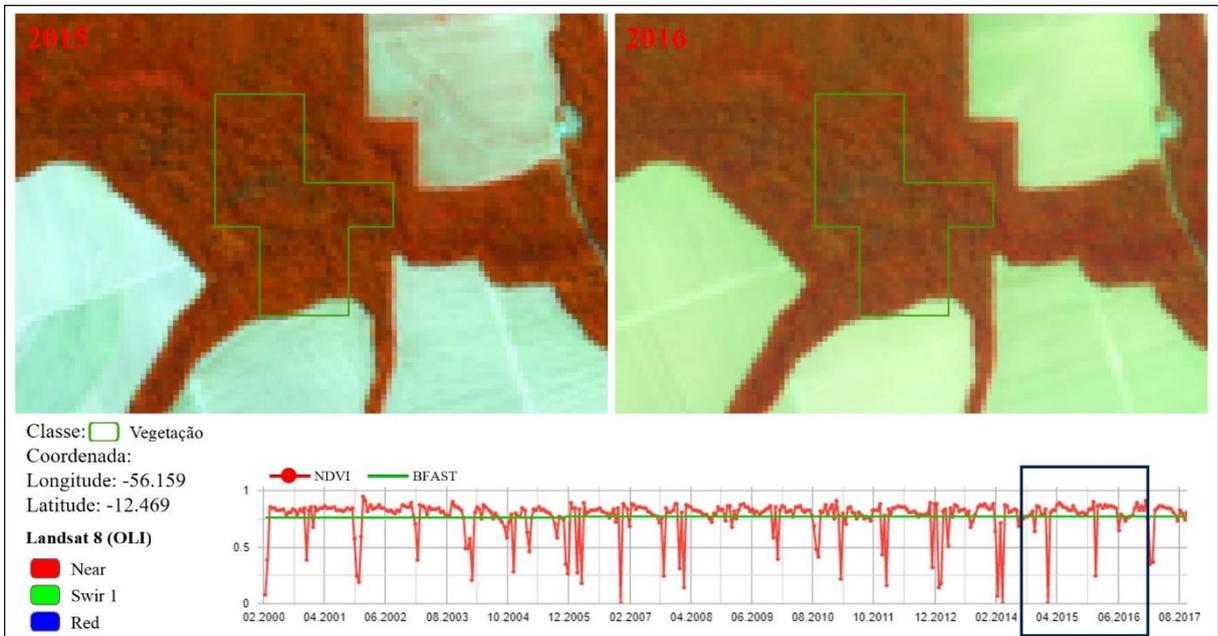
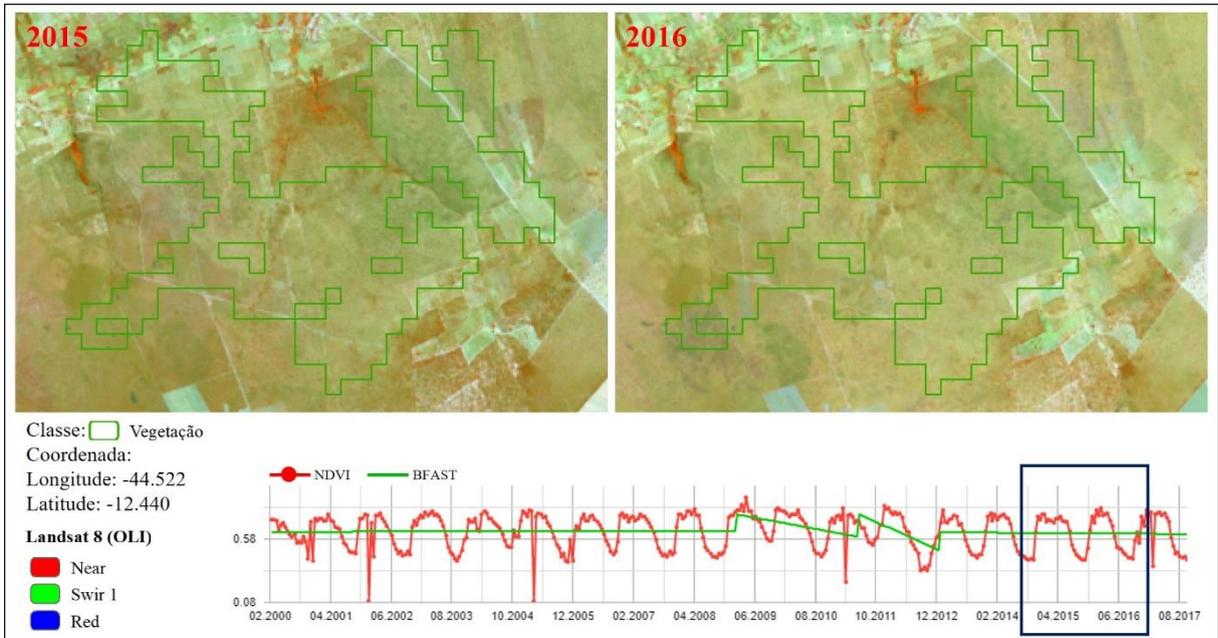
## **Apêndice I**

Alertas de desmatamentos sobrepostos a imagens de satélite Landsat 8 (OLI) de 2015 e 2016, série temporal NDVI MODIS (MOD13Q1) e detecção de quebras na série com o algoritmo BFAST.

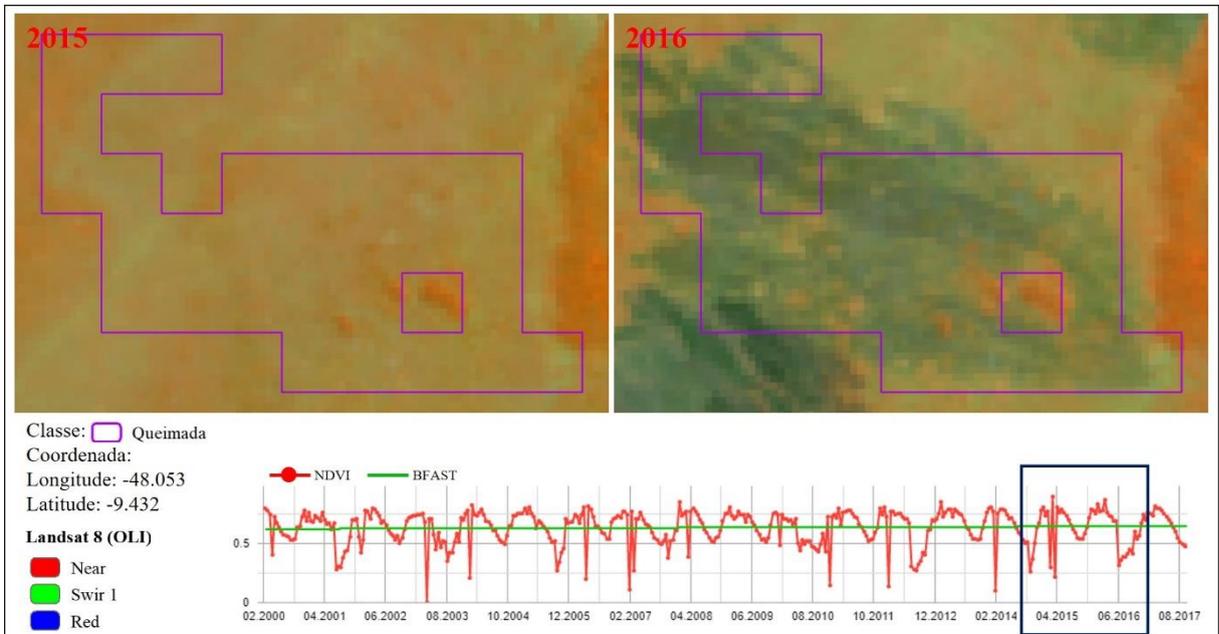
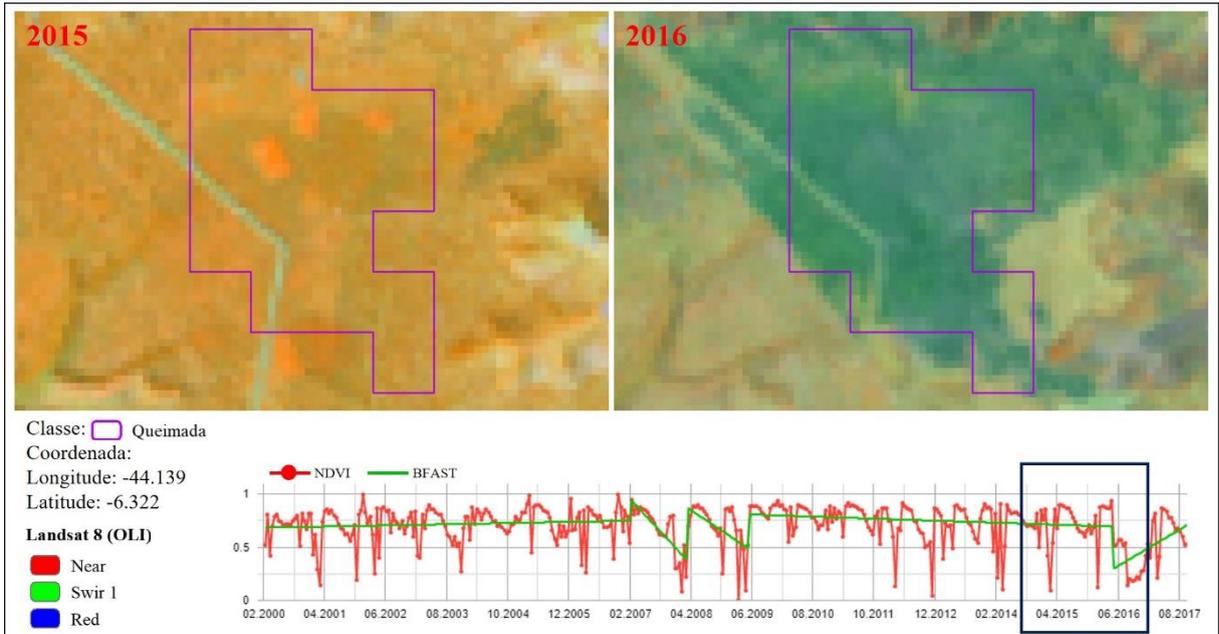
## Desmatamento



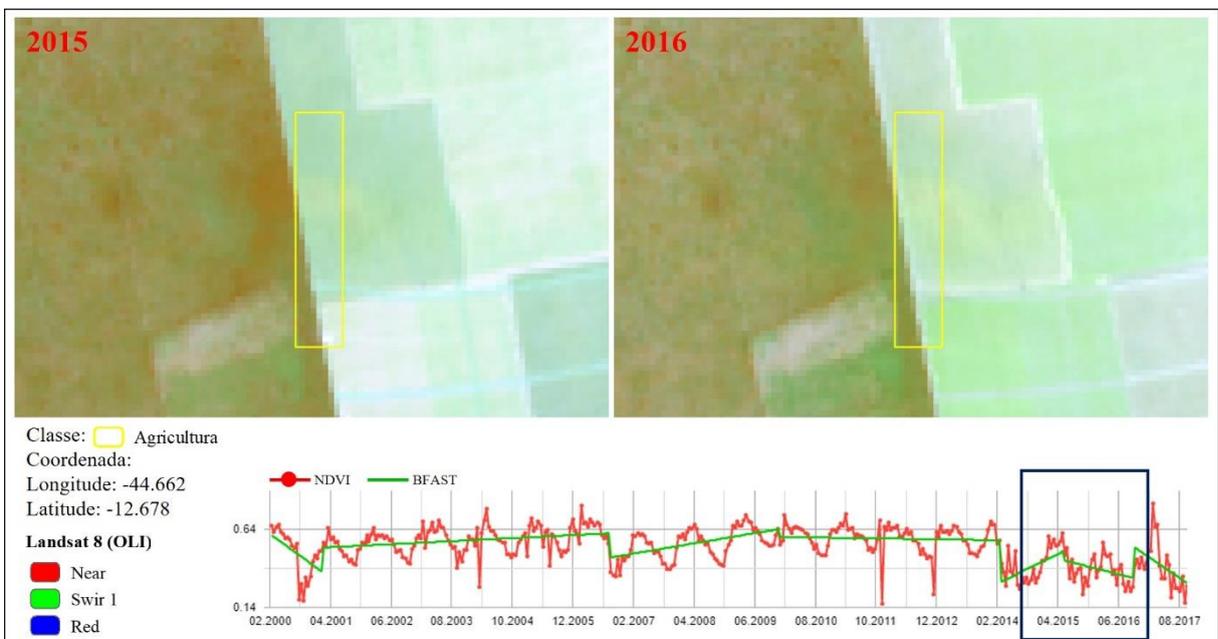
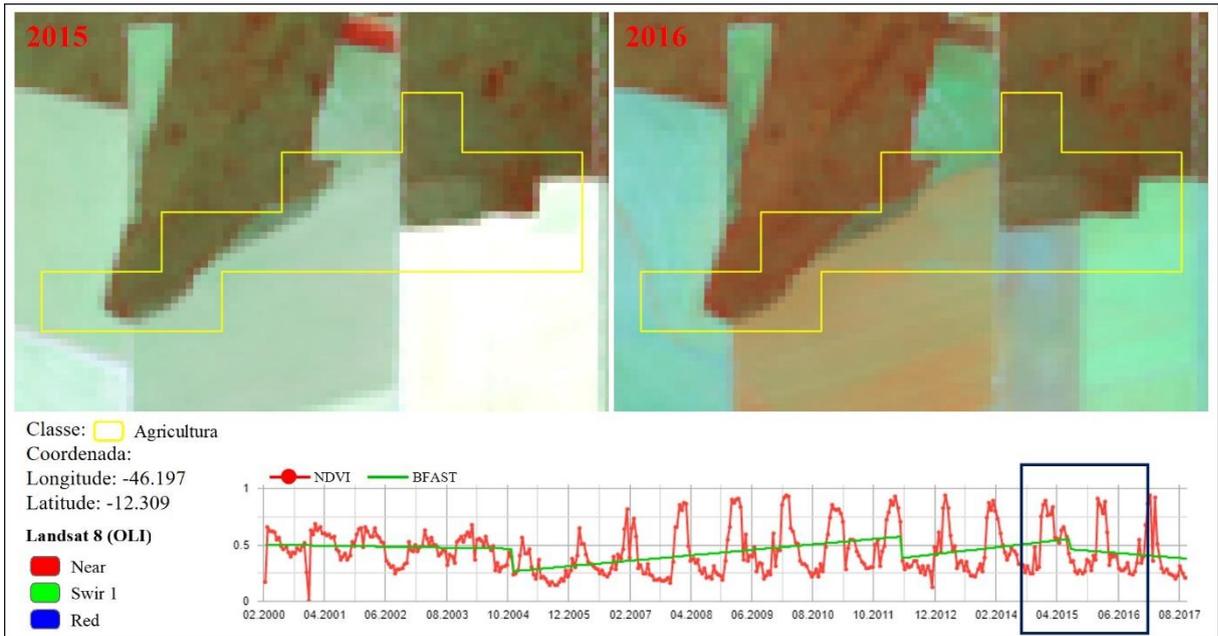
### Vegetação



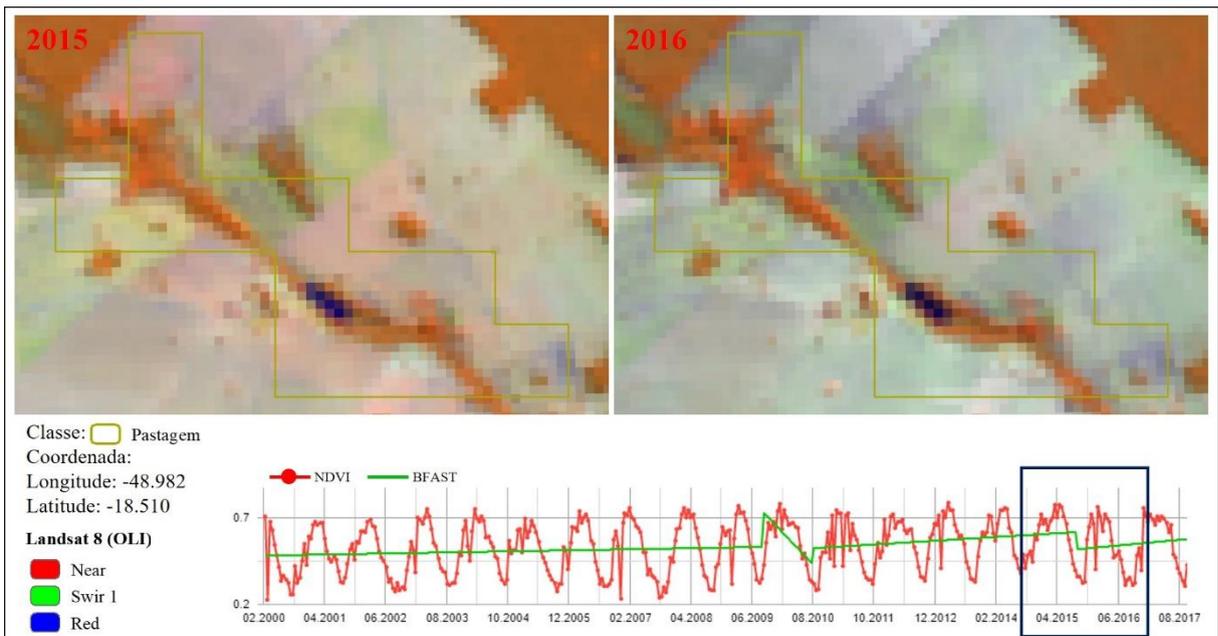
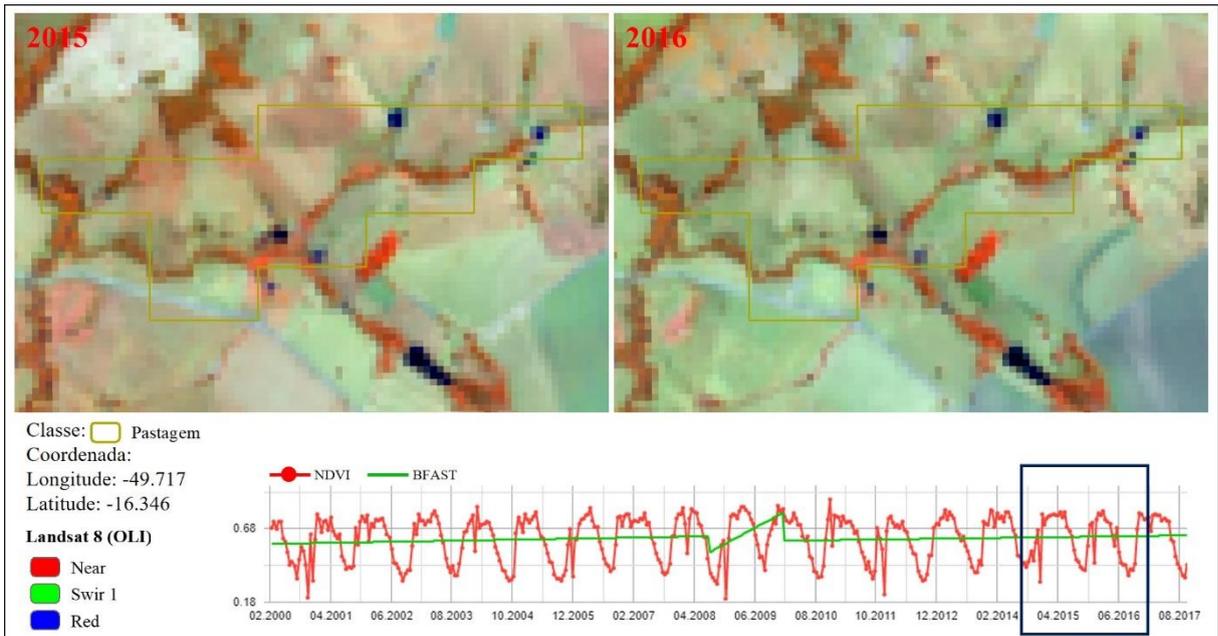
## Queimada



### Agricultura



### Pastagem



## **Anexo I**

Artigos apresentados no XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (2017)



## Monitoramento do desmatamento no bioma Cerrado: Novas perspectivas de detecção

Adriano Silva de Faria<sup>1</sup>  
Fernando Moreira de Araújo<sup>1</sup>  
Laerte Guimarães Ferreira<sup>1</sup>  
Sérgio Henrique de Moura Nogueira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG/IESA/UFG  
Campus II Samambaia - Caixa Postal 131 – CEP 74001970 - Goiânia - GO, Brasil  
{fariasilvaadriano, fernandomsbl, lapig.ufg, serque}@gmail.com

**Abstract.** Brazil has cataloged more than 40,000 species of flora, and 30% of these species are located in the Cerrado biome. The Cerrado biome has only 8.6% of its area protected by Conservation Units (UC), and only 3.1% are Integral Protection (IP). Thus, the objective of this analysis is to evaluate the spatial-temporal dynamics of deforestation of the natural vegetation, by means of SIAD Cerrado and Global Forest Change (GFC) mappings, as well as to evaluate the accuracy of the global data for the savanna environment, which has the seasonality very marked in its seasons. The analysis of spatial-temporal dynamics of deforestation based on the SIAD and GFC mappings in the Cerrado was done between 2002 and 2014, while to evaluate the spatial accuracy of the GFC data, 5 random Landsat 8 scenes were selected from 121 scenes, for the year of 2014, scenes 219/72 (MG), 220/64 (MA), 220/66 (PI), 222/68 (TO) and 226/69 (MT), for which 633 polygons were inspected. SIAD, between 2002 and 2014, mapped 3.3 Mha of deforestation more than GFC, 6,415,550 ha and 3,263,824 ha, respectively. Although the SIAD Cerrado has mapped 196% more deforested areas than the GFC, the correlation between the data is high, that is, 87%. The spatial evaluation of GFC data for the Cerrado had an average accuracy of 60%, once 67% and 32% of the positive deforestation, identified by the GFC, occurred on savanna and forest formations, respectively.

**Palavras-chave:** SIAD, GFC, Deforestation, Cerrado, SIAD, GFC, Desmatamento, Cerrado.

### 1. Introdução

O Brasil possui catalogado mais de 40.000 espécies da flora, sendo que, 30% ou 12.070 espécies estão localizadas no bioma Cerrado. Destas, 645 compõem a lista de espécies da flora em extinção no Brasil, o que corresponde a mais de 30% do total catalogado (Scarano et al., 2013). Além dessa riqueza das espécies da flora e fauna, o Cerrado é considerado o berço das águas, pois, das 12 regiões hidrográficas do Brasil, oito estão localizadas em seu limite, tais como as bacias do Rio São Francisco, Rio Tocantins-Araguaia e Rio Parnaíba (Tucci, 2002). O bioma cerrado possui apenas 8,6% da sua área protegida por Unidades de Conservação (UC), destas, apenas 3,1% são de Proteção Integral (PI) (Brasil, 2000).

O processo de ocupação do uso da terra no Cerrado se intensificou com os avanços na produção agrícola e pecuária na década de 1970. A conversão de extensas áreas de vegetação remanescentes ocorreu, em grande proporção, a margem do código florestal (Silva, 2013). A taxa de conversão da vegetação remanescente no bioma Cerrado entre as décadas de 1970 a 2000 é imprecisa, pois o mapeamento base para esse período foi o Projeto RadamBrasil (1970 a 1985). Com os dados de uso da terra desatualizados, somente em 2004, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) propôs o Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO) e, 10 anos depois, em 2014, o Projeto TerraClass Cerrado para o mapeamento do uso da terra e vegetação remanescente do Cerrado utilizando imagens orbitais do satélite Landsat 5 (2002) e 8 (2013), respectivamente. De acordo com o mapeamento TerraClass Cerrado 2013, a área de vegetação remanescente corresponde a 54% da área do bioma (Brasil, 2015).

O Cerrado, além do código florestal, conta apenas com a fiscalização de órgãos ambientais competentes no combate ao desmatamento ilegal. Em 2012, foi criado o Cadastro Ambiental Rural (CAR), vinculado ao Sistema Nacional de Informação sobre Meio



Landsat 8 (30m) e Sentinel 2A (10m), permitindo detectar novos desmatamentos a nível de propriedade, contribuindo com órgãos fiscalizadores e de controle ambiental no combate a retirada ilegal da vegetação no Cerrado.

### Agradecimentos

Esse trabalho é parte dos esforços coordenados pelo Lapig (Laboratório de processamento de imagens e geoprocessamento - UFG) para mapear e caracterizar as áreas de pastagens do bioma Cerrado. Reconhecemos e agradecemos o apoio da Gordon and Betty Moore Foundation e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG / PRONEX, processo 201200766130154, chamada pública nº 007/2012).

### Referências Bibliográficas

- Araújo, F.M.; Ferreira, L.G.; Arantes, A.E. Distribution Patterns of Burned Area in the Brazilian Biomes: A Analysis Based on Satellite Data for the 2002-2010 Period. *Remote Sensing*, vol. 4, n. 7, p. 1929-1946, 2012.
- Brasil. Lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000. Regulamenta o artigo 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. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protetidas/sistema-nacional-de-ucs-snuc>>. Acesso em: 15 de agosto de 2016.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Um Sistema de Inteligência Espacial Estratégica para o MATOPIBA. *Nota Técnica 2*. Campinas, São Paulo. 2014. 26p.
- Ferreira, N. C.; Ferreira, L. G.; Huete, A. R.; Ferreira, M. E. Anoperational deforestation mapping system using MODIS data and spatial contexto analysis. *International Journal of Remote Sensing*, v. 28, p. 47-62, 2007.
- Hansen, M. C. Potapov, P. V. Moore, R. Hancher, M. Turubanova, S. A. Tyukavina, A. Thau, D. Stehman, S. V. Goetz, S. J. Loveland, T. R. Kommareddy, A. Egorov, A. Chini, L. Justice, C. O. Townshend, J. R. G. High-Resolution Global Maops of 21 st-Century Forest Cover Change. *Science*. V. 342, n. 6160, p. 850-853, 2013.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/noticias/2015/05/ministra-lanca-plano-matopiba-nesta-quarta-feira-em-palmas>>. Acesso em: 30.nov.2015.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). Mapas de Cobertura Vegetal. 2007. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf\\_chm\\_rbbio/arquivos/mapas\\_cobertura\\_vegetal.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/arquivos/mapas_cobertura_vegetal.pdf)>. Acesso em: 02.nov.2016.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado**. Brasília, 2015. 67 p.
- Rocha, G. F., Ferreira JR, L. G., Ferreira, N. C., Ferreira, M. E. Detecção e desmatamentos no bioma cerrado entre 2002 e 2009: padrões, tendências e impactos. RBC. *Revista Brasileira de Cartografia*. v.63, p.341-349, 2011.
- Silva, E. B. **A dinâmica socioespacial e as mudanças na cobertura e uso da terra no bioma Cerrado**. 2013. 148 p. (CDU: 631.111.4(231.54)). Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais, Goiânia. 2013.
- Scarano, F. R.; Ceotto, P.; Medeiros, R.; Mittermeier, R. A. Bioma Cerrado: Conservação e Ameaças. In: Martinelli, G. & Moraes, M. A. (org.). **Livro Vermelho da Flora do Brasil**. Rio de Janeiro: Andrea Jacobson. 2013. p. 21 – 24.
- Tucci, C.E.M. **Impactos da variabilidade climática sobre os recursos hídricos do Brasil**. Brasília, ANA, 2002. 150p. (Relatório de Consultoria).



## Distribuição e avaliação da acuidade espacial dos mapeamentos da área de pastagem para o Brasil

Fernando Moreira de Araújo<sup>1</sup>  
Adriano Silva de Faria<sup>1</sup>  
Laerte Guimarães Ferreira<sup>1</sup>  
Sérgio Henrique de Moura Nogueira<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG/IESA/UFMG  
Campus II Samambaia - Caixa Postal 131 – CEP 74001970 - Goiânia - GO, Brasil  
{ fernandomsbl, fariasilvaadriano, lapig.ufg, serque}@gmail.com

**Abstract.** Agriculture and pastures are an important sector of the Brazilian economy, especially in relation to the production of commodities that aims to serve the world market. Livestock production in Brazil is characterized by extensive management, at the landscape level, which confers low animal production per unit area. Due to the diversity of genera of grasses (*Andropogon*, *Brachiaria*, and others), different management, spatial location, relief, soil and climate, produce a mapping of pasture areas in Brazil through satellite images is a complex process. Thus, this analysis aims to present the synthesis and evolution of the pasture area in Brazil based on the different mapping initiatives, as well as to evaluate the spatial accuracy of these current mappings. The increase of pasture area in Brazil between 2002 and 2014, according to the most recent mappings, was 14,542,120 ha, evolving from 151,519,048 ha (PROBIO) to 166,061,167 ha. The Brazilian states that presented the greatest expansion of the pasture area were Mato Grosso (11 Mha), Maranhão (5,2 Mha), Pará (3,3 Mha), Tocantins (2,8 Mha) and Rondônia (2,7 Mha). The states of Goiás, Minas Gerais and Mato Grosso do Sul, important producers of livestock in Brazil, there was a considerable retraction of the pasture area, on average of 2 Mha. The average accuracy of the mappings that compose the mapping of the pasture area to the Brazilian territory is medium-high, approximately 73%.

**Palavras-chave:** pasture area, Mapping, land use, accuracy.

### 1. Introdução

A agropecuária é um importante setor da economia brasileira, sobretudo em relação a produção de commodities agrícolas (soja, milho, café, suco de laranja, etc.) que visa atender o mercado mundial. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) mostra que a agropecuária é o único setor da economia brasileira que cresceu em 2015 em relação ao ano anterior (1,8%) (IBGE, 2016a). Em termos territoriais, e de acordo com os dados do censo agropecuário de 2006 (segunda apuração), as áreas dedicadas à agricultura e à pecuária ocupam 56,3 Mha e 160 Mha, respectivamente (IBGE, 2006b).

A produção pecuária no Brasil é caracterizada pelo manejo extensivo a nível da paisagem (i.e. extensas áreas, baixo manejo, sem a utilização de fertilizantes, etc.), o que confere baixa produção animal por unidade de área. Por outro lado, com o aumento da demanda e da qualidade de carne pelo mercado internacional, tem ocorrido o aumento do manejo de pastoreio intensivo em sistema de rotação (piquetes menores e forrageiras com grande produção de biomassa). Sistemas de manejo intensivos proporcionam produtividade (arroba/ano) e ganhos nutricionais diferenciados para o gado (corte e leite) (Berndt et al., 2013), bem como redução na produção do gás metano, o qual apresenta potencial de aquecimento global 23 vezes maior que o dióxido de carbono (Broucek, 2014).

Devido a diversidade de gêneros das gramíneas forrageiras (i.e. *Andropogon*, *Brachiaria*, *Panicum*, etc), diferentes manejos empregados (tipo de raça e quantidade de unidade animal por hectare), localização espacial (região), relevo, solo e clima (definindo distintas regiões edafo-climáticas), o mapeamento das áreas de pastagens no Brasil, por meio da utilização de imagens de satélite, é um processo complexo, haja vista a diversidade de respostas espectrais (em função de diferenças em textura, cor e geometrias de imageamento) (Hill et al., 2011),



Hill, M. J.; Hanan, N. P.; Hoffmann, W.; Scholes, R.; Prince, S.; Ferwerda, J.; Lucas, R. M.; Baker, I.; Armeth, A.; Higgins, S. I.; Barrett, D. J.; Disney, M.; Hutley, L. Remote sensing and modeling of savannas: The state of the dis-union. In: **34th International Symposium on Remote Sensing of Environment - The GEOSS Era: Towards Operational Environmental Monitoring**, Sydney, NSW, 2011.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Indicadores IBGE. Contas Nacionais Trimestrais – Indicadores de Volume e Valores correntes. 4º tri/2015**. 2016a. 39p.

\_\_\_\_\_. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. 2016b. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua/default.asp?z=t&o=24&i=P>. Acesso em: 13.jan.2016.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Levantamento da Cobertura Vegetal Nativa do Bioma Mata Atlântica**. Edital Probio 03/2004. Brasília, 2007a. 84p.

Müller, H.; Rufin, P.; Griffiths, P.; Siqueira, A. J. B.; Hostert, P. Mining dense Landsat time series for separating cropland and pasture in a heterogeneous Brazilian savanna landscape, **Remote Sensing of Environment**, Vol. 156, p. 490-499, 2015.

WWF- Brasil e Instituto SOS Pantanal. **Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do Solo na Bacia do Alto Paraguai – Porção Brasileira – Período de Análise: 2010 a 2012**. Iniciativa: Instituto SOS Pantanal e Embrapa Pantanal. Brasília, 2012.



## Evolução da área de pastagem cultivada na microrregião de Itaberaba - BA

Sérgio Henrique de Moura Nogueira <sup>1</sup>  
Fernando Moreira de Araújo <sup>1</sup>  
Adriano Silva de Faria <sup>1</sup>  
Janete Rego Silva <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Goiás - UFG  
Instituto de Estudos Sócio-Ambientais - IESA  
Laboratório de Processamento de Imagem e Geoprocessamento - LAPIG  
Campus II - Samambaia, 74001-970, Goiânia - GO, Brasil  
{serque, fernandomsbl, fariasilvaadriano, janetegt25}@gmail.com

**Abstract.** Several methodologies were propose and applied to mapping of different land coverage and uses. Difficulties and limitations, such as cloud cover, spectral confusions and scales to be adopted are often found in different activities and studies. Thus, the identification of pastures is a work that must be carefully planned and executed. Pastures occurrence in different landscape conditions, such as soils, climates and reliefs, and in association with different systems of management and grazing, it was provide different spectral responses. Such responses are expressed in images in the form of patterns, characterized by different colors and textures. This paper aims to analyze and apply a methodology to mapping pastures, in regional scale, based on reflectance parameters and spectral indices, derivative from Landsat 8 satellite OLI sensor. We seek by segmentation and subsequent identification of different pastures patterns, an analysis of which bands and indexes would be better suited for the classification of pasture polygons, using mostly band 6 of the Landsat 8. The study area was the Itaberaba microregion, located in the Caatinga biome, which has the most territory covered by pastures. The result obtained by this mapping was compared and analyzed with official data from the Ministry of the Environment, and the Agricultural Census and the Municipalities Livestock Research.

**Palavras-chave:** remote sensing, pasture mapping, landsat 8, classification, mapeamento de pastagens, caatinga

### 1. Introdução

O nordeste brasileiro em sua grande parte é coberto pelo bioma Caatinga. Sua vegetação é constituída especialmente de espécies lenhosas e herbáceas de pequeno porte e geralmente caducifólia (Araújo Filho, 2013). As condições edafoclimáticas e a baixa vazão dos seus rios são desfavoráveis à intensificação da atividade agropecuária, propiciando assim uma maior concentração destas atividades em regiões próximas a grandes rios ou do litoral.

Em boa parte da sua extensão, a baixa capacidade de suporte das pastagens é responsável por uma pecuária caracterizada pelo baixo efetivo e taxa de lotação inferior à média dos biomas brasileiros (IBGE, 2006).

Neste contexto, o mapeamento das pastagens na Caatinga é um importante instrumento para a análise das dinâmicas ambientais e sociais. Destaca-se também a importância destes mapeamentos como subsídios ao monitoramento de parâmetros biofísicos (Ferreira et al., 2013) e geração de cenários voltados à otimização do uso destas áreas através de arranjos espaciais mais produtivos e ecologicamente mais sustentáveis (Couto et al., 2013). Mapeamentos já foram elaborados em diferentes escalas e regiões. Destes, destaca-se a iniciativa do PROBIO (Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira), onde buscou-se mapear as diferentes coberturas vegetais e usos antrópicos presentes neste bioma (MMA, 2007). Tal esforço foi realizado em escala 1:250.000 a partir de imagens Landsat 5 TM referentes ao ano base de 2002.

Entretanto, o mapeamento de pastagens no bioma Caatinga é complicado por uma série de fatores. Destacam-se a elevada presença de nuvens sobre esta região, a dificuldade na diferenciação entre pastos sujos e fitofisionomias arbustiva, a heterogeneidade das formas de pastejo neste bioma, além do comportamento espectral de pastagens localizadas sobre diferentes tipos de solos.



### Agradecimentos

À Fundação Moore e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior (CAPES), cujas bolsas concedidas aos autores foram imprescindíveis a realização desta pesquisa. Ao Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG).

### Referências bibliográficas

- ARAÚJO FILHO, J.A. Manejo pastoril sustentável da caatinga. Recife, PE: Projeto Dom Helder Camara, 2013. 200 p.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS U. M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, Vol.20 (3), 1996. p. 395-403.
- COUTO, M. S. D. S.; SMITH, O. P. ; FERREIRA, L. G. ; Garcia, F. N. ; FERNANDEZ, L. E. ; FIELD, C. B. . Identificação de Cenários Alternativos para as Áreas de Pastagens Cultivadas no Estado de Goiás a Partir de um Modelo de Programação Linear. RBC. Revista Brasileira de Cartografia (Online), v. 65, p. 1199-1210, 2013.
- FERREIRA, L.G.; FERNANEZ, L. ; SANO, E. E. ; FIELD, C. ; SOUSA, S. B. ; ARANTES, A. ; ARAÚJO, F. M. . Biophysical Properties of Cultivated Pastures in the Brazilian Savanna Biome: An Analysis in the Spatial-Temporal Domains Based on Ground and Satellite Data. *Remote Sensing*, v. 5, p. 307-326, 2013.
- JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 2ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 604 p
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Levantamento da Cobertura Vegetal do Uso do Solo do Bioma Caatinga**. Edital PROBIO 0156/04. Brasília, 2007. 19p.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T.M.. Sensoriamento Remoto da Vegetação. São José dos Campos, SP: Oficina de Textos. 2012, 176 p.
- ROUSE, J.W., R.H. HAAS, J.A. SCHELL, D.W. DEERING, J.C. HARLAN. Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation. NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, 1974, 371 p.

## **Anexo II**

Artigo publicado na revista *International Journal of Earth Observation and Geoinformation*



Contents lists available at ScienceDirect

Int J Appl Earth Obs Geoinformation

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/jag](http://www.elsevier.com/locate/jag)

## Monitoring the Brazilian pasturelands: A new mapping approach based on the Landsat 8 spectral and temporal domains



Leandro Parente<sup>a,\*</sup>, Laerte Ferreira<sup>a</sup>, Adriano Faria<sup>a</sup>, Sérgio Nogueira<sup>a</sup>, Fernando Araújo<sup>a</sup>, Lana Teixeira<sup>a</sup>, Stephen Hagen<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Image Processing and GIS Lab (LAPIG)<sup>1</sup>, Federal University of Goiás (UFG), Goiânia – GO, 74001-970, Brazil

<sup>b</sup> Applied GeoSolutions, 87 Packers Falls Road, Durham - NH, 03824, USA

### ARTICLE INFO

**Keywords:**  
Pasturelands  
Mapping  
Land-cover  
Random forest  
Landsat  
Data availability

### ABSTRACT

In a world marked by a rapid population expansion and an unprecedented increase in *per capita* income and consumption, sustainable food production is certainly the most pressing issue affecting mankind. Within this context, the Brazilian pasturelands, the main land-use form in the country, constitute a particularly important asset as a land reserve, which, through improved land-use strategies and intensification, can meet food security goals and contribute to the mitigation of greenhouse gas emissions. In this study, we utilized the entire set of Landsat 8 images available for Brazil in 2015, from which dozens of seasonal metrics were derived, to produce, through objective criteria and automated classification strategies, a new pasture map for the country. Based on the Random Forest algorithm, individually modeled and applied to each one of the 380 Landsat scenes covering the Brazilian territory, our map showed an overall accuracy of 87%. Another result of this study was the thorough spatial and temporal assessment of Landsat 8 data availability in Brazil, which indicated that about 80% of the country had 12 or fewer observations free of clouds or cloud shadows in 2015.

### 1. Introduction

Sustainable food security goals are directly related to livestock production, which accounts for most of the land use on the planet, with approximately 30% of the terrestrial land being used for animal feeding (FAO, 2013). Among the group of developing countries, Brazil plays a central role in the global production of food of animal origin, with the second largest commercial cattle herd in the world (USDA, 2016), fed, mostly, by approximately 160 million hectares of pasture (IBGE, 2006), the main land use form in the country.

Currently, Brazil is the largest exporter of beef in the world (CNA, 2016), and in order to meet the foreign market demands, the country had to substantially expand its beef and soy production in the last decades. The increase in beef production was achieved through the conversion of natural ecosystems into planted pastures, drastically altering the Amazon and Cerrado biomes, while the growth of soybean production, intensified after 2000, occurred on natural ecosystems and planted pastures (Lapola et al., 2013). Despite the extensification history of Brazil, more recent data indicate that this process has been reduced and the intensification of converted areas is increasing for the production of both commodities (Dias et al., 2016). Considering this

territorial dynamics, the Brazilian pasturelands constitute an important resource for the country, since it can be used as both a land reserve, especially for the production of grain, and as food for its cattle herd (Lambin et al., 2013). And such land use strategies present a great potential for mitigation of greenhouse gas emissions (Bustamante et al., 2012; Herrero et al., 2016).

However, the absence of recent, accurate, and spatially explicit mappings of these areas makes it difficult to implement public policies at regional and property levels. So far, the land cover maps produced under the Brazilian Program for the Conservation and Sustainable Use of the Brazilian Biodiversity – PROBIO (MMA, 2002) constitute the only spatially explicit mean for the identification of pastures throughout the Brazilian territory. After 2002, there were localized efforts to produce updated information, such as the TerraClass Amazônia (Coutinho et al., 2013) and the TerraClass Cerrado (MMA, 2015) projects, elaborated through the segmentation and visual inspection of Landsat scenes, i.e. following the same PROBIO methodology.

Considering the recent breakthroughs in remote sensing science and applications regarding large-scale land-cover mappings (e.g. Hansen et al., 2013), in this work we take advantage of cloud computing techniques to produce a new pasture map for entire Brazil, based on the

\* Corresponding author at Image Processing and GIS Lab (LAPIG), Federal University of Goiás, Campus II, Cx. Postal 131, Goiânia, Goiás, CEP 74001-970, Brazil.

E-mail address: [lea.l.parente@gmail.com](mailto:lea.l.parente@gmail.com) (L. Parente).

<sup>1</sup> [www.lapig.iesau.ufg.br](http://www.lapig.iesau.ufg.br).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2017.06.003>

Received 17 January 2017; Received in revised form 6 June 2017; Accepted 6 June 2017

Available online 20 June 2017

0303-2434/ © 2017 Elsevier B.V. All rights reserved.

I. Parente et al.

*Int J Appl Earth Obs Geoinformation* 62 (2017) 135–143

- Cerrado 2013. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.
- Nagler, P.L., Inoue, Y., Glenn, E.P., Russ, A.L., Daughtry, C.S.T., 2003. Cellulose absorption index (CAI) to quantify mixed soil?plant litter scenes. *Remote Sens. Environ.* 87 (2), 310–325.
- Pontius, R.G., Millones, M., 2011. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *Int. J. Remote Sens.* 32 (15), 4407–4429.
- Roy, D.P., Zhang, H.K., Ju, J., Gomez-Dans, J.L., Lewis, P.E., Schaaf, C.B., Sun, Q., Li, J., Huang, H., Kovalsky, V., 2016. A general method to normalize Landsat reflectance data to nadir BRDF adjusted reflectance. *Remote Sens. Environ.* 176, 255–271.
- USDA, 2016. USDA Agricultural Projections to 2025. United States Department of Agriculture, Washington.
- Zhu, Z., Wang, S., Woodcock, C.E., 2015. Improvement and expansion of the Fmask algorithm: cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4–7, 8, and Sentinel 2 images. *Remote Sens. Environ.* 159, 269–277.