

Monitoramento do desmatamento no bioma Cerrado: Novas perspectivas de detecção

Adriano Silva de Faria¹
Fernando Moreira de Araújo¹
Laerte Guimarães Ferreira¹
Sérgio Henrique de Moura Nogueira¹

¹ 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

Ambiente – SINIMA, com a finalidade de integrar informações ambientais de propriedades rurais para o monitoramento e combate ao desmatamento. Contudo, atualmente o CAR continua na fase cadastral e levará alguns anos para adequação da base nacional (municípios e estados). Em relação ao monitoramento sistemático utilizando imagens de satélite, o Sistema Integrado de Alerta de Desmatamento (SIAD), do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG/UFG), foi o pioneiro para o Cerrado, analisando anualmente o desmatamento, desde 2002, utilizando imagens orbitais do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). Em 2008 foi implementado o Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélites (PMDBBS), proposto pelo MMA, para monitorar a perda da cobertura vegetal florestal com base no mapeamento PROBIO. Outra iniciativa, da Universidade de Maryland (EUA), é o projeto Global Forest Change (GFC) que utiliza a análise de séries temporais Landsat (i.e. 5 TM, 7 ETM+ e 8 OLI – 30m) para o monitoramento da perda florestal a nível global (Hansen et al., 2013).

A perspectiva atual do monitoramento do desmatamento, devido a dinâmica espacial no território, é incorporar a análise de séries temporais orbitais, pixel a pixel, utilizando métodos estatísticos e inspeção visual para o refinamento dos falsos positivos. Dessa forma, o objetivo dessa análise busca avaliar a dinâmica espaço-temporal do desmatamento da cobertura vegetal natural no Cerrado por meio dos mapeamentos SIAD Cerrado e GFC, bem como avaliar a acurácia espacial do dado global para o ambiente savânico, marcado pela sazonalidade entre as suas estações.

2. Materiais e Métodos

A análise da dinâmica espaço-temporal do desmatamento com base nos mapeamentos SIAD e GFC no bioma Cerrado será realizada entre 2002 a 2014. O SIAD iniciou a análise de desmatamento a partir de 2002, enquanto o GFC inicia a sua análise entre 2001 a 2014. Ambas iniciativas apresentam metodologias e objetivos diferentes. O Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos (SIAD) (Disponível em: lapig.iesa.ufg.br), do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG), da Universidade Federal de Goiás (UFG), gera os polígonos do desmatamento utilizando os dados orbitais do produto MODIS MOD13Q1 referente a data/dia 161 (calendário juliano) para ambos anos. A data é definida com base na baixa cobertura de nuvens no período de imageamento em relação as demais composições do ano (i.e. o dado MOD13Q1 disponibiliza 23 composições ao ano). O SIAD detecta possíveis desmatamentos por meio dos limiares de mudança da cobertura ($\geq 20\%$) e área mínima (≥ 25 hectares) (FERREIRA et al., 2007 e ROCHA et al., 2011).

O mapeamento Global Forest Change (GFC) (disponível em: earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest), por sua vez, realiza o monitoramento da perda de vegetação florestal (Tree Cover Loss) a nível global, mapeando áreas que apresentam perda florestal superior a 5 metros de altura, seja por processos de retirada (corte) ou mortalidade por meio de fatores como colheita mecânica, queimadas, doenças ou tempestades (Hansen et al., 2013). Os dados utilizados pelo GFC para o mapeamento global são imagens multiespectrais dos satélites Landsat 5 (Thematic Mapper - TM), 7 (Enhanced Thematic Mapper Plus - ETM+) e 8 (Operational Land Imager - OLI) com resolução espacial de 30 metros, convertidas para valores de refletância do topo da atmosfera (TOA) e filtradas para a exclusão dos pixels com a presença de nuvens, sombra e água. A refletância é subdividida em métricas (máxima, mínima e percentuais de 10, 25, 50, 75 e 90) e inclinação da regressão linear do valor de refletância em relação a data da imagem. Imagens de alta resolução, i.e. *Quickbird*, da plataforma Google Earth, e de média resolução, i.e. Landsat, são utilizadas para obter percentuais de cobertura arbórea. Posteriormente os dados passam por processos de inspeção visual avaliando a mudança na vegetação (Hansen et al., 2013).

Essencialmente, a diferença entre as duas iniciativas está na base do mapeamento, i.e. resolução espacial das imagens de satélite (Modis/250m e Landsat/30m) e a análise de séries temporais. Para fins de compatibilização do dado GFC com SIAD, foram selecionados somente os polígonos de perda de vegetação florestal ≥ 25 hectares que interseccionaram com a máscara da vegetação remanescente do PROBIO, dados entre 2002 a 2012, e TerraClass Cerrado, dados de 2013 e 2014. Ao final desse processo, todos os polígonos GFC interseccionados com a máscara de vegetação natural foram classificados como desmatamento (retirada da vegetação remanescente). Os outros polígonos GFC foram descartados em função de sua localização sobre outras classes de usos da terra, como agricultura, silvicultura, vegetação secundária e outras. A dinâmica espacial será analisada por meio da interseção dos dados de desmatamento de ambas iniciativas com os municípios (1.390) localizados no bioma Cerrado.

Para avaliar a acurácia espacial do dado GFC foram selecionadas 5 cenas Landsat (limite útil) aleatórias no Cerrado (121 cenas) para 2014, sendo 219/72 (MG), 220/64 (MA) e 66 (PI), 222/68 (TO) e 226/69 (MT). No total, foram inspecionados 633 polígonos (60.968 ha) utilizando duas imagens Landsat, sendo a primeira e a última imagem do ano ou a melhor passagem com a menor cobertura de nuvens. As cenas Landsat permitirão avaliar a acurácia espacial do dado GFC a nível local no Cerrado, que é notadamente caracterizado pela variação sazonal e pela ocorrência do fogo em suas fitofisionomias (Araújo et al., 2012), características que levam a geração de falsos-positivos do desmatamento. A figura 1 temos a localização das cenas Landsat selecionadas para avaliação da acuidade espacial do dado GFC no bioma Cerrado.

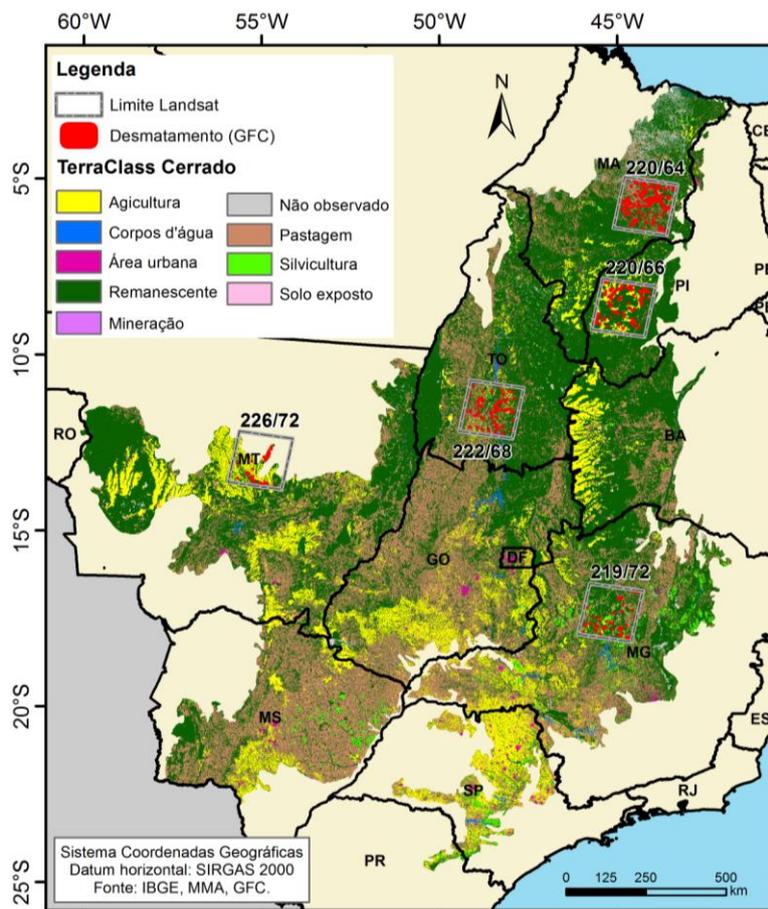


Figura 1 – Localização das cenas Landsat para avaliação da acuidade espacial do mapeamento Global Forest Change (GFC) no bioma Cerrado.

3. Resultados e Discussão

O SIAD Cerrado, entre 2002 e 2014, mapeou 3.3 Mha de desmatamento a mais que o GFC, sendo 6.415.550 ha e 3.263.824 ha, respectivamente. Ainda que apresente diferença metodológica os dois produtos, a distribuição espacial do desmatamento no Cerrado apresenta convergência, conforme a figura 2. As figuras 2A e 2B nos mostram que as porções de Cerrado nos estados do Mato Grosso (MT) e Bahia (BA), em ambos mapeamentos (SIAD/GFC), são os que mais desmataram, sendo 1.469.475/1.099.931 ha e 894.921/581.256 ha, respectivamente. Entretanto, a divergência acentuada entre os mapeamentos ocorre para os estados do Mato Grosso do Sul (MS) e do Tocantins (TO), pois o GFC aponta o MS (333 mil ha) desmatando mais que o TO (238 mil ha), enquanto o SIAD aponta o TO como o terceiro estado que mais contribui para desmatamento ilegal (852 mil ha) e o MS na nona posição (418 mil ha).

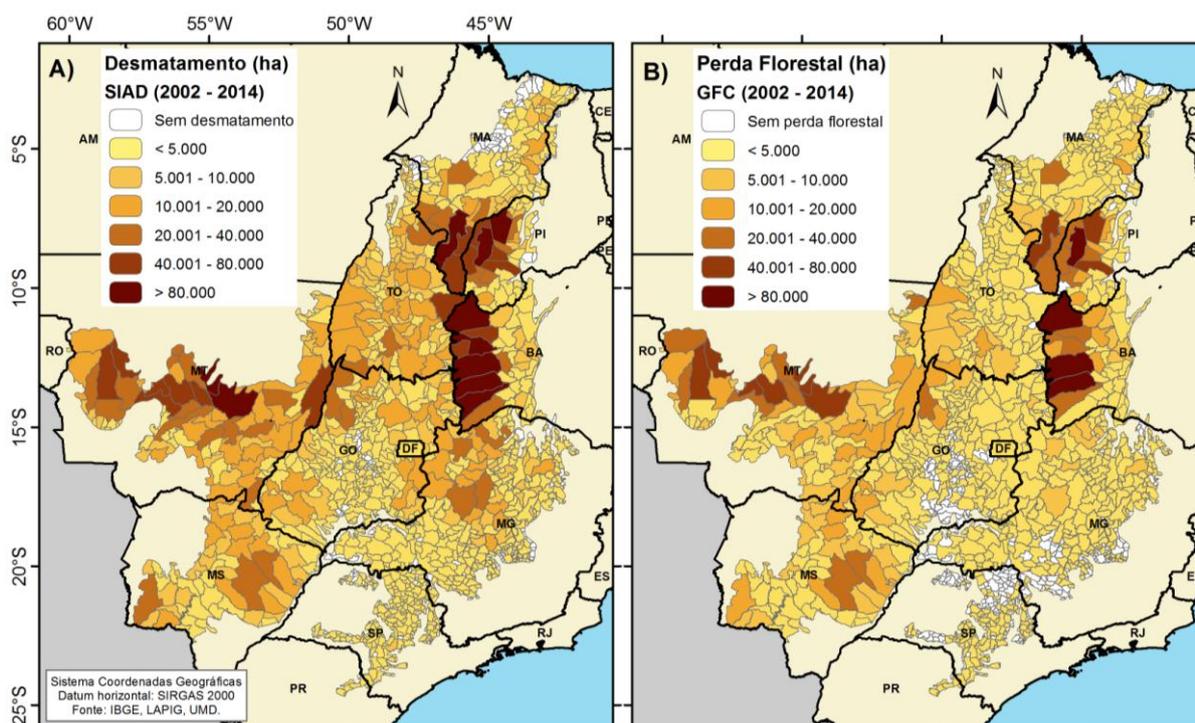


Figura 2 – Área desmatada mapeada pelas iniciativas SIAD (A) e Global Forest Change (GFC) (B) para o bioma Cerrado entre 2002 a 2014.

Entretanto, ambos os dados, SIAD e GFC, indicam que há uma crescente conversão da vegetação remanescente para o uso antrópico na região conhecida por MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia). Uma das frentes de ocupação dessa região é a implementação do Plano de Desenvolvimento Agropecuário do MATOPIBA, criado pelo Governo Federal objetivando acelerar o desenvolvimento econômico dessa região (MAPA, 2015; EMBRAPA, 2014). Este plano traz legalidade e oportunidades de abertura de novas áreas para a produção de grãos na última fronteira agrícola do país (MAPA, 2015). Além dessa região ser propícia para mecanização, também possui infraestrutura para o escoamento de grãos e incentivos para obtenção de financiamentos para compras de novas terras.

As figuras 3A e B demonstram a distribuição do desmatamento segundo os períodos analisados pelo GFC e SIAD. Observar-se que, entre 2002 a 2004, ambos mapeamentos apresentaram os maiores registros de desmatamento, enquanto de 2005 a 2010, uma queda acentuada, variando em média 45% em comparação com o período anterior. Para o período de 2011 - 2012, outro aumento acentuado, sobretudo registrado pelo SIAD, de aproximadamente

196%. A interseção entre os dados das duas iniciativas segue o mesmo padrão supracitado (Figura 3C), seguindo os ciclos de aumento e queda registrados, sendo no total 1.925.386 ha, representando 61% e 30% do total mapeado pelo GFC e SIAD entre 2002 a 2014, respectivamente. Ainda que o SIAD Cerrado tenha mapeado 203% há mais de áreas desmatadas em relação ao GFC, a correlação entre os dados é alta ($N = 1.390$, $F = 9.581$, $P < 0,001$), ou seja, 87% (Figura 3D). Essa alta correlação corrobora a tendência de convergência de ambos dados para o monitoramento do desmatamento no Cerrado, a nível municipal, mesmo apresentando concepções metodológicas e base de dados diferentes.

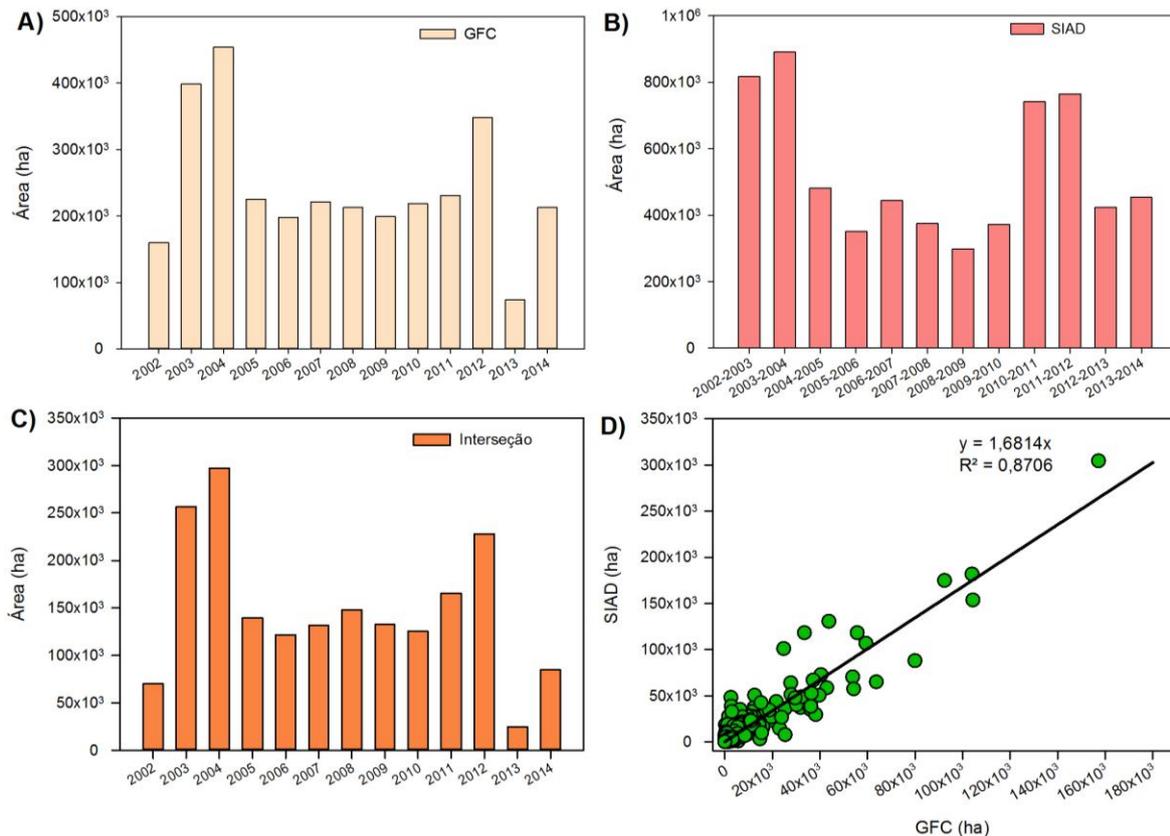


Figura 3 – Distribuição temporal da área desmatada de acordo com os dados GFC (A), SIAD (B), interseção GFC – SIAD (C) e a regressão linear simples (D).

A avaliação espacial do dado GFC para o monitoramento do desmatamento no Cerrado apresentou uma acurácia média de 60% (382). A área média dos polígonos classificados corretamente como desmatamento é de 114 ha, enquanto os não desmatamentos é de 80 ha sendo que, o SIAD, 2013-2014, mapeou áreas desmatadas com um tamanho médio de 123 ha (3.689 polígonos) A figura 4 mostra o desmatamento identificado, no estado do PI, entre os municípios de Baixa Grande do Ribeiro e Uruçuí, por ambos mapeamentos em 2014. Ao analisarmos a figura 4, nota-se que o dado GFC classifica com precisão as áreas com a retirada total da vegetação remanescente, mas não delimitando a área total devido ao desmatamento seletivo, que apresenta maior mistura espectral e variação sazonal na série Landsat (aprox. 20 imagens/ano), enquanto o SIAD, não delimita corretamente a área desmatada, porém se aproxima com maior precisão devido a menor mistura espectral e variação sazonal por utilizar a diferença de duas imagens.

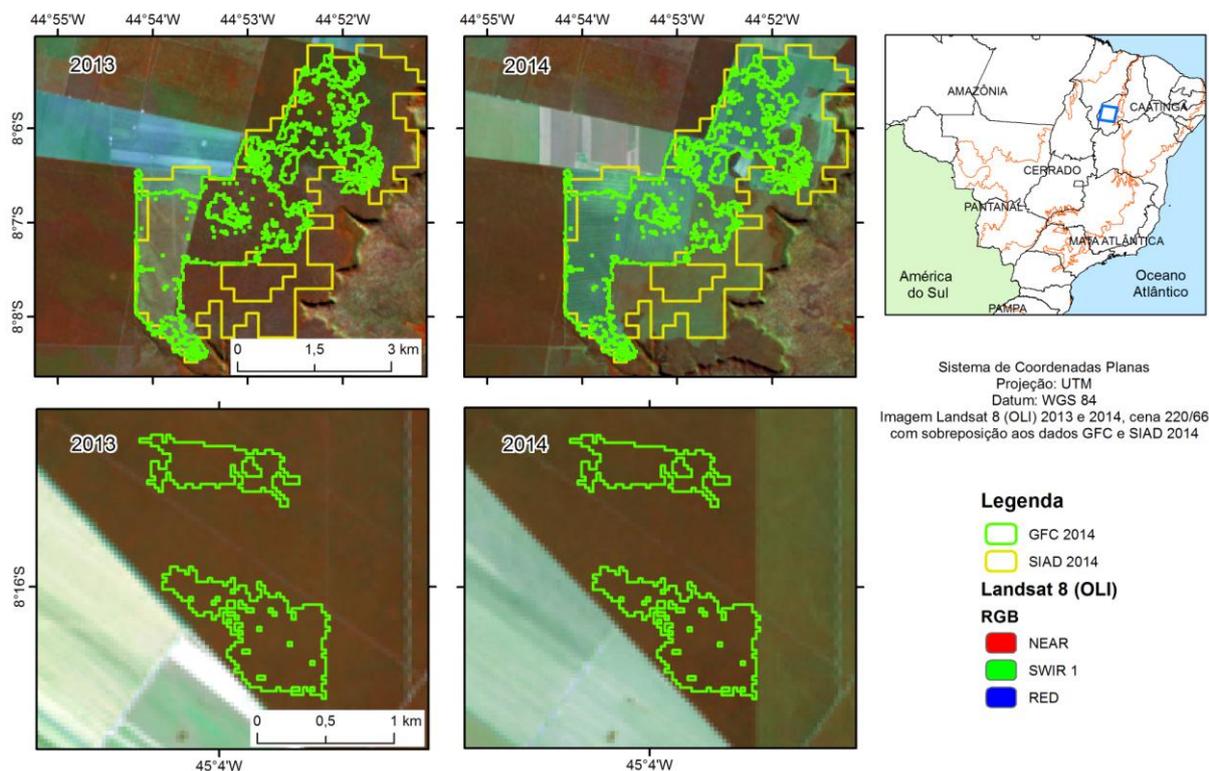


Figura 4 – Desmatamento detectado pelos mapeamentos SIAD e GFC na região sul do estado do Piauí.

A variação sazonal é marcante no bioma Cerrado, sobretudo para o mosaico vegetacional composto por 9 regiões fitoecológicas (i.e. 30 tipos de fitofisionomias) (MMA, 2007), cuja a região fitoecológica savânica corresponde a 60% de sua vegetação natural, a qual não possui estrutura arbórea superior a 8 metros (Brasil, 2015). Dessa forma, 67% e 32% dos desmatamentos positivos identificados pelo GFC ocorreram nas formações savânicas (i.e. Cerrado Denso, Cerrado Típico, Cerrado ralo, Parque Cerrado e Cerrado Rupestre) e florestais (i.e. Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), respectivamente. Por sua vez, os desmatamentos falsos-positivos estão localizados em maior proporção, nesta ordem, sobre as formações savânicas (61%), florestais (36%) e campestres (3%).

4. Conclusões

As iniciativas para o monitoramento do desmatamento no bioma Cerrado, SIAD e GFC (nível global), ainda que apresentem diferenças metodológicas, principalmente em relação a base de mapeamento com maior resolução espacial (i.e. diferença de detalhamento dos alvos é de 69 vezes) e análise de séries temporais (maior nível de processamento para grandes volumes de dados), há uma alta correlação entre os dois produtos. Outro ponto relevante é o objetivo de cada iniciativa, o SIAD busca detectar a retirada (desflorestamento) da vegetação remanescente, enquanto os dados GFC buscam identificar a perda arbórea superior a cinco metros de altura, tornando mais eficaz a detecção do desmatamento em áreas remanescentes dos biomas Amazônia e Mata atlântica, devido ao porte florestal, enquanto para regiões com vegetação herbáceo-arbustivas, como os biomas Caatinga e Pampa, essa metodologia necessita de revisões, seja em função variabilidade sazonal entre os períodos secos e chuvosos, como também, em relação ao mosaico fitoecológico.

Em relação ao SIAD Cerrado é preciso avançar na metodologia de detecção do desmatamento, trabalhar com séries temporais de dados de média e alta resolução espacial torna-se cada vez mais possível devido ao aumento do poder de processamento das imagens

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-protegidas/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 context 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>. 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).