

Validação do Sistema Integrado de Alerta de Desmatamentos para a região de savanas no Brasil

Manuel Eduardo Ferreira
Fanuel Nogueira Garcia
Genival Fernandes Rocha

Universidade Federal de Goiás
Programa de Doutorado em Ciências Ambientais
Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento
Cx. Postal 131, 74001-970, Goiânia - GO, Brasil
manuel@iesa.ufg.br; fanuelng@yahoo.com.br; gfernandesr@gmail.com

Abstract. In this paper we present the results of a field activity aimed at the validation of the "Integrated Warning Deforestation System" (SIAD) for the savanna region in Brazil (locally known as Cerrado biome), held in October 2008 in the States of Goiás (northeastern portion) and Bahia (western portion). This validation included the detections from four periods (2003-2004, 2004-2005, 2005-2006 and 2006-2007), with a minimum area of 25 hectares and 30% change threshold. Altogether, 44 samples (polygons) were inspected along the BR-020 highway (Formosa, Goiás to Luis Eduardo Magalhães, Bahia direction), covering three land use classes (pasture, agriculture/forestry, and urban spread). The results indicate a rate of success for SIAD of 79%, with most alerts occurring on areas of shrub Cerrado (11%) and Cerrado woodland (88%). In general, these areas were converted due to the expansion of agriculture (47%) and pasture (29%), predominantly in Bahia and Goiás, respectively. The other 20% of the analyzed polygons were considered as commission errors due to the seasonality of the Cerrado and/or burning areas in the remnant vegetation. Regarding the deforestation occurrence, there is a balance among the samples (30% per period), except for 2006-2007, with only 10% of the polygons. Finally, the study provided a better understanding about the natural and human landscapes found in these areas, indicating the potential of SIAD for the systematic monitoring of the Cerrado biome.

Palavras-chave: SIAD, Cerrado biome, field validation, landscape analysis, bioma Cerrado, validação de campo, análise da paisagem.

1. Introdução

Desde o início de 2008, o Sistema Integrado de Alertas de Desmatamentos (SIAD) vem sendo empregado de forma sistemática para o acompanhamento da dinâmica de ocupação humana para todo o bioma Cerrado, no âmbito da cooperação firmada entre a Universidade Federal de Goiás (via Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento - LAPIG), Conservação Internacional (CI) e The Nature Conservancy (TNC). Este sistema, desenvolvido num ambiente de SIG, realiza a comparação de imagens índice de vegetação obtidas pelo sensor MODIS (Produto MOD13Q1, 16 dias, 250m), detectando possíveis alertas de desmatamentos (polígonos) decorrentes de uma atividade antrópica, e correlacionando-os com outras variáveis socioambientais (Ferreira et al., 2007).

O esforço conjunto para monitorar este importante ecossistema passa também por um controle rigoroso dos dados gerados pelo SIAD, onde, apesar das várias etapas de filtragem (ex. eliminação de *pixels* contaminados por nuvens, inspeção visual com imagens auxiliares, etc.), erros de omissão e/ou comissão podem ocorrer.

Normalmente, as validações em campo para sistemas de monitoramento como o SIAD são necessárias para se aferir a precisão quanto à detecção de mudanças na cobertura vegetal via imagens de satélites (Martins e Zanon, 2007). Soma-se a isto o fato de que *in loco* o entendimento geral sobre a paisagem (natural e antrópica) é significativamente maior. Sendo assim, apresentamos neste artigo as etapas de preparação, resultados e discussões advindas da primeira atividade de campo voltada para a validação do SIAD - Cerrado, realizada entre os

dias 01 e 03 de outubro de 2008, nos Estados de Goiás (região nordeste) e Bahia (região oeste).

Com propósitos semelhantes, no ano de 2005 o SIAD fora validado em áreas de fisionomia florestal na região Amazônica, mais precisamente no Estado de Rondônia, apresentando um desempenho bastante satisfatório (Ferreira et al., 2007). Restava, no entanto, testá-lo para o ambiente de savanas, cujo efeito da sazonalidade, associada no período seco à ocorrência de queimadas, acaba por dificultar a detecção dos “verdadeiros” alertas de desmatamentos.

Além do objetivo de validação do próprio SIAD, buscamos neste estudo avaliar o desempenho do sistema para duas regiões no Cerrado, distintas sob os aspectos físicos e socioeconômicos, compreendendo o nordeste Goiano, cuja presença de pastagem é predominante, e o oeste da Bahia, região caracterizada pelo agronegócio (atualmente, um porto seco para a exportação de algodão e soja).

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de estudo e seleção amostral

Os alertas de desmatamentos detectados pelo SIAD, e posteriormente selecionados para inspeção em campo, referem-se ao trecho Formosa (GO) - Luis Eduardo Magalhães (BA), conforme indicado na Figura 1. Estes alertas foram obtidos em 04 períodos (2003-2004, 2004-2005, 2005-2006 e 2006-2007), sempre na primeira quinzena do mês de outubro. Outros parâmetros do SIAD (adotados neste estudo) dizem respeito à área mínima detectável e o limiar de mudança na paisagem, ajustados para 25 hectares e 30%, respectivamente.

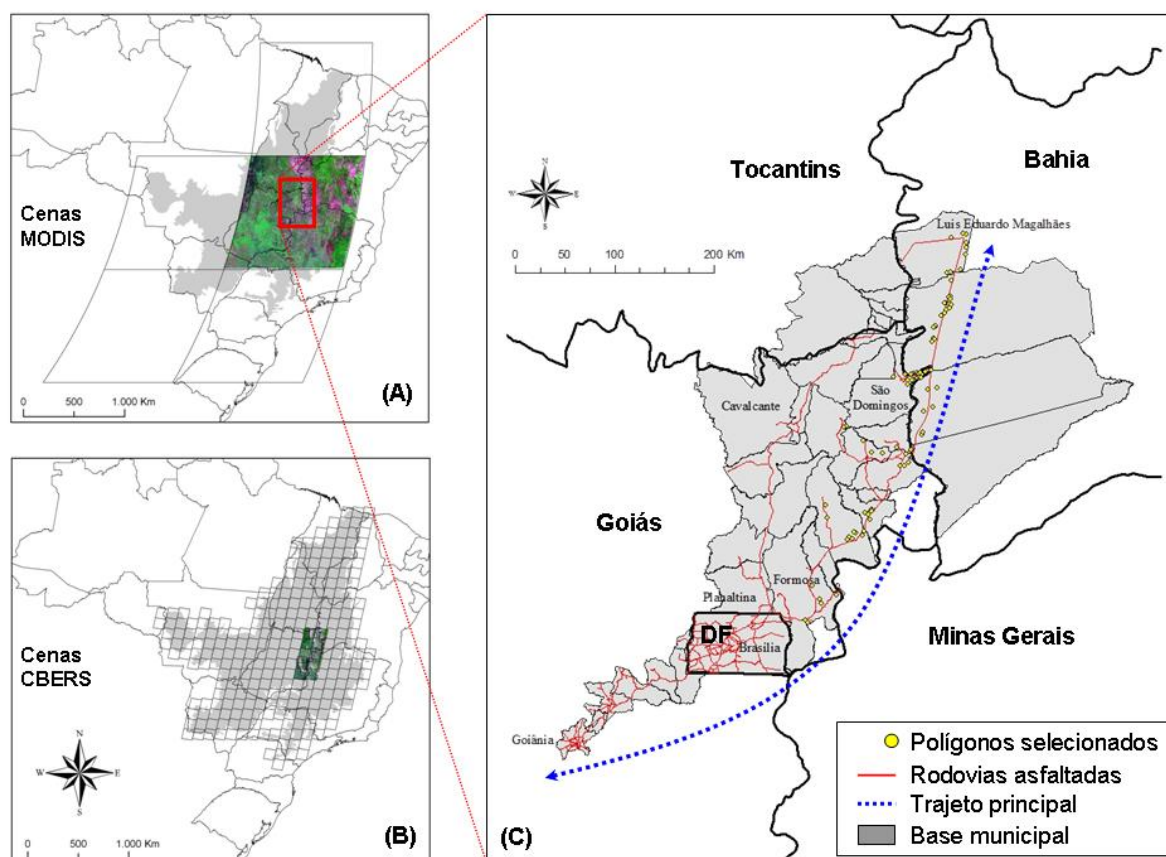


Figura 1. Área de estudo. (A) Cenas do sensor MODIS sobre o limite do bioma Cerrado, empregadas na detecção dos alertas de desmatamentos. (B) Cenas do sensor CBERS-CCD sobre o limite do Cerrado, empregadas na validação visual dos alertas. (C) Detalhe das áreas percorridas em campo para a validação do SIAD, com destaque para os pontos de desmatamentos pré-selecionados para esta análise.

Os critérios para a seleção dos polígonos de desmatamentos foram (1) a localização (num raio de até 5 km de estradas) e (2) a dimensão destes alertas, com área mínima de 25 hectares, independente do período de detecção (i.e., entre 2003 e 2007). Dessa forma, foram pré-selecionados 84 polígonos (equivalentes a 16 mil hectares), ao longo da rodovia BR 020 (eixo principal), conforme ilustra o mapa na Figura 1.

Como esperado, alguns fatores (deparados somente *in loco*) contribuíram para uma segunda seleção destes polígonos, tais como as condições de acesso aos seus respectivos centróides (coordenada geográfica central). Em geral, tais centróides se encontravam em propriedades rurais com restrições de acesso (áreas cercadas, muito íngremes, ou com caminhos ocultados pela vegetação). Assim, de um universo amostral de 84 polígonos previamente selecionados, foi possível inspecionar 44 (52% do planejado), totalizando uma área aproximada de 13 mil hectares. Portanto, a título de validação estatística do SIAD, consideramos um universo amostral de 44 polígonos.

3. Resultados e Discussão

3.1. Caracterização das paisagens

Quanto à caracterização das paisagens analisadas (naturais e antrópicas), dois padrões são identificados, os quais por sua vez estão relacionados com as categorias de desmatamentos validados em campo (i.e., agricultura/reflorestamento, pastagem e expansão urbana). A Figura 2 ilustra estas duas paisagens no Cerrado.

A primeira, no nordeste Goiano, é caracterizada por um relevo mais movimentado, com superfícies planas a fortemente onduladas, onde as áreas de Cerrado são normalmente destinadas para a agricultura de pequeno porte (mecanizada ou não) e para a pastagem nativa. Geralmente, os polígonos deste grupo apresentam áreas menores do que aqueles observados no Estado da Bahia (segundo grupo de polígonos) (Tabela 1). Mais ao norte do Estado, passando pelos municípios de Flores de Goiás, Posse e São Domingos, a paisagem vai ganhando gradativamente as formas admiráveis do Vão do Paranã, com uma geomorfologia pontuada por superfícies de aplainamento mais recentes, morros/colinas e afloramentos rochosos. Conseqüentemente, a declividade dos terrenos se acentua consideravelmente (entre 10 e 15°), enquanto a fertilidade do solo decai, restringindo o uso antrópico às atividades de pastagem e culturas de subsistência, intercaladas com áreas de reflorestamento de eucalipto (atendendo a demanda por lenha e móveis).

No Estado da Bahia (segundo grupo de polígonos), já se aproximando do município de Luis Eduardo Magalhães, é notável a diferença no que diz respeito à topografia (bastante plana, devido à presença dos chapadões), assim como no padrão de uso da terra, marcado por grandes propriedades agrícolas (soja e algodão). Trata-se de uma região estratégica para o agronegócio, desenvolvida num entroncamento entre Brasília (DF), Palmas (TO) e Salvador (BA). Por outro lado, é uma região em contínua expansão sobre os remanescentes do Bioma Cerrado, conforme os dados obtidos em campo.

3.2. Estatísticas - validação

Em geral, dos 44 polígonos vistoriados em campo, 35 foram confirmados como categoria de desmatamento, o equivalente a uma taxa de acerto para o SIAD de 79%. Ainda sobre este total, 21 polígonos estão diretamente relacionados com agricultura (47%), 13 foram identificados como novas áreas de pastagem (29%) e apenas um identificado como expansão urbana (loteamento) (Figura 3).

Nas áreas convertidas para pastagem, o fator fogo foi identificado em três destes polígonos (23%), todos no Estado de Goiás. Nas áreas convertidas para a agricultura, apenas um polígono foi caracterizado como reflorestamento com eucalipto. Nas demais áreas

agrícolas, as culturas predominantes foram a soja e o algodão (esta última concentrada no oeste da Bahia). Não foi constatada a presença de culturas de cana-de-açúcar em nenhuma das regiões analisadas.



Figura 2. Padrões de paisagem (natural e antrópica) encontrados na região estudada. (A) e (B) Paisagens típicas do Vão do Paraná, região nordeste de Goiás, com terrenos mais íngremes, normalmente ocupados por pastagens. (C) Paisagem típica na região oeste da Bahia, com topografia plana, propiciando a agricultura de larga escala. (D) Indústria de beneficiamento agrícola próxima à Luis Eduardo Magalhães (região oeste da Bahia).

Em relação aos desmatamentos por Estado (Figura 3), é na Bahia (região oeste) que se encontra o maior número de polígonos destinados à agricultura, totalizando 18 alertas de desmatamento nesta categoria. Em Goiás, ao contrário, este número foi de apenas 03 polígonos. Por outro lado, a categoria de pastagem prepondera em Goiás (região nordeste), com um total de 12 polígonos, para apenas 01 na Bahia. Tais números confirmam as aptidões de cada Estado/região.

Ainda em relação ao gráfico da Figura 3, os falsos alertas do SIAD (i.e., erros de comissão) ficaram equilibrados (e controlados) para ambas as regiões, provavelmente porque as fisionomias de Cerrado e o clima sazonal são semelhantes. Dos 44 polígonos vistoriados em campo, 09 foram caracterizados como mudanças sazonais ou queimadas (20%). Embora detectados pelo SIAD como prováveis desmatamentos (i.e., com redução significativa do índice de vegetação NDVI), uma parte destas áreas representavam mudanças sazonais da cobertura vegetal nativa (no caso, 05 polígonos). Outros 04 polígonos foram caracterizados em campo como prováveis queimadas em Cerrado nativo, sem indicativos da ocupação antrópica.

Quanto aos períodos de detecção dos polígonos vistoriados (2003-2004, ..., 2006-2007), o gráfico na Figura 4 indica um equilíbrio entre estes, com exceção para o último período, o qual apresentou um número bem inferior de detecções. Nota-se que os polígonos referentes ao período 2004-2005 se concentraram no Estado da Bahia, indicando uma fase mais intensa de desmatamentos (confirmados em campo), normalizada nos períodos posteriores.

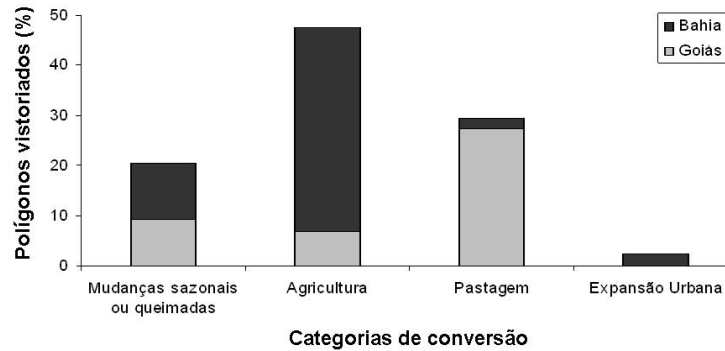


Figura 3. Distribuição dos polígonos vistoriados (44 amostras) de acordo com a categoria de conversão (uso da terra) e Estado. A classe “mudanças sazonais ou queimadas” representa os erros de comissão. As classes “agricultura”, “pastagem” e “expansão urbana” representam os alertas confirmados como desmatamentos no Cerrado.

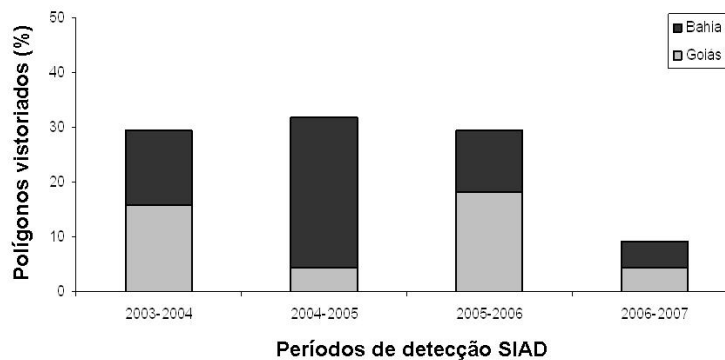


Figura 4. Distribuição dos polígonos vistoriados de acordo com o período de detecção e Estado.

Sobre esta diferença de polígonos em 2004-2005 entre os dois Estados/regiões, e com base na Tabela 1, observa-se que a área total desmatada na Bahia (10.027 hectares) – entre os polígonos inspecionados – é significativamente maior do que a área total dos desmatamentos em Goiás (2.974 hectares).

Ainda com base nesta tabela, verificam-se diferenças significativas quanto à área máxima, área média, desvio padrão e Coeficiente de variação (CV) entre os polígonos vistoriados nestas duas regiões. Tais diferenças são, em parte, explicadas pelo desenvolvido agronegócio no oeste da Bahia, alavancado pela topografia apropriada para grandes plantios, infraestrutura e localização; este CV mais elevado (1,25) indica uma maior variação nas dimensões destes polígonos de desmatamento (pequenas e grandes expansões). Ao contrário, no nordeste Goiano, devido à ausência destas variáveis, preponderam-se os polígonos menores, com maior regularidade na dimensão (CV = 0,96), destinados à expansão da pastagem, agricultura familiar e reflorestamentos.

Tabela 1. Estatística básica dos polígonos vistoriados em campo, divididos em grupo 1 (nordeste de Goiás) e grupo 2 (oeste da Bahia).

	Grupo 1 (Goiás)	Grupo 2 (Bahia)
Nº de polígonos/grupo	19	25
Área mínima (ha)	27,65	27,80
Área máxima (ha)	507,96	1.903,00
Área total (ha)	2.974,26	10.027,91
Área média (ha)	156,54	401,12
Desvio padrão	151,00	502,87
Coeficiente de variação	0,96	1,25

Quanto às classes de Cerrado convertidas para as categorias analisadas (Figura 2), e de acordo com o mapa do PROBIO¹ (Sano et al., 2008), foi constatado uma concentração dos alertas de desmatamentos em áreas de Campo Sujo e Cerrado Típico, com 11% e 88% do total de polígonos vistoriados, respectivamente (Figura 5).

Esta tendência de conversão em áreas de Cerrado com fisionomia arbustiva e arbórea é explicada, em parte, pela predominância destas classes nas regiões selecionadas para a validação. Assim, os alertas de desmatamentos em áreas de Campo Sujo (mais arbustivo) ficaram restritos ao Estado de Goiás (região nordeste, mais declivosa, com solos menos desenvolvidos), enquanto que os desmatamentos em Cerrado Típico (mais arbóreo) predominaram no Estado da Bahia (região oeste, mais plana, com solos mais desenvolvidos) (Figura 5). De qualquer forma, os dados evidenciam uma concentração dos desmatamentos sobre estas espécies vegetais com característica lenhosa, devido ao apelo comercial que as mesmas possuem nas regiões analisadas (grande demanda por carvão vegetal).

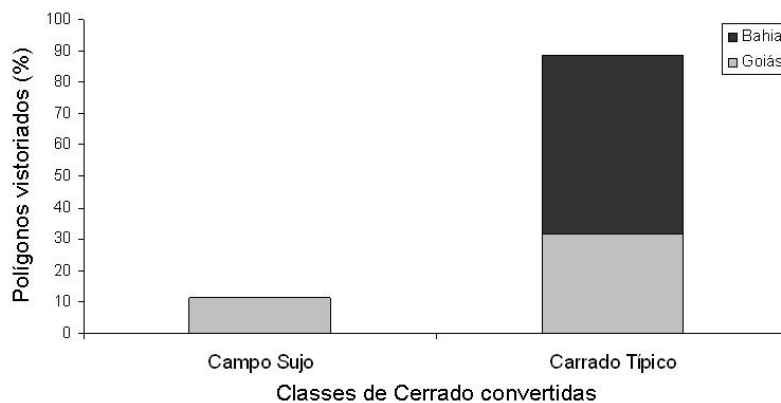


Figura 5. Distribuição dos alertas de desmatamentos confirmados em campo de acordo com a classe de Cerrado e Estado.

A Figura 6 ilustra alguns exemplos de alertas de desmatamentos detectados pelo SIAD e confirmados em campo (expansão da pastagem, agricultura e reflorestamento), incluindo um exemplo de erro de comissão (efeito da sazonalidade no Cerrado).

3.3. Tendências de ocupação

Ao longo desta pesquisa, percorrendo regiões um tanto discrepantes em termos de ocupação antrópica e preservação ambiental, foi possível observar o atual cenário de conversão do Cerrado no nordeste de Goiás e oeste da Bahia (referente ao mês de outubro/2008). Neste sentido, e a despeito dos polígonos SIAD validados em campo, outros 27 pontos de GPS foram coletados, com respectivos registros fotográficos, visando identificar os desmatamentos em curso e suas respectivas motivações.

Atualmente, o oeste Baiano se destaca no cenário nacional não só pelo grande desenvolvimento na agricultura, mas também pelas soluções encontradas para o beneficiamento e escoamento da produção. Em apenas 15 anos (desde a implantação do município/sede de Luis Eduardo Magalhães), esta região vem sendo uma das responsáveis pelo avanço da fronteira agrícola no bioma Cerrado (porção leste/nordeste). Hoje, parte dos desmatamentos realizados no nordeste Goiano atende às demandas da região supracitada,

¹ PROBIO. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira, concluído em 2007. Mapa dos biomas disponível em < [http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm/?/](http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm?/) >.

principalmente no comércio de carvão vegetal (destinado às indústrias de beneficiamento de soja e algodão).

Por conta desta demanda energética, tornou-se comum a substituição do Cerrado pelos plantios de eucaliptos. A produção de carne (e derivados) em Goiás tem atendido também a esta região. O gráfico na Figura 7 ilustra a distribuição destes pontos por Estado (referente às áreas de campo) e por categoria de motivação.

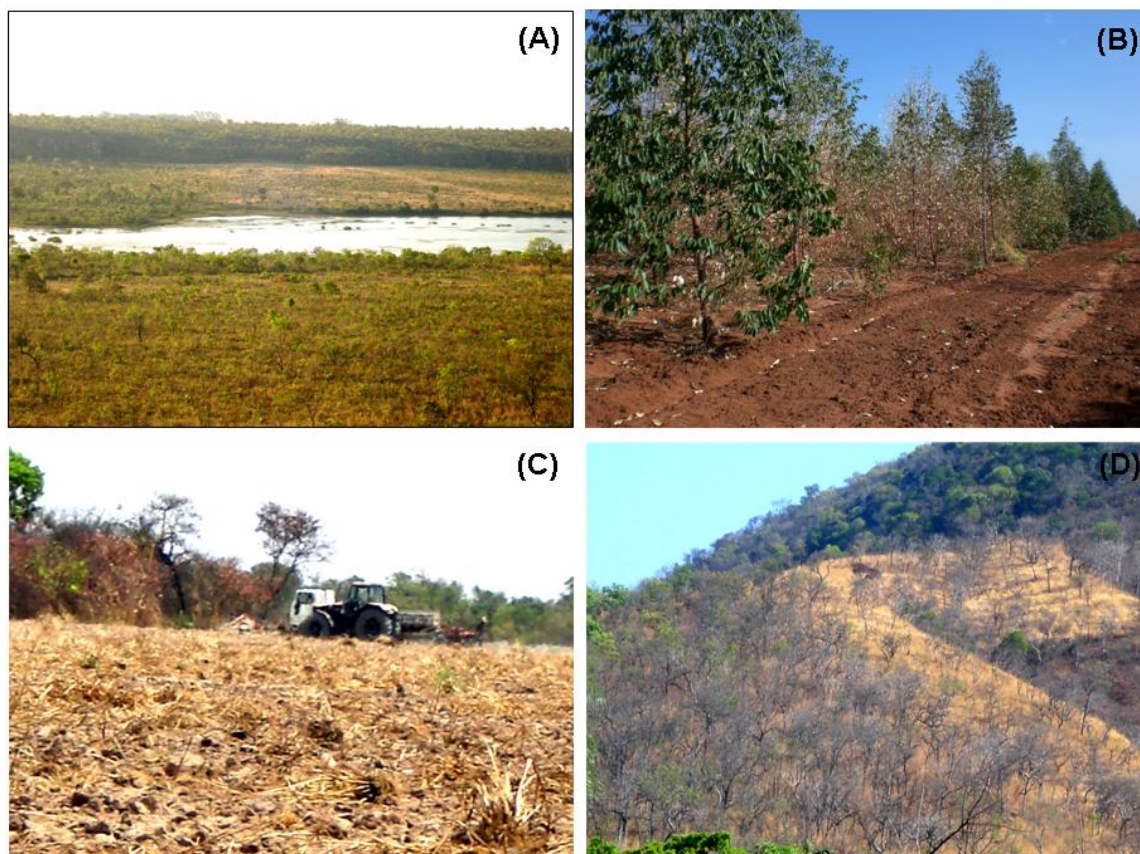


Figura 6. Exemplos de desmatamentos detectados pelo SIAD e confirmados em campo. (A) Áreas de Cerrado convertida para pastagem (São Desidério, Bahia). (B) Área convertida para plantio de eucaliptos (Posse, Goiás). (C) Área de Cerrado em processo de conversão para a agricultura (São Desidério, Bahia). (D) “Falso” alerta de desmatamento detectado pelo SIAD, devido à sazonalidade do Cerrado na seca (região do Vão do Paranã, Goiás).

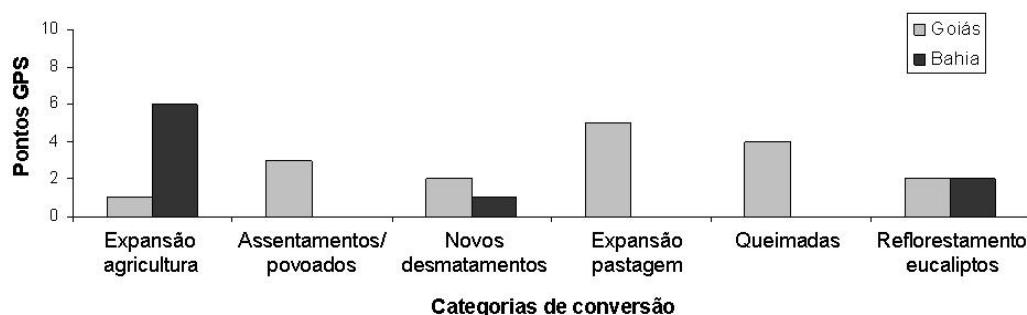


Figura 7. Distribuição dos pontos extras de GPS entre as categorias de motivação dos desmatamentos – regiões nordeste de Goiás e oeste da Bahia.

Com base nesta análise (Figura 7), observa-se uma clara tendência de expansão da agricultura na Bahia, enquanto que em Goiás a criação de gado continua sendo uma atividade principal, sobretudo na região nordeste do Estado. Com menor intensidade agrícola e um

maior índice de pobreza (características que também não garantem a preservação do Cerrado), nesta região foram encontrados alguns assentamentos rurais e/ou pequenos povoados.

Quanto aos reflorestamentos, estes tendem para as duas regiões visitadas, ainda que novos desmatamentos sejam proeminentes em Goiás (Figura 7). Aliás, para estas novas áreas convertidas, a queimada tem sido um instrumento recorrente.

4. Conclusões

Com base nas análises apresentadas, foi possível avaliar o potencial do SIAD para o monitoramento contínuo e sistemático de desmatamentos no bioma Cerrado. Os dados indicam uma taxa de acerto para as detecções (neste ambiente de savana) na ordem de 79%. Esta taxa pode ser considerada excelente, sobretudo para um sistema que utiliza imagens de resolução espacial moderada (MODIS, 250 metros), cobrindo a cada detecção (ou período) uma área aproximada de 2 milhões de km².

Além da validação do próprio sistema, os resultados trazem um melhor entendimento acerca dos processos de ocupação nas regiões avaliadas. Este entendimento pode ser estendido para outras regiões do Cerrado, sobretudo naquelas em que as variáveis motivadoras para a conversão antrópica são semelhantes (ex. aspectos físicos da paisagem, desenvolvimento sócio-econômico e nível de governança).

Por fim, espera-se que este estudo (o primeiro de uma série) contribua para o aperfeiçoamento do SIAD Cerrado, sobretudo quanto à metodologia empregada na fase de inspeção visual dos alertas de desmatamentos. Esta etapa, atualmente realizada para todo o bioma com base em imagens de maior resolução espacial (ex. CBERS-CCD, 20 metros), poderá ser feita por meio de amostragens. Isto dotará ao sistema uma maior agilidade e precisão nos dados divulgados.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da parceria entre a UFG/LAPIG, Conservação Internacional (CI) e The Nature Conservancy (TNC), a qual tem por objetivo a análise dos padrões espaciais e temporais dos desmatamentos no bioma Cerrado. Agradecemos a Universidade Federal de Goiás, pelo apoio logístico e operacional. Os autores são bolsistas CNPq, nas categorias Doutorado (Ciências Ambientais), Graduação (Geografia) e Mestrado (Geografia), respectivamente.

Referências Bibliográficas

Ferreira, N. C.; Ferreira Jr., L. G.; Huete, A. R.; Ferreira, M. E. An operational deforestation mapping system using MODIS data and spatial context analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, p. 47-62, 2007.

Martins, L. K. P.; Zanon, P. C. F. Uso de geotecnologias na proteção da biodiversidade. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007.

Artigos, p. 4029-4036. CD-ROM, On-line. Disponível em:

<<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.14.35.44/doc/4029-4036.pdf>>. Acesso em: 07 nov. 2008.

Sano, E. E.; Rosa, R.; Brito J. L.; Ferreira, L. G. Mapeamento semidetalhado (escala de 1:250.000) da cobertura vegetal antrópica do bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 153-156, 2008.