

Mapeamento automático da expansão da agricultura anual no MATOPIBA entre 2002 e 2015 utilizando a plataforma Google Earth Engine

Júlio Bandeira Guerra ¹
Bruno Schultz ¹
Ieda Del'Arco Sanches ²

¹ Geoambiente Sensoriamento Remoto Ltda.
Avenida Shishima Hifumi, 2911, Urbanova, 12244-000 - São José dos Campos - SP
{julio.guerra, bruno.schultz}@geoambiente.com.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
ieda.sanches@inpe.br

Abstract. Over the past four decades, the Cerrado (Brazilian Savanna) has suffered a land use cover change process that transformed sparsely populated areas in major agricultural production centers. The region known as MATOPIBA, which is formed by the Brazilian state of Tocantins and some parts of the states of Maranhão, Piauí and Bahia, has 91% of its area in the biome Cerrado. It current represents the latest agricultural frontier in Brazil, an area of agriculture expansion and intensification, mainly focused in grains production. The agricultural activity has expanded quickly in MATOPIBA, but 72% of this native vegetation is still preserved. Because of the economic and environmental importance of this region, it is essential to monitor its agricultural areas. In this context, the main goal of this paper was to map the expansion of annual crops in MATOPIBA region, between July 2002 and June 2015 (thirteen crop years). A methodology based on NDVI/MODIS time series analysis and decision tree classifier was applied in order to map crop areas using the Google Earth Engine. The results shown the dynamics of crop areas in MATOPIBA and highlighted the rapid process of expansion between 2002 and 2015, reaching an expansion rate of 130% in this period. Using Google Earth Engine cloud computing platform it took about two hours to perform automatic crop mapping of thirteen crop years by the complete processing (gap filling, filtering/smoothing, feature extraction and classification) of 1196 NDVI/MODIS-250m images (tiles) covering the Cerrado portion of MATOPIBA region, which extends over 665.000 km².

Palavras-chave: Cloud computing, NDVI, time series, Brazilian Savanna, computação em nuvem, NDVI, séries temporais, Cerrado.

1. Introdução

Nas últimas quatro décadas o bioma Cerrado foi submetido a um processo intenso de mudança de uso e cobertura do solo que transformou áreas pouco habitadas em importantes centros de produção agropecuária (Spera et al., 2016). A porção nordeste do Cerrado, onde ocorre forte crescimento da agricultura desde o início dos anos 2000, configura-se como a mais representativa dentre as atuais fronteiras de expansão e intensificação agrícola do Brasil. Esta região, denominada MATOPIBA, compreende o estado do Tocantins (TO) e porções dos estados do Maranhão (MA), Piauí (PI) e Bahia (BA), estando 91% inserida no bioma Cerrado.

Fatores como topografia plana e solos profundos (Borghi et al., 2014), bem como o desenvolvimento de cultivares adaptados às condições edafoclimáticas do Cerrado, a proximidade de infraestrutura para escoamento da produção (Esquerdo et al., 2015) e o aumento dos preços e da demanda internacional por grãos fizeram com que o MATOPIBA se tornasse um dos principais polos de expansão do agronegócio brasileiro. Segundo a pesquisa da Produção Agrícola Municipal do IBGE (2015), na região do MATOPIBA a área plantada com lavoura temporária cresceu 142% entre 2000 e 2014. Nos últimos anos o MATOPIBA passou a figurar entre as principais regiões produtoras de grãos do Brasil, sendo responsável por 15% da produção de milho e 10% da produção de soja (Esquerdo et al. 2015).

Apesar do recente e rápido avanço da atividade agropecuária, o MATOPIBA ainda possui áreas expressivas preservadas no bioma Cerrado. Em 2013, a cobertura vegetal nativa

correspondia a 72% da área do MATOPIBA inserida no Cerrado (MMA, 2015). Frente ao atual processo de intensa expansão da agricultura no MATOPIBA, à grande relevância ambiental e econômica desta região e aos impactos dos desmatamentos no regime de chuvas (Spera et al. 2016) e na emissão de carbono, torna-se fundamental o mapeamento e acompanhamento da evolução das áreas agrícolas ao longo do tempo como parte integrante de sistemas de monitoramento de mudanças de uso e cobertura do solo. Esta informação, quando produzida de forma contínua e sistemática e combinada a outras fontes de dados, contribui para compor uma base de conhecimento capaz de fundamentar políticas públicas que contemplem os objetivos e interesses dos segmentos agrícola e ambiental sobre a região do MATOPIBA.

Os índices de vegetação gerados a partir de dados MODIS têm sido amplamente empregados para o mapeamento da agricultura em extensas áreas (Gusso et al, 2014), inclusive no MATOPIBA (Esquerdo et al., 2015; Lorensini et al., 2015; Spera et al., 2016). Uma vez que o vigor vegetativo das áreas de agricultura anual possui um comportamento temporal com forte sazonalidade, as composições multitemporais de NDVI e EVI do sensor MODIS obtidas a cada 8-16 dias ao longo dos ciclos de desenvolvimento das culturas podem ser utilizados para identificar áreas agrícolas em nível regional (Atzberger, 2013). Resultados bastante satisfatórios foram alcançados em mapeamentos agrícolas nos quais foram adotadas técnicas distintas de processamento e análise de séries temporais de NDVI e EVI, como árvores de decisão (Morton et al., 2006) Transformada de Fourier (Victoria et al., 2012) e lógica neuro-fuzzy (Antunes et al., 2015).

O mapeamento de extensas áreas (MATOPIBA, por exemplo) a partir da análise de séries temporais compostas por um elevado número de imagens implica no *download*, armazenamento e processamento de um grande volume de dados, o que demanda muito tempo e requer alta capacidade computacional. Atualmente, o Google Earth Engine (Google, 2015) apresenta-se como uma ferramenta capaz de superar os obstáculos mencionados, pois dispõe de uma infraestrutura de processamento em nuvem de alto desempenho e oferece dados geoespaciais e algoritmos que são facilmente acessados via API (*Application Programming Interface*) para realização de análises de *big data* e geração de informação espacial de forma rápida. O Google Earth Engine consiste em uma plataforma *web* de processamento distribuído de dados geoespaciais baseada na infraestrutura de computação em nuvem do Google. Esta plataforma mantém bases globais de séries temporais de imagens de sensoriamento remoto, que são constantemente atualizadas e disponibilizadas prontas para serem e submetidas a processos de análise e extração de informação.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar o mapeamento multitemporal de áreas de agricultura temporária no MATOPIBA a partir da análise de séries temporais de NDVI (*Normalized Vegetation Difference Index*) do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), utilizando o Google Earth Engine, bem como avaliar a expansão da agricultura temporária nesta região para os anos safra 2002/2003 a 2014/2015, totalizando treze anos de mapeamento.

2. Material e Métodos

A região do MATOPIBA possui área de 731.730 km² e é formada por 337 municípios dos estados do Tocantins (TO), Maranhão (MA), sul do Piauí (PI) e oeste da Bahia (BA). Porém, neste estudo considerou-se apenas a porção do MATOPIBA inserida no bioma Cerrado, a qual se estende por 665.440 km², correspondendo a 91% da área original. A Figura 1 ilustra a localização da área de interesse.

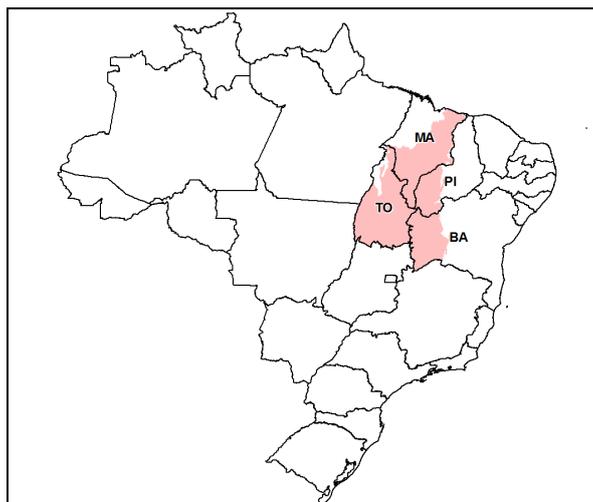


Figura 1 – Localização da região do MATOPIBA (polígono magenta) no mapa do Brasil.

O mapeamento multitemporal de áreas agrícolas foi realizado para os anos safra de 2002/2003 a 2014/2015, resultando em treze máscaras anuais de agricultura temporária. Neste mapeamento foram utilizados dados de NDVI dos produtos MOD13Q1 e MYD13Q1, que consistem em composições de dezesseis dias geradas a partir de imagens diárias adquiridas pelo sensor MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua, respectivamente. A opção pelo NDVI se deu em função deste ser o mais tradicional dentre os índices de vegetação e possuir elevada correlação com a biomassa e o índice de área foliar.

Para cada ano safra, foram utilizadas todas as composições de NDVI produzidas entre os meses de julho (início do ano safra) e junho (final do ano safra), o que resultou em séries temporais compostas por quarenta e seis imagens, sendo vinte e três do produto MOD13Q1 (satélite Terra) e vinte e três do produto MYD13Q1 (satélite Aqua). Devido ao fato das composições dos satélites Terra e Aqua serem produzidas em intervalos intercalados, a série temporal gerada a partir da combinação dos produtos MOD13Q1 e MYD13Q1 possui resolução temporal de oito dias, o que favorece a identificação de áreas de culturas anuais (Esquerdo et al. 2013).

Para geração dos mapas anuais de culturas temporárias, adotou-se um processo de tratamento e análise das séries temporais de NDVI baseado em três etapas principais, quais sejam: filtragem, geração de atributos anuais e classificação automática supervisionada. A fim de automatizar o processo de mapeamento multitemporal, conferindo maior agilidade ao processamento de um grande volume de dados, os procedimentos que compõem as três etapas foram implementados em uma rotina computacional utilizando a API do Google Earth Engine em linguagem JavaScript. Desta forma, todos os processamentos foram executados diretamente na nuvem de computadores do Google Earth Engine.

Na primeira etapa, as séries temporais de NDVI de cada ano safra foram submetidas a um processo de filtragem para minimizar os ruídos e suavizar as curvas espectro-temporais. A filtragem foi realizada a partir da aplicação do algoritmo RMMEH (Jin e Xu, 2013). Esta técnica foi selecionada em virtude de sua fácil implementação e dos bons resultados apresentados por Michishita et al. (2014) na suavização de perfis espectro-temporais de culturas anuais e de outros tipos de cobertura do solo cujos valores de NDVI possuem grande variação durante o ano.

Em seguida, passou-se à etapa de geração de atributos anuais a partir da série temporal filtrada de NDVI de cada ano safra. Estes atributos anuais foram obtidos com o objetivo de realçar os alvos de interesse, descrevendo o seu comportamento espectro-temporal, a fim de se obter um melhor desempenho na discriminação das áreas agrícolas por meio da classificação automática. Os atributos anuais obtidos foram os seguintes:

- Atributos definidos com base em Arvor et al. (2011):
 - NDVI médio da série temporal de um ano safra;
 - NDVI mínimo da série temporal de um ano safra;
 - NDVI máximo da série temporal de um ano safra;
 - Desvio padrão do NDVI da série temporal de um ano safra;
 - Segundo e terceiro quartis da série temporal de NDVI de um ano safra;
 - Amplitude do NDVI da série temporal de um ano safra;
 - Data do mínimo valor de NDVI da série temporal de um ano safra;
 - Data do máximo valor de NDVI da série temporal de um ano safra.
- Atributos definidos com base em Coutinho et al. (2013):
 - NDVI mínimo do primeiro período de valores baixos de NDVI (13/09 a 08/11);
 - NDVI mínimo do segundo período de valores baixos de NDVI (18/02 a 23/04);
 - NDVI máximo do período de valores altos de NDVI (02/12 a 10/02);
 - Diferença entre NDVI máximo do período de valores altos de NDVI e o NDVI mínimo do primeiro período de valores baixos de NDVI;
 - Diferença entre o NDVI máximo do período de valores altos de NDVI e o NDVI mínimo do segundo período de valores baixos de NDVI.

Além dos atributos anuais, na classificação também foram utilizadas as quarenta e seis composições de dezesseis dias da série temporal filtrada de NDVI, resultando em um espaço de atributos composto por sessenta imagens.

O mapeamento das áreas de cultura anual foi realizado por classificação automática supervisionada com uso do algoritmo de árvore de decisão *Random Forest* (Breiman, 2001), o qual foi configurado para gerar cem árvores. Inicialmente, foi executada a classificação para produzir o mapa do ano safra 2012/2013. Um conjunto de três mil amostras (*pixels*) aleatórias de treinamento foi utilizado nesta classificação, sendo mil amostras da classe “agricultura anual” e duas mil amostras da classe “outros” (cerrado, pastagem, água, silvicultura, etc.). Estas amostras foram extraídas do mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2013 elaborado no projeto TerraClass Cerrado (MMA, 2015).

A exatidão do mapa de áreas agrícolas do ano safra 2012/2013 foi avaliada utilizando-se como referência o mapa do TerraClass Cerrado (MMA, 2015), a partir da construção de uma matriz de confusão e do cálculo do índice Kappa. Para tanto, foi utilizado um conjunto de quinhentas amostras aleatórias independentes igualmente divididas entre as classes “agricultura anual” e “outros”.

Por fim, as regras de decisão obtidas a partir do treinamento do algoritmo *Random Forest* com as amostras do ano safra 2012/2013 foram aplicadas para classificar os mesmos conjuntos de atributos (quatorze atributos anuais e quarenta e seis composições de 16 dias da série temporal filtrada de NDVI) dos outros anos safra. Deste modo, foram gerados os mapas de áreas de agricultura anual dos anos safra de 2002/2003 a 2014/2015. Com base nestes mapas foi possível avaliar a dinâmica da agricultura em diferentes áreas do MATOPIBA, bem como calcular os percentuais de crescimento da agricultura anual entre os anos safra.

4. Resultados e Discussão

A partir da análise visual dos perfis espectro-temporais de NDVI de áreas de culturas anuais pode-se constatar que o filtro RMMEH eliminou os artefatos das séries temporais, suavizando as curvas sem comprometer a informação. A Figura 2 apresenta curvas temporais de NDVI antes e depois da filtragem. Nesta figura observa-se que o filtro RMMEH teve bom desempenho em áreas de *double-cropping*.

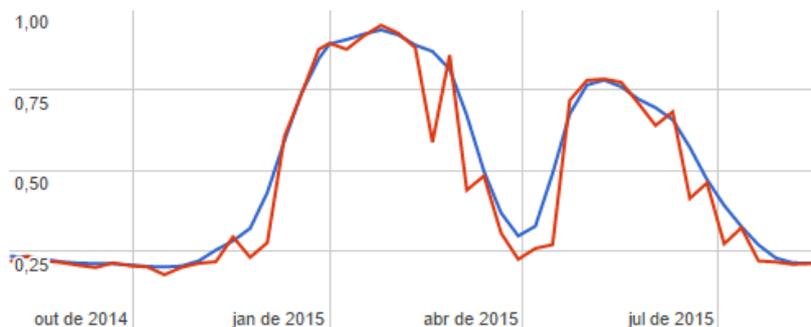


Figura 2. Exemplos de perfil espectro-temporal (NDVI) de culturas anuais cultivadas em sistema de *double cropping*, antes (linha vermelha) e depois (linha azul) da aplicação do filtro RMMEH.

A aplicação do classificador *Random Forest* à série temporal do ano safra 2012/2013 obteve um bom resultado, alcançando um índice Kappa de 0,94. Do total de quinhentas amostras de validação, apenas uma foi erroneamente atribuída à classe “cultura anual” e doze foram incorretamente classificadas como “outros”. O erro de inclusão da classe “cultura anual” ocorreu devido à confusão com agricultura perene e os erros de omissão desta classe correspondem principalmente aos *pixels* de borda de áreas agrícolas relativamente pequenas no Tocantins e no norte do Maranhão. A Figura 3 mostra o mapa de culturas anuais do ano safra 2012/2013.

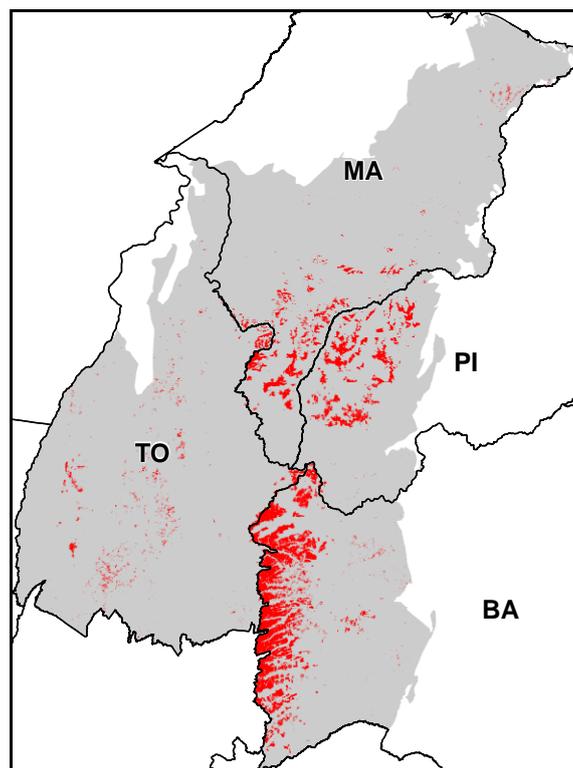


Figura 3. Mapa de áreas de culturas anuais (em vermelho) do ano safra 2012/2013.

A Tabela 1 apresenta as áreas de culturas anuais dos anos safra 2002/2003 a 2014/2015 calculadas a partir dos mapas gerados por classificação automática das séries temporais de NDVI. Ao longo dos anos safra analisados, a área de cultura anual cresceu aproximadamente 130%, corroborando a grande expansão apontada pelo IBGE (2015), que informou um aumento de 142% na área de agricultura anual entre 2000 e 2014. Segundo os resultados dos mapeamentos com os dados NDVI/MODIS, nos primeiros sete anos analisados, a área de

agricultura anual cresceu 71%, enquanto nos últimos seis anos a expansão desacelerou, ficando abaixo da metade (34%) do crescimento percentual do primeiro período.

Ao calcular as diferenças percentuais entre anos safra consecutivos, verificou-se que em 2003/2004 (24%), 2007/2008 (40%) e em 2010/2011 (22%) ocorreram os maiores saltos no processo de expansão das culturas anuais. As diferenças negativas apresentadas na Tabela 1 denotam retração da área plantada com lavouras temporárias entre anos safra consecutivos. Entretanto, apesar dos valores negativos observados, os resultados obtidos apontam que no MATOPIBA há uma forte tendência de crescimento das áreas de culturas anuais.

Tabela 1. Áreas de culturas anuais dos anos safra 2002/2003 a 201/2015.

Ano safra	Área de cultura anual (km ²)	Crescimento percentual em relação ao ano safra anterior (%)
2002/2003	15.765,77	-
2003/2004	19.654,79	24.67
2004/2005	21.712,03	10.47
2005/2006	19.816,59	-8.73
2006/2007	19.405,52	-2.07
2007/2008	27.180,13	40.06
2008/2009	26.967,94	-0.78
2009/2010	25.361,65	-5.96
2010/2011	31.125,94	22.73
2011/2012	31.964,82	2.70
2012/2013	35.427,32	10.83
2013/2014	33.893,05	-4.33
2014/2015	36.210,29	6.84

Albino et. al (2013) realizaram o mapeamento de áreas de agricultura no MATOPIBA com dados MOD13Q1 para os anos 2001 a 2007 e relataram crescimentos negativos entre 2004 e 2007. Os autores sugeriram que as retrações interanuais observadas podem estar relacionadas a eventuais erros de classificação provocados pela confusão com alvos que, assim como as áreas de culturas anuais, possuem um comportamento sazonal bastante acentuado. Estes erros podem acontecer principalmente nas áreas de contato com a Caatinga, pois a vegetação deste bioma é muito dinâmica, intercalando, ao longo do ano, períodos de vigor vegetativo muito baixo e muito alto em resposta às estações de estiagem e de chuva, respectivamente. Da mesma forma, as diferenças percentuais positivas muito elevadas também podem ser decorrentes de erros de classificação. A resolução destas dúvidas, confirmando ou não as suspeitas levantadas, requer uma investigação detalhada dos mapas de todos os anos safra por meio de inspeção visual, de análise quantitativa da sua exatidão e da comparação com dados de outros mapeamentos e levantamentos multitemporais das áreas agrícolas do MATOPIBA.

A Figura 4 ilustra exemplos da dinâmica da agricultura temporária nas regiões sul do Piauí e do Maranhão e no oeste da Bahia. Para representação espacial da dinâmica, adotou-se o procedimento apresentado em Esquerdo et al. (2015), que se baseia na sobreposição dos mapas de áreas agrícolas, conforme a seguinte ordem (de baixo para cima): 2002/2003 (vermelho), 2005/2006 (amarelo), 2008/2009 (azul), 2011/2012 (magenta) e 2014/2015 (verde). Desta forma, observa-se que no sul do Piauí a expansão da agricultura é mais recente, enquanto no oeste da Bahia há predomínio de grandes áreas agrícolas mais antigas, cuja expansão ocorreu de oeste para leste.

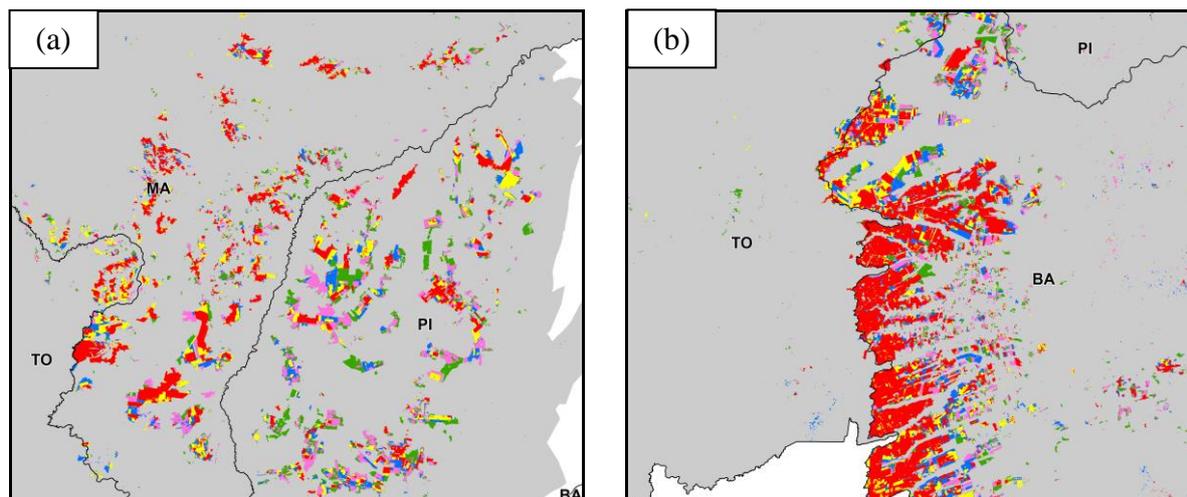


Figura 4. Dinâmica da expansão das áreas de culturas anuais na região entre o Piauí e o Maranhão (a) e no oeste da Bahia (b). Vermelho: culturas anuais no ano safra 2002/2003; amarelo: culturas anuais no ano safra 2005/2006; azul: culturas anuais no ano safra 2008/2009; magenta: culturas anuais no ano safra 2011/2012; verde: culturas anuais no ano safra 2014/2015.

4. Considerações Finais

Os resultados apresentados evidenciaram a dinâmica das áreas de cultura anual no MATOPIBA e ressaltaram o rápido processo de avanço das lavouras temporárias entre 2002 e 2015, bem como a forte tendência de crescimento da agricultura nessa região. O mapa de áreas de culturas anuais do ano safra 2012/2013 apresentou boa aderência ao mapa de uso e cobertura da terra do projeto TerraClass Cerrado ($Kappa = 0,94$). A abordagem de classificação automática baseada na análise de séries temporais de NDVI/MODIS na plataforma Google Earth Engine mostrou ser eficiente, pois permitiu discriminar as áreas de agricultura anual no MATOPIBA em treze anos safra a partir do processamento de um total de 1196 imagens (*tiles*) MODIS em aproximadamente duas horas.

5. Referências Bibliográficas

- Albino, T. C.; Victoria, D. C.; Silva, G. B. S; Batistella, M. Identificação de áreas agrícolas na fronteira Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0821.pdf>>. Acesso em: 03 ago. 2016.
- Antunes, J. F. G.; Lamparelli, R. A. C.; Rodrigues, L. H. A. Mapeamento do cultivo da cana-de-açúcar por meio da classificação de séries temporais de dados MODIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 17, 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0640.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2016.
- Arvor, D; Milton, J.; Simões, M.; Meirelles, P.; Dubreuil, V.; Durieux, L. Classification of MODIS EVI time series for crop mapping in the state of Mato Grosso, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, p. 7847-7871, 2011.
- Atzberger, C. Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs. **Remote Sensing**, v. 5, n. 2, p. 949-981, 2013.
- Borghetti, E.; Bortolon, L.; Avanzi, J. C.; Bortolon, E. S. O.; Ummus, M. E.; Gontijo Neto, M. M.; Costa, R. V. da. Desafios das novas fronteiras agrícolas de produção de milho e sorgo no Brasil: desafios da região do MATOPIBA. In: Karam, D.; Magalhães, P. C. (Org.). **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014. cap. 25, p. 263-278.

- Breiman, L. Random forests. **Machine learning**, v. 45, n. 1, p. 5-32, 2001.
- Coutinho, A.C.; Esquerdo, J.C.D.M.; Oliveira, L.S.; Lanza, D.A. Methodology for systematical mapping of annual crops in Mato Grosso do Sul State/Brazil. **Geografia**, v. 38, p. 45-54, 2013.
- Esquerdo, J.C.D.M.; Coutinho, A.C.; Antunes, J.F.G. Uso combinado de dados NDVI/MODIS dos satélites Terra e Aqua no monitoramento multi-temporal de áreas agrícolas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 431-437. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0759.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2016.
- Esquerdo, J. C. D .M.; Coutinho, A. C; Sanches, L. B; Ribeiro, B. M. O; Zakharov, N.; Terra, T. N.; Manabe V. D. Dinâmica da agricultura anual na região do Matopiba. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 17, 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2015/11.21.17.27>>. Acesso em: 07 ago. 2016.
- Google. **Google Earth Engine: A planetary-scale geospatial analysis platform**. 2015. Disponível em: <<https://earthengine.google.com>>. Acesso em: 28 ago. 2016.
- Gusso, A.; Arvor, D.; Ducati, J. R.; Veronez, M. B.; Silveira Junior, L. G. Assessing the MODIS Crop Detection Algorithm for Soybean Crop Area Mapping and Expansion in the Mato Grosso State, Brazil. **The Scientific World Journal**, v. 2014, p. 1-9, 2014.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2015. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp?o=30&i=P>>. Acesso em: 24.ago.2016.
- Jin, Z., Xu, B. A novel compound smoother – RMMEH to reconstruct MODIS NDVI time series. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 10, n. 4, p. 942–946, 2013.
- Lorensini, C. L.; Victoria, D. C.; Vicente, L. E.; Maçorano, R. P. Mapeamento e identificação da época de desmatamento das áreas de expansão da agricultura no MATOPIBA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 17, 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0697.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2016.
- Michishita, R.; Jin, Z.; Chen, J.; Xu, B. Empirical comparison of noise reduction techniques for NDVI time-series based on a new measure. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 91, p. 17-28, 2014.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Mapeamento do Uso e Cobertura da Terra do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013**. Brasília : Ministerio do Meio Ambiente, 2015. 69 p. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/tccerrado/Metodologia_TCCerrado_2013.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2016.
- Morton, D. C.; DeFries, R. S.; Shimabukuro, Y. E.; Anderson, L. O.; Arai, E.; Espirito-Santo, F. B.; Freitas, R.; Morisette, J. Cropland expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 39, p. 14637-14641, 2006.
- Spera, S. A., Galford, G. L., Coe, M. T., Macedo, M. N. and Mustard, J. F. Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. **Global Change Biology**, v. 22, p. 3405–3413, 2016.
- Victoria, D. de C.; Paz, A. R. da; Coutinho, A. C.; Kastens, J.; Brown, J. C. Cropland area estimates using Modis-NDVI times series in the state of Mato Grosso, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1270–1278, 2012.