

## Perfis temporais EVI/MODIS e sua relação com a produtividade de cultivares de soja no Estado de Mato Grosso

Michel Eustáquio Dantas Chaves <sup>1</sup>  
Marcelo de Carvalho Alves <sup>1</sup>  
Julia Dal Poggetto Rodrigues <sup>1</sup>  
Filipe Silveira Trindade <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Lavras - UFLA  
Caixa Postal 3037 - 37200-000 - Lavras - MG, Brasil

{medchaves, juliapoggetto, filipe.strindade}@posgrad.ufla.br; marcelo.alves@deg.ufla.br

**Abstract.** Information derived from remote sensing can be extremely useful for crop monitoring during the phenological cycle, and is relevant for strategic planning of large-scale agriculture. Among the outstanding sensors used with this purpose, the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), which is aboard the TERRA and AQUA satellites, is the most used because of its spatial and temporal characteristics that are consistent with both crop size and dynamics. The MODIS sensor provides daily data on vegetation in the form of indexes, which includes, for example, the Enhanced Vegetation Index (EVI) that is sensitive to variations of biomass vigor elapsed during the phenological cycle. In this context, the main purpose of this work was to evaluate the relationship between the EVI vegetation index and the soybean yield using the experimental field as representative of high and low soybean yields obtained in partnership with Bom Futuro SA Group. A total of three agglomerates of farms were evaluated in the State of Mato Grosso, in which the two most cultivated soybean cultivars of the 2010/2011 harvests (TMG 123 RR e TMG 132 RR) were planted. To interpret the results, we used field information regarding the phenological cycle. The results demonstrated the close relationship between EVI and soybean yield, indicating the potential of this index to monitor cultivation in Mato Grosso and to assist in the elaboration of crop forecasting models.

**Palavras-chave:** remote sensing, time-series, vegetation index, agriculture, sensoriamento remoto, séries temporais, índice de vegetação, agricultura.

### 1. Introdução

No Brasil, as informações sobre área colhida e produtividade, em quase sua totalidade, são obtidas por meio de opiniões de agentes ligados ao setor agropecuário, sejam eles, agricultores, financiadores, comerciantes, dentre outros. Apesar de não permitir análise quantitativa dos erros e das incertezas envolvidas, esta metodologia é utilizada por ser de baixo custo e de fácil aplicação (Adami et al., 2010).

Em razão da subjetividade deste método, ressalta-se a importância da combinação entre dados coletados *in situ* e dados orbitais, capazes de aprimorar o entendimento acerca das sazonalidades e tendências dos ciclos fenológicos, por meio do fornecimento de dados, em muitos casos, gratuitos, que podem ser diretamente relacionados ao estado da vegetação.

No caso específico da agricultura, a introdução de técnicas de sensoriamento remoto reduz o tempo de processamento da informação sobre a situação das culturas agrícolas no campo e constitui-se em uma fonte menos onerosa de obtenção de informações. A possibilidade de identificação e de quantificação das áreas agrícolas, de forma objetiva e rápida, é apresentada por Souza et al. (2015) como um aspecto relevante no contexto agrícola brasileiro, dada a extensão territorial das áreas cultivadas.

Arelada a isso, a publicação da resolução 4.427, de 25 de junho de 2015 pelo Banco Central do Brasil, que exige, a partir de 2016, que os bancos que concedem crédito rural utilizem sensoriamento remoto para fiscalizar operações de crédito rural, mostra a tendência em se utilizar cada vez mais métodos objetivos de estimativas agrícolas no Brasil. Neste sentido, trabalhos que comprovem o potencial de produtos derivados de sensores orbitais para avaliar a agricultura, são úteis.

Especificamente no Estado de Mato Grosso, na região Centro-Oeste do Brasil, o avanço da sojicultura intensificou a busca por informações confiáveis sobre a extensão e distribuição espacial da soja. Dada a grande extensão da atividade agrícola nessa região e sua importância econômica, o desenvolvimento e a implementação de ferramentas de monitoramento e mapeamento sistemático das lavouras é imprescindível.

Em meio aos sensores orbitais utilizados para identificar e monitorar áreas agrícolas, destaca-se o *Moderate Resolution Spectroradiometer* (MODIS), por apresentar resoluções espaciais e temporais adequadas para avaliações sobre a dinâmica dos cultivos. Entre os seus produtos, destacam-se o MOD13 e o MYD13, por disponibilizarem conjuntamente, a cada 8 dias, imagens referentes ao *Enhanced Vegetation Index* (EVI), índice de vegetação desenvolvido para aprimorar a sensibilidade da detecção de cobertura vegetal em condições de alta densidade de biomassa e para reduzir a influência do solo e da atmosfera nas vegetações (Huete et al., 2002).

Estudos recentes têm utilizado o EVI para analisar a dinâmica da vegetação (Souza et al., 2015; Bolton e Friedl, 2013; Johann et al., 2012; Risso et al., 2009), pois, conforme destaca Kuplich et al. (2013), suas informações servem como indicadores do crescimento e também do vigor vegetativo das culturas. Especificamente para Mato Grosso, imagens MODIS foram utilizadas para identificar e monitorar a sojicultura na última década (Zhu et al., 2016; Arvor et al., 2011; Arvor et al., 2008; Dubreuil et al., 2008).

No cenário atual, automatizar sistemas que possibilitem a avaliação de lavouras com menos custos e maior precisão torna-se imprescindível, e diversos são os modelos de previsão de safra que atuam neste sentido. Porém, poucos deles utilizam dados do índice de vegetação EVI como informação relacionada à produtividade.

Inserido neste contexto e considerando que os dados do índice EVI podem ser utilizados como informação confiável para a elaboração de modelos estatísticos de previsão de safras, este trabalho visou avaliar a sua relação com a produtividade de cultivares de soja em Mato Grosso por meio da análise de perfis temporais de talhões de alta e baixa produtividade.

## 2. Metodologia de trabalho

### 2.1 Área de estudo

A área de estudo consistiu em três aglomerados de fazendas administrados pelo Grupo Bom Futuro S. A., parceiro neste trabalho e responsável pela administração de mais de 520 mil hectares de terras entre culturas de 1ª e 2ª safras, nas quais são produzidas cerca de 1.400.000 toneladas de grãos, com destaque para a produção de soja, que garantiu o reconhecimento ao grupo como maior produtor individual de soja do mundo. Os aglomerados foram:

- **Santa Luzia**, em Sapezal
- **Colorado**, em Diamantino
- **Vale do Rio Verde**, entre Tapurah e Ipiranga do Norte

Estes aglomerados foram escolhidos por encontrarem-se em condições edafoclimáticas similares, com o intuito de uniformizar a análise quanto às condições externas aos tratamentos culturais. Os três localizam-se na porção centro-oeste do Estado, que é conhecida como a região do *Agrobusiness* (Dubreuil et al., 2008), possuindo a maior parte de sua área destinada à sojicultura (Arvor et al., 2011), o que favorece a diminuição da confusão espectral oriunda de *pixels* mistos, proporcionando maior uniformidade de comportamento e maior captação de áreas de soja, por consequência. Também foi levada em consideração a uniformidade das datas dos ciclos fenológicos. Por estarem situados próximos, os plantios ocorreram em datas bem próximas, na safra 2010/2011, fator importante para equalizar a escala de análise e interpretação.

Na Figura 1, apresenta-se o mapa das áreas de soja em Mato Grosso, bem como a localização geográfica das fazendas do Grupo Bom Futuro utilizadas como campo experimental neste trabalho.

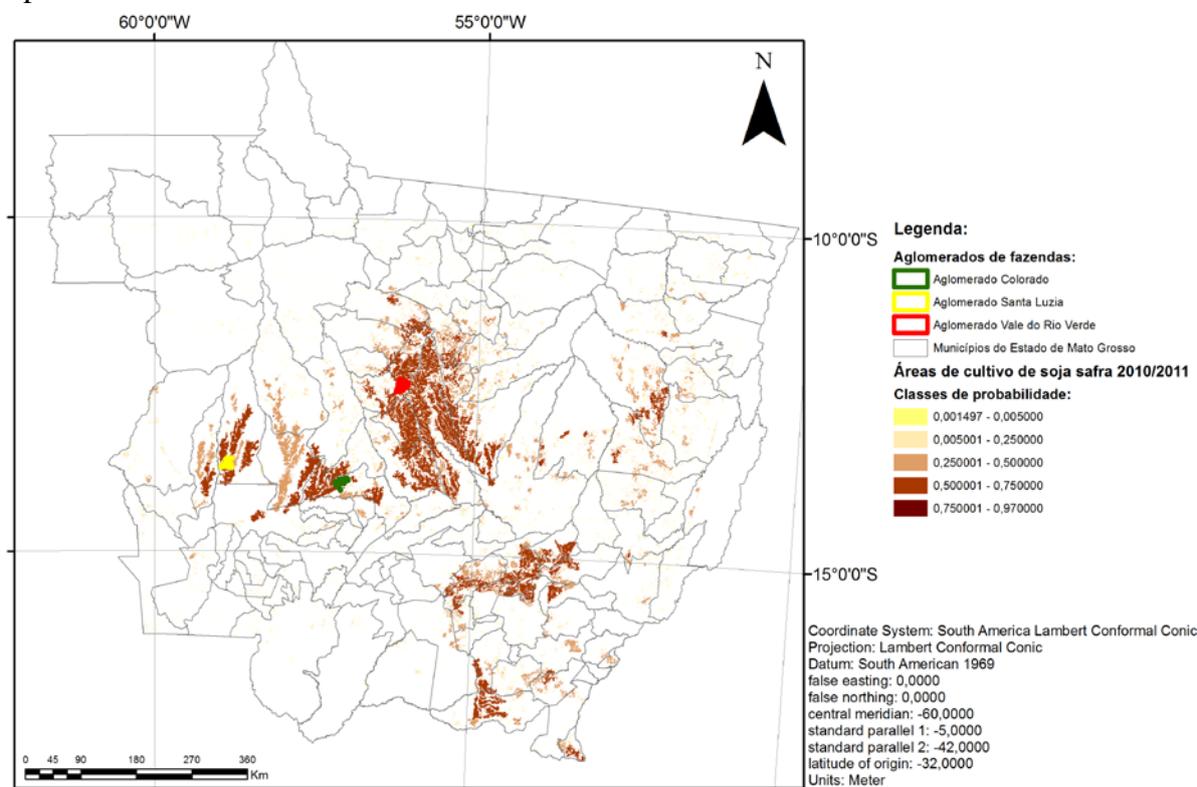


Figura 1. Localização geográfica dos aglomerados de fazendas utilizados como referência e distribuição espacial das classes de probabilidade de soja para a safra 2010/2011, em Mato Grosso.

As cultivares avaliadas foram TMG 123 RR e TMG 132 RR, por serem as mais cultivadas nestes aglomerados. Segundo informações do Grupo Bom Futuro S. A., ambas foram desenvolvidas pela Tropical Melhoramento & Genética (TMG), em parceria com a Fundação MT, sendo consideradas superpreoces, tolerantes à chuva na colheita e resistentes ao nematóide de cisto da soja.

## 2.2 Dados orbitais

A agricultura é dinâmica, e a obtenção de dados orbitais deve ser adequada para compreender os ciclos fenológicos. De acordo com Mabilana et al. (2012), tratando-se de cultivos anuais com ciclo de até quatro meses, é necessário que se obtenham imagens com relativa frequência, de modo que se faça o monitoramento do vigor das plantas em todos os estágios fenológicos da soja. Simões et al. (2009) ressaltam que o vigor vegetativo das lavouras é diretamente proporcional ao valor de índice de vegetação. Diante disso, informações de índices de vegetação do sensor MODIS, que fornecem, com frequência temporal, dados diretamente relacionados à vegetação, possuem importância no cenário de análise.

Os índices de vegetação fornecem comparações consistentes, dos pontos de vista espacial e espectro-temporal, das condições da vegetação, as quais podem ser utilizadas para monitorar a atividade agrícola. De acordo com Zhu et al. (2016), os perfis espectro-temporais oriundos do *Enhanced Vegetation Index* (EVI) são as principais fontes de informação para o mapeamento de áreas agrícolas com base na análise dos padrões sazonais e das variações fenológicas das culturas.

Risso et al. (2009) e Johann et al. (2012) apontaram melhor performance do EVI em relação ao *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), outro índice disponibilizado pelo MODIS, para a discriminação de áreas de soja durante períodos de máximo desenvolvimento. Huete et al. (2002) e Galford et al. (2007) o consideram menos influenciado por efeitos do solo e da atmosfera e mais sensível em áreas com alto vigor vegetativo, apresentando menor saturação.

No caso específico da sojicultura em Mato Grosso, Zhu et al. (2016) consideram que o EVI possui potencial para efetuar o seu monitoramento, visto que a mínima cobertura vegetal das culturas de soja no período de semeadura (de setembro até outubro) é representada pelos valores mínimos de EVI entre o plantio e a colheita. Já, no período de crescimento (novembro, dezembro e janeiro) os picos de biomassa são detectados e representados pelos maiores valores de EVI. No período de colheita (de janeiro a março), é detectada uma queda nos valores da série, porém, não atingindo o nível dos valores mínimos por causa da cobertura vegetal rasa referente aos restos pós-colheita.

Para a caracterização da evolução fenológica das cultivares de soja TMG 123 RR e TMG 132 RR, avaliadas nas fazendas pertencentes ao Grupo Bom Futuro S. A., foram utilizados dados de EVI extraídos dos produtos compostos MOD13Q1 e MYD13Q1, derivados do sensor *Moderate Resolution Spectroradiometer* (MODIS), coleção 5, a bordo dos satélites TERRA e AQUA. Por meio da combinação destes produtos, é possível obter informações com uma resolução temporal de 8 dias, contendo os valores máximos durante o intervalo de tempo. Os produtos estão disponibilizados no endereço eletrônico da NASA.

Dos produtos MOD13Q1 e MYD13Q1, foi utilizado o *tile* h12v10, no qual se encontra o Estado de Mato Grosso. Foram extraídos dados e informações referentes ao vigor vegetativo das lavouras, as quais foram utilizadas para a caracterização e monitoramento da evolução fenológica agrícola.

O período avaliado englobou imagens entre o Dia Juliano 288 do ano de 2012 (15/10/2012) ao Dia Juliano 73 do ano de 2013 (14/03/2013), totalizando 20 imagens para contemplar todo o ciclo de desenvolvimento da cultura da soja (da pré-semeadura à colheita) nos aglomerados avaliados.

Estas imagens foram convertidas do formato *Hierarchical Data Format* (HDF) para GEOTIFF e da projeção *Integerized Sinusoidal* para *Lambert Conformal Conic*. As imagens foram padronizadas para um intervalo de  $-1,0$  a  $+1,0$ , correspondente à amplitude de valores do índice.

### 2.3 Dados de campo

Dados de campo constituem-se em ferramentas imprescindíveis aos estudos de sensoriamento remoto na agricultura, por fornecerem informações reais da lavoura que podem corroborar a utilização dos dados orbitais. No caso deste trabalho, os dados de campo fazem referência detalhada aos tratos culturais utilizados pelo Grupo Bom Futuro S. A., apresentando, em nível de talhão, informações como o tipo de cultivar plantada, as datas de plantio, germinação e colheita, a textura do solo de cada talhão, a área plantada e o total de sacas colhidas em cada talhão ao final da safra.

### 2.3 Amostragem de talhões representativos

No processo de extração dos valores dos *pixels*, tomou-se o cuidado de não utilizar as bordas dos talhões. Pautado em Duveiller e Defourny (2010), este procedimento foi adotado para minimizar os efeitos de mistura da resposta espectral dos talhões de soja com os alvos do entorno.

Respeitado este procedimento, o delineamento amostral baseou-se na definição de talhões de soja das duas cultivares avaliadas, representando alta e baixa produtividade. Em um primeiro momento, foi efetuado o cálculo da razão entre o número de sacas colhido e o

tamanho do talhão. Após o cálculo, foram selecionados, para cada um dos três aglomerados, 10 talhões considerados altamente produtivos e 10 talhões que obtiveram baixa produção na safra 2010/2011, para as duas cultivares de soja avaliadas, perfazendo o total de 30 talhões para cada categoria de produtividade (alta e baixa).

As imagens obtidas foram importadas e alocadas em série para a posterior extração dos valores. Todo o procedimento de extração foi realizado no *software* livre ILWIS 3.7.2. Os valores extraídos para cada talhao foram tabulados e preparados para a próxima etapa, que consistiu na filtragem dos valores anômalos.

## 2.4 Filtragem de ruídos

Segundo Arvor et al. (2008), mesmo que os dados derivados do sensor MODIS já sejam processados, os perfis temporais de índices de vegetação obtidos para Mato Grosso ainda apresentam ruídos, devido à nebulosidade (extremamente alta em uma região tropical, como o sul da Bacia Amazônica), bem como a problemas no sensor e eventuais erros de correções atmosféricas ou ação do efeito de refletância bidirecional, *Bidirectional Reflectance Distribution Function* (BRDF). Assim, os referidos autores recomendam a utilização de algoritmos para suavizar os perfis multitemporais de índices de vegetação, a fim de melhorar ainda mais a identificação de usos e coberturas terrestres.

As séries temporais foram pré-filtradas com o uso das bandas de controle de qualidade (*Quality assurance e Pixel reliability*). Este procedimento eliminou ruídos proporcionados por nuvens. Contudo, conforme observado por Ramme et al. (2010), a utilização da banda de controle de qualidade na filtragem dos dados demonstrou não ser o suficiente para capturar todos os ruídos presentes em composição de 8 dias. Portanto, para obter um perfil espectro-temporal que represente de maneira suave a evolução de uma safra na cultura da soja, é necessário combinar várias etapas de filtragem, conforme apresentadas.

Entre as técnicas já avaliadas na literatura para esta última etapa de filtragem de séries temporais, destaca-se o filtro Savitzky-Golay (Savitzky e Golay, 1964; Chen et al., 2004) como o mais eficiente, conforme constatado por Arvor et al. (2008), Adami (2010), por minimizar ou eliminar ruídos sem modificar o padrão do perfil espectro-temporal do índice de vegetação. Neste trabalho, os perfis espectro-temporais de EVI foram ajustados por este filtro.

Todos os procedimentos de eliminação e ruídos e filtragem foram executados por meio dos *softwares* Arc GIS 10.3 e MATLAB 7.8.0.

## 3. Resultados e Discussão

A partir dos dados filtrados das 20 composições de imagens de EVI obtidas a cada 8 dias, foi gerado um perfil espectro-temporal médio para cada categoria (alta e baixa produtividade) de cada cultivar, contendo a evolução temporal média da resposta da soja obtida dos talhões avaliados. Os resultados preliminares não mostraram diferença relevante entre os perfis temporais das duas cultivares. No entanto, entre categorias, apresentam diferenças consideráveis, em termos de comportamento.

Durante a análise, foram considerados fatores como data de plantio, início da curva de crescimento do vigor vegetativo, data de germinação da soja, média, mediana e amplitude e data de colheita e fim da curva. Estas métricas foram relacionadas às fases fenológicas da soja. Na Figura 2, apresentam-se os resultados da análise dos perfis temporais obtidos para as categorias de produtividade das cultivares avaliadas.

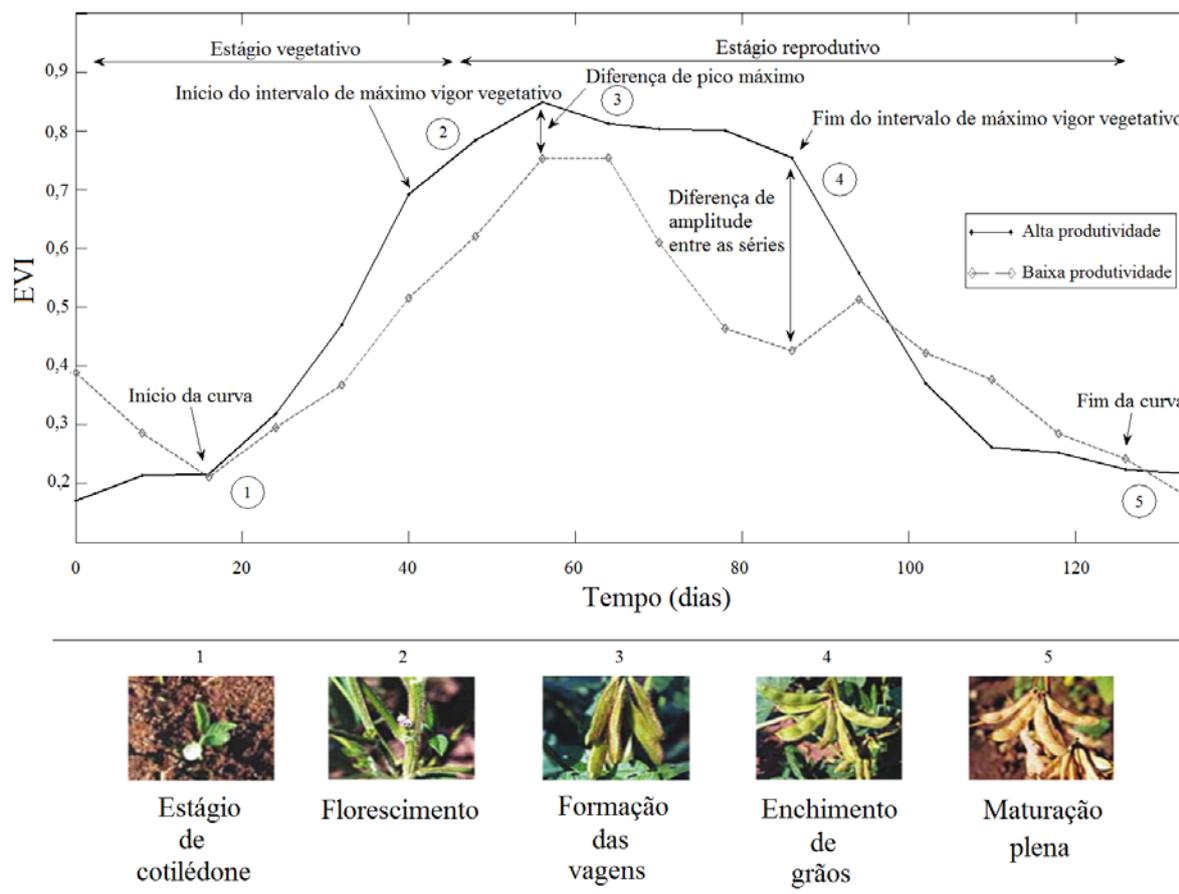


Figura 2. Esquema representativo da evolução dos perfis temporais de alta e baixa produtividade das cultivares de soja TMG 123 RR e TMG 132 RR, em Mato Grosso, evidenciando as etapas do ciclo fenológico. Figuras referentes às fases fenológicas da soja durante o ciclo de desenvolvimento: adaptadas de Esquerdo et al. (2011).

Os resultados evidenciam relação direta entre o comportamento espectro-temporal dos talhões de soja obtidos pelo EVI e a produtividade ao final da safra, demonstrando que, nos talhões cujo perfil espectro-temporal apresentou dinâmica plena de ciclo fenológico, com maiores valores de pico vegetativo e amplitude, a produtividade foi maior.

Além de evidenciar diferenças relacionadas à produtividade, o EVI corrobora as datas observadas *in situ*. Tais informações podem ser úteis para a melhoria das estimativas de produtividade, especialmente as informações do período de máximo vigor vegetativo, que possui estreita relação com a produtividade.

Avaliações realizadas por Tucker et al. (1979) e Sakamoto et al. (2010) apontaram que o conhecimento das datas de máximo desenvolvimento vegetativo, referentes aos estágios R1 (florescimento) a R3 (formação de vagens) da cultura da soja (Adami, 2010), é importante em modelos de estimativa de produtividade, pois possibilitam verificar a ocorrência de problemas climáticos em fases críticas da cultura. Pautando-se nos dados de campo, observou-se que o EVI possibilitou conhecer as datas de semeadura, máximo desenvolvimento vegetativo e colheita, tornando possível avaliar e interpretar o comportamento transcorrido em períodos importantes do desenvolvimento fenológico das cultivares de soja avaliadas, o que evidencia pode corroborar o uso destas informações para o gerenciamento agrícola.

Para a categoria de alta produtividade, o vigor vegetativo detectado demonstrou que os talhões não apresentaram problemas relacionados a quaisquer estresses. As boas condições fizeram com que houvesse evolução do perfil e consolidação de um intervalo de máximo vigor após o início do estágio reprodutivo acima dos talhões de baixa produtividade.

Assim como encontrado por Rizzi e Rudorff (2007), houve rápido incremento dos valores a partir do mês de novembro, o que demonstra a sensibilidade do EVI às chuvas na região e ao acréscimo de fitomassa proveniente da fase inicial do ciclo da cultura. Risso et al. (2012) afirmam que é esperado que, durante o intervalo de máximo vigor vegetativo, uma lavoura de soja em bom estado de desenvolvimento e sem problemas fitossanitários graves supere o valor de 0,800, no EVI. No período entre 18/12/2012 e 09/01/2013, os maiores valores da série mantiveram-se acima de 0,800 (0,850, 0,812, 0,803 e 0,801). Já, para a categoria de baixa produtividade, este patamar não foi mantido, e o comportamento da série temporal jamais apresentou intervalo de vigor vegetativo acima do proposto pelos referidos autores.

#### 4. Conclusões

Foi possível verificar que o índice de vegetação EVI apresentou relação direta com a produtividade das cultivares de soja TMG 123 RR e TMG 132 RR, em Mato Grosso, identificando, por meio de perfis temporais, diferenças consideráveis no comportamento de talhões de alta e baixa produtividade. Os resultados alcançados demonstram que a utilização dos produtos do sensor MODIS para a obtenção de dados referentes à vegetação, a cada 8 dias, possui potencial para avaliar a produtividade de soja nas lavouras.

Por fim, sugere-se a realização de novos trabalhos que avaliem outras cultivares e culturas, em outras condições, com o intuito de corroborar a utilização do EVI como parâmetro a ser considerado na formulação de modelos de previsão de safra em larga escala.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo fomento da pesquisa e o Grupo Bom Futuro S. A. pela concessão dos dados.

#### 5. Referências Bibliográficas

- Adami, M. **Estimativa da data de plantio da soja por meio de séries temporais de imagens MODIS**. 2010. 163p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.
- Arvor, D.; Jonathan, M.; Meirelles, M.S.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, n. 22, p. 7847–7871, 2011.
- Arvor, D.; Jonathan, M.; Meirelles, M. S. P.; Dubreuil, V.; Lecerf, R. Comparison of multitemporal MODIS-EVI smoothing algorithms and its contribution to crop monitoring. In: IEEE International Geoscience & Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2008, Boston. **Proceedings...** Piscataway: IEEE, 2008. Papers, v. 2, p. 958-961. DVD-ROM, Online. ISBN: 978-1-4244-2808-3 Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/224383259\\_Comparison\\_of\\_Multitemporal\\_MODIS-EVI\\_Smoothing\\_Algorithms\\_and\\_its\\_Contribution\\_to\\_Crop\\_Monitoring](https://www.researchgate.net/publication/224383259_Comparison_of_Multitemporal_MODIS-EVI_Smoothing_Algorithms_and_its_Contribution_to_Crop_Monitoring)>. Acesso em: 12 mai. 2016.
- Bolton, D. K.; Friedl, M. A. Forecasting crop yield using remotely sensed vegetation indices and crop phenology metrics. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 173, n. 8, p. 74–84, 2013.
- Chen, J.; Jönsson, P.; Tamura, M.; Gua, Z.; Matsushita, B.; Eklundh, L. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky–Golay filter. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, p. 332–344, 2004.
- Dubreuil, V., Laques, A., Nédélec, V., Gurgel, H. Paysages et fronts pionniers amazoniens sous le regard des satellites: L'exemple du Mato Grosso. **Espace Géographique**, v. 37, n. 1, p. 57–74, 2008.
- Duveiller, G.; Defourny, P. A conceptual framework to define the spatial resolution requirements for agricultural monitoring using remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.114, n.11, p.2637-2650, 2010.

Esquerdo, J. C. D. M.; Zullo Júnior, J.; Antunes, J. F. G. Use of NDVI/AVHRR time-series profiles for soybean crop monitoring in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 13, p. 3711–3727, 2011.

Foody, G. M. Thematic map comparison: evaluating the statistical significance of differences in classification accuracy. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 70, n. 5, p. 627–633, 2004.

Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E. P.; Gao, X.; Ferreira, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. (1-2), p. 195-213, 2002.

Johann, J. A.; Becker, W. R.; Uribe-Opazo, M. A.; Mercante, E.. Uso de imagens do sensor orbital MODIS na estimação de datas do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja para o estado do Paraná - Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 1, p. 126–142, 2016.

Kuplich, T. M.; Moreira, A.; Fontana, D. C. Série temporal de índices de vegetação sobre diferentes tipologias vegetais no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.10, p.1116-1123, 2013.

Mabilana, H. A.; Fontana, D. C.; Fonseca, E. L.. Desenvolvimento de modelo agrometeorológico espectral para estimativa. **Revista Ceres**, v. 59, n. 3, p. 337–349, 2009.

Ramme, F. L. P.; Lamparelli, R. A. C.; Rocha, J. V. Perfis temporais NDVI MODIS na cana-soca de maturação tardia. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 3, p. 480–494, 2010.

Risso, J.; Rizzi, R.; Rudorff, B. F. T.; Adami, M.; Shimabukuro, Y. E.; Formaggio, A. R.; Epiphanyo, R. D. V. Índices de vegetação Modis aplicados na discriminação de áreas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1317-1326, 2012.

Risso, J.; Rizzi, R.; Epiphanyo, R. D. V.; Rudorff, A. R.; Shimabukuro, Y. E.; Fernandes, S. L. Potencialidade dos índices de vegetação EVI e NDVI dos produtos MODIS na separabilidade espectral de áreas de soja. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14. 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 3175-3182. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-0004-7. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.00.07/doc/379-386.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2015.

Rizzi, R.; Rudorff, B. F. T. Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo agrônômico para estimar a produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 1, p. 73-80, 2007.

Sakamoto, T.; Wardlow, B. D.; Gitelson, A. A.; Verma, S. B.; Suyker, A. E.; Arkebauer, T. J. A two-step filtering approach for detecting maize and soybean phenology with time-series MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v.114, n. 10, p.2146-2159, 2010.

Savitzky, A.; Golay, M.J.E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. **Analytical Chemistry**, v. 36, n. 8, p. 1627–1639, 1964.

Simões, M. dos S.; Rocha, J. V.; Lamparelli, R. A. C. Orbital spectral variables, growth analysis and sugarcane yield. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.66, n.4, p.451-461, 2009.

Souza, C. H. W.; Mercante, E.; Johann, J. A.; Lamparelli, R. A. C.; Uribe-Opazo, M. A. Mapping and discrimination of soya bean and corn crops using spectro-temporal profiles of vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v.36, n.7, p.1809-1824, 2015.

Tucker, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v.8, n.2, p.127-150, Feb. 1979.

Zhu, C., Lu, D., Victoria, D., Dutra, L. V. Mapping fractional cropland distribution in Mato Grosso, Brazil using time series MODIS enhanced vegetation index and Landsat Thematic Mapper data. **Remote Sensing**, v. 8, n. 1, 2016.