



EXTRAÇÃO DE MÉTRICAS FENOLÓGICAS A PARTIR DE SÉRIES TEMPORAIS DE NDVI VISANDO O MAPEAMENTO DA INTENSIFICAÇÃO SUSTENTÁVEL DA AGRICULTURA BRASILEIRA

Patrick C. Kuchler^{1,3}, Margareth Simões^{1,2}, Agnès Bégué³, Pedro L. O. A. Machado⁴, Rodrigo Ferraz², Beata E. Madari⁵, Pedro L. Freitas², Celso V. Manzatto⁶

¹ UERJ/FEN/DESC/PPGMA, Rio de Janeiro, Brasil

² Embrapa Solos, Rio de Janeiro, Brasil

³ Cirad, UMR Tetis, Montpellier, France

⁴ Embrapa Secretaria de Relações Internacionais, Brasília, Brasil

⁵ Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antonio de Goiás, Brasil

⁶ Embrapa Meio Ambiente, Jaguariaúna, Brasil

RESUMO

No ano de 2009, o Governo do Brasil apresentou o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC), cujo objetivo é a organização de ações para a adoção de tecnologias de produção de alimentos alinhadas aos compromissos de redução de emissões de GEE. Entre diversas práticas destaca-se a da integração lavoura-pecuária (iLP) para a produção de grãos e carne ou leite. No entanto, a falta de procedimentos de monitoramento para avaliar a abrangência da adoção limita a governança do Plano. Este artigo tem como objetivo analisar o comportamento espectral dos sistemas integrados de produção iLP em comparação com uma floresta de Cerrado nativa e uma pastagem degradada. O estudo foi conduzido em uma fazenda experimental da Embrapa, em GO, Brasil. Utilizamos 83 imagens NDVI dos sensores Landsat-8 OLI e Landsat-7 ETM para uma série temporal 2009-2016. Para 12 tipos de uso da terra, foram criadas métricas fenológicas. Os resultados mostraram que tais métricas representaram o comportamento do crescimento vegetativo podendo ser usadas como indicadores espaciais para a classificação de áreas de sistemas iLP.

Palavras chave: NDVI, Agricultura de baixo carbono, séries temporais, métricas, fenologia, Cerrado

ABSTRACT

In 2009, the Brazilian Government presented the Low-Carbon Agriculture Plan (The ABC Plan). It aims at to promote adoption of good management practices by farmers nationwide. The selected practices included integrated crop-livestock systems (ICLS) for cereal grains and beef or dairy production. However, the lack of monitoring procedures to evaluate the implementation may limit governance of the Plan ABC. In order to monitor the adoption of a land use throughout the seasons and track the changes in soil management, a collection of data constructing a time series is needed. This paper aims at analyzing the spectral behavior of ICLS compared to a neighboring native Cerrado forest and a continuous degraded pasture. The study was conducted in an experimental farm of Embrapa, in Goiás, Brazil. We used 83 cloud-free NDVI images of Landsat-8 OLI and Landsat-7 ETM sensors for a 2009-2016 time series. For 12 land use types i.e. native forest, degraded pasture and ten different ICLS phenological metrics were created. The results showed that sensor spectral response followed the vegetation growth enabling its use for areas of mixed farming.

Keywords: NDVI, low carbon agriculture, time-series, metrics, phenology, Cerrado

1- INTRODUÇÃO

Em 2009, durante a 15ª Conferência das Partes da Convenção Quadro da ONU para a Mudança do Clima, o Brasil apresentou, voluntariamente, uma proposta de redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE) entre 36,1% e 38,9% até 2020. A

recuperação de pastagens degradadas e a adoção da integração lavoura, pecuária e floresta (iLPF) eram destaques no Plano Setorial de Mitigação e Adaptação à mudança do clima para a baixa emissão de carbono na agricultura, o Plano ABC. Diversos produtores rurais e pecuaristas vêm adotando sistematicamente as

recomendações que contam com com linhas de credito específicas. As metas do Plano ABC incluem a reabilitação de 15 milhões de hectares (ha) de pastagens degradadas, 4 milhões de ha de ILPF, além de 3 milhões de hectares de plantio de árvores comerciais.

As características sinópticas, multiespectrais e de revisita dos satélites criam uma coleção de dados necessários para mapear atividades agrícolas e compreender a dinâmica de cada cultura, principalmente em países em grandes dimensões territoriais como o Brasil. Para monitorar o crescimento das culturas ao longo das estações e identificar mudanças nas práticas agrícolas, faz-se necessária uma coleção de dados capaz de construir uma série temporal de Índice de Vegetação (IV), por este motivo satélites com alta resolução temporal são instrumentos necessários. Dados do MODIS, oferecem a vantagem de uma revisita diária, possibilitando a realização de interpolações temporais e a geração de produtos com poucas nuvens. Por outro lado, a limitação dos dados MODIS está relacionada a baixa resolução espacial de 250m (Hentze, Thonfeld & Menz, 2016). Alguns estudos demonstraram que áreas menores que 10 ha possuem uma porcentagem elevada de pixels mistos, o que torna o monitoramento da expansão dos sistemas de produção preconizados pelo Plano ABC um desafio, já que parte dos agricultores na região centro-oeste inicia a adoção de novas práticas em glebas menores que 10 ha. Desta forma, o mapeamento de pequenas áreas exige imagens com resoluções temporais e espaciais elevadas.

No ano passado, como parte do programa de monitoramento de riscos e meio ambiente, a Agência Espacial Européia (ESA, sigla em inglês) lançou satélites com sensores ópticos de alta resolução espacial. O Sentinel-2 é um sistema de dois satélites, que de acordo com a ESA, é a continuidade tecnológica e de proposta da série SPOT e Landsat, que assegurará a alta capacidade de aplicações para monitoramento do uso do solo. Os principais pontos fortes do Sentinel-2 são as 13 bandas espectrais, alta resolução espacial e uma revisita de 2 a 5 dias, bem como a disponibilidade gratuita de seus produtos. Alguns estudos utilizaram Sentinel-2 (Novelli, Aguilar et al., 2016), estudos para mapear corpos d'água (Du et al., 2016), para detectar áreas de acumulação (Pesaresi et al., 2016), discriminação por gravidade da queimadas (Fernández-Manso et al., 2016), detecção de estufas para plantio (Novelli, Aguilar et al., 2016) e para a classificação da vegetação (Immitzer et al., 2016). O Sentinel-2 possibilita o desenvolvimento de novas pesquisas para aplicações em agricultura, entretanto atualmente seu uso ainda é limitado devido ao pequeno arquivo de imagens disponível. Sentinel-2A foi lançado em junho de 2015 e o Sentinel-2B foi lançado em março de 2017.

O programa Landsat contém mais de 40 anos de arquivo, permitindo a construção de uma série

temporal de alta resolução espacial (Woodcock et al., 2008). As desvantagens do Landsat para a construção de uma série temporal relacionam-se com sua baixa frequência de revisão de 16 dias, lacunas de dados, assim como presença de ruído devido a nuvens e sombra de nuvens em determinados períodos no ano.

1- ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na Fazenda Capivara da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, Brasil (Figura 1). O clima é caracterizado por uma estação seca de abril a outubro e uma estação chuvosa de novembro a março. A precipitação média anual é de 1505 mm. Para este estudo, dez parcelas foram selecionadas com áreas variando de 5,3 ha a 13,1 ha entre abril de 2009 e outubro de 2016. A rotação das culturas consistiu de pastagem de *Brachiaria (Urochloa bryantha)*, pousio na estação seca seguido de soja, arroz ou milho + pastagem de braquiária na estação chuvosa. As culturas de grãos e a pastagem de braquiária + milho foram implantadas usando-se semeadora de plantio direto.



Fig. 1 – Localização da área de estudo.

3- MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas 83 imagens NDVI dos sensores Landsat-8 OLI e Landsat-7 ETM+ para uma série temporal de 2009-2016. Entre 2009-2012 utilizou-se ETM+ e entre 2013-2016 utilizou-se imagens OLI. O foco foi usar imagens de estações chuvosas e secas para a identificação do ciclo das culturas. Para 12 tipos de uso da terra, ou seja, floresta nativa, pastagem degradada e dez diferentes sistemas de produção e pecuária integrada, um valor médio do NDVI foi calculado em cada polígono-parcela. As imagens ETM+ apresentam um problema no corrector de linha de varredura (SLC), que se encontra com falha

permanentemente desde 31 de maio de 2003, onde sem um SLC operacional, as imagens têm alcance de um único pixel em largura perto do ponto de nadir, até cerca de 12 pixels para as bordas da cena (Chen, Zhao et al. 2012). O uso de imagens TM a bordo do Landsat-5 foi considerada uma opção, embora esse satélite tenha um problema com sua unidade de matriz solar que afetou a disponibilidade de dados, o que resultou da falha de seu componente eletrônico vital de acordo com USGS (<https://archive.usgs.gov/archive/sites/www.usgs.gov/newsroom/article.asp-ID=3109.html>), e por isto foi suspenso a partir de novembro de 2011.

Foi criada uma coleção de registros do ETM+ e OLI de dados climáticos *Landsat Surface Reflectance* (Landsat CDR) que combinam dados corrigidos atmosféricamente de múltiplos sensores, como Landsat 4-5 Thematic Mapper (TM), Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) e Landsat-8 Operational Land Imager (OLI), representando um nível 2 de processamento (Masek et al., 2006; Vermote et al., 2015). O uso combinado com diferentes sensores de Landsat foi testado por Roy et al., 2008 e mostraram que esse produto ainda apresenta pequenas diferenças não relacionadas a diferenças nas especificações do sensor e procedimentos de correção atmosférica. Excluindo a banda azul, no entanto, as diferenças (ou seja, Landsat-8 OLI e Landsat-7 ETM+) são pequenas dentro da precisão dos procedimentos de correção atmosférica (Roy et al., 2008). A série temporal NDVI do Landsat foi construída com um intervalo regular de 16 dias, possibilitando 184 observações potenciais, apresentando alguns valores ausentes dentro deste intervalo. Foi criada uma máscara para as faixas do SLC do ETM+ e todos os pixels dentro desta área não foram incluídos para a análise, possibilitando resultados confiáveis. A interferência atmosférica, como as nuvens, limitou-se a extrair valores para todos os 16 dias de intervalo, possibilitando apenas um 45% de observação com valor. No entanto, todas as estações foram representadas com um mínimo de 5 observações e casos raros de um mês inteiro sem observações.

Para imagens ETM+, um número considerado de observações foi descartado, quando as linhas de varredura e a nuvem representam mais de 70% do alvo (parcela). Considerou-se que se cobrir com mais de 30% com pixels válidos, esse alvo está correto. Essas premissas foram usadas porque toda a parcela tem uma semelhança significativa, e uma média de cada parcela foi usada.

3.1- SUAVIZAÇÃO E FILTRAGEM

A fenologia vegetal pode ser definida como uma resposta da vegetação aos ciclos climáticos sazonais na irradiância, temperatura e precipitação (Cleland, Chuine et al. 2007). Os estudos de fenologia vegetal tem relação direta com o calendário agrícola e com a

sazonalidade da planta, como a brotação, floração, frutificação, senescência e queda de folhas (Hmimina, Dufrene et al. 2013). Na série temporal de NDVI, o valor do pixel pode ser tratado como um sinal, compondo um gráfico onde o eixo X identifica um valor de Índice de vegetação e o eixo Y o tempo. Esse gráfico com um sinal pode ser processado baseado em técnicas de econometria (Bendini, Fonseca et al. 2017). A decomposição do tratamento de séries temporais pode extrair componentes de tendência e sazonalidade para a cobertura do solo e classificação do uso do solo (Arvor et al., 2011; Arvor ET al 2012, Arvor et al, 2013; Zheng et al., 2015), e análise de detecção de mudanças (Verbesselt et al., 2010). Para os estudos de fenologia e o entendimento sazonal de cada cultura e forma de manejo via sensoriamento remoto, torna-se necessária uma remoção de ruído, causada pela presença de nuvens, assim como o preenchimento de lacunas sem dados na série temporal, gerando um ciclo teórico da vegetação. O número de ferramentas metodológicas para o tratamento de dados de séries temporais está crescendo e um exemplo de estudos está relacionado à fenologia da superfície terrestre (Vuolo, Ng et al. 2017), entre eles, o Savitzky-Golay (SG) smoother (Chen et al., 2004), Asymmetric Gaussian (AG) functions (Jönsson and Eklundh, 2004) e Double-logistic (DL) (Zhang et al., 2003; Jönsson and Eklundh, 2004).

O SG usa a função polinomial local como método, e os métodos AG / DL utilizam os mínimos quadrados comuns, onde os dados são adequados para modelar as funções para diferentes complexidades. Uma função polinomial quadrática é usada na função SG, e é apropriada para todos os pontos e após o valor do ponto central ser substituído pelo valor ajustado. Para a filtragem e suavização da serie temporal, foi utilizado o metodo SG através do software TIMESAT 3.2, indicado como melhor metodo (Chen et al., 2004).

3.2- MÉTRICAS FENOLÓGICAS

As métricas fenológicas extraídas da serie temporal de NDVI pelo TIMESAT, são valores relativos a informação de sazonalidade da vegetação. Estes parâmetros sazonais foram extraídos das séries temporais NDVI pré-processadas pela suavização preenchimento de lacunas realizadas pelo algoritmo SG. Os dados sazonais, expressos por quatro métricas foram extraídos para cada uma das estações de crescimento, buscando-se de determinar o desempenho inicial de três classes diferentes: área cultivada, pastagem degradada e pastagem manejada, onde a área cultivada e pastagem manejada são culturas dentro das parcelas. Esses três grupos são propostos para identificar grandes diferenças entre cada um depois de tentar determinar as diferenças entre a cultura e a integração das culturas. O TIMESAT opera unicamente com temporadas inteiras, ou seja, durante um período de n anos, pode haver n - 1 temporadas

completas juntamente com duas frações de uma temporada no início e no final da série temporal. No nosso caso, para as séries temporais de 8 anos, temos 07 temporadas inteiras, foram extraídas 04 métricas. (1) Valor de Base, (2) Comprimento da estação, (3) Valor de pico, (4) Amplitude.

4- RESULTADOS

Inicialmente, observamos que a métrica amplitude e a métrica valor de base têm o valor médio muito próximo para as classes, conseguindo distinguir de forma clara a área sob floresta das demais áreas. O valor de pico e em especial o comprimento da estação, apresentam significativas diferenças nos valores intraclasse. Para analisar as métricas, testamos todas as estações em cada parcela que têm o mesmo grupo (pastagem degradada, pastagem manejada e colheita) e criamos um gráfico de dispersão que representa cada valor médio. Na figura 02 é apresentada a representação de dispersão das 4 principais métricas consideradas.

Para identificar cada métrica mais representativa para cada tipo de uso construiu-se um gráfico de radar usando o valor médio representando a importância para cada grupo (figura 03).



Fig. 2– Diagrama de caixas das métricas fenológicas.

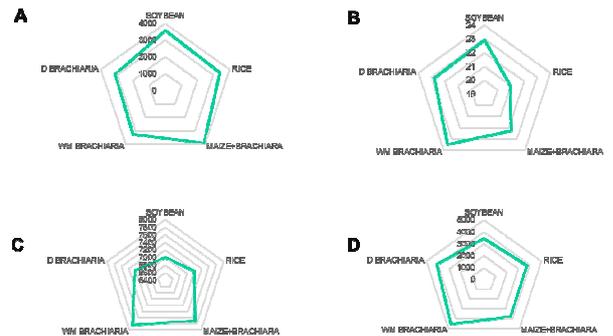


Fig. 3 – : Grafico das 04 principais métricas: A- Valor de base NDVI; B-cumprimento da estação (dias); C- Valor de pico NDVI; D- Amplitude NDVI.

5- CONCLUSÃO

Os procedimentos de suavização e de preenchimento de lacunas, são etapas essenciais para o pré-processamento das séries temporais, especialmente em áreas com forte presença de nuvens. Métricas como valor de pico e amplitude demonstraram grande potencial para a discriminação de diferentes usos do solo. A variação anual de DVI apresentou máximos valores registrados no verão e os mínimos no inverno, estando associada à sazonalidade da vegetação. A resposta do NDVI no inverno é resultado do efeito associado da variação do índice de área foliar. Os resultados deste estudo tem limitações devido à frequência limitada da aquisição da imagem do satélite. A revisão teórica de 16 dias não é alcançada por causa das condições da nuvem.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de reconhecer o apoio financeiro do Programa Capes / Cofecub para o Projeto GeoABC (Nº 845/15).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arvor D., Dubreuil V., Meirelles M.S.P., Bégué A., 2013. Mapping and spatial analysis of the soybean agricultural frontier in Mato Grosso, Brazil, using remote sensing data. *GeoJournal*, Vol. 78 Nº 5, pp. 833-850.

Arvor D, Meirelles M. S. P., Dubreuil V., Shimabukuro Y. E., Bégué A., 2012. Analysing the agricultural transition in Mato Grosso, Brazil, using satellite-derived indices. *Applied Geography*, Vol. 32, Nº 2, pp. 702-713.

Arvor D, Jonathan, M.; Meirelles, M. S. O. P.; Dubreuil, V.; Durieux, L. , 2011. Classification of MODIS EVI timeseries for crop mapping in the state of Mato Grosso, Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 32, Nº 22, pp. 7847 – 7871.

Bendini, H., et al., 2017. Evaluation of smoothing methods on Landsat-8 EVI time series for crop

- classification based on phenological parameters, em Anais do XVIII Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Santos-SP, Brasil, pp. 4267 – 4274.
- Brasil 2011, Sectoral plan for climate mitigation and adaptation, Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply. Brasilia-DF, Brasil.
- Chen, F., et al., 2012. Making Use of the Landsat 7 SLC-off ETM+ Image Through Different Recovering Approaches em Data Acquisition Applications. (ed) Z. Karakehayov. Rijeka, InTech: pp. 13-26.
- Chen, J.; Jönsson, P.; Tamura, M.; Gu, Z.; Matsushita, B.; Eklundh, L. , 2004. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky–Golay filter. Remote Sensing of Environment, Vol. 91, Nº 3, pp. 332 – 344.
- Cleland, E. E., et al., 2007. Shifting plant phenology in response to global change. Trends in Ecology & Evolution Vol. 22 Nº 7, pp. 357-365.
- Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W., Li, X., 2016. Water bodies mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band. Remote Sensing. Vol. 8, pp. 354-362.
- Fernández-Manso, A., Fernández-Manso, O., Quintano, C., 2016. SENTINEL-2A red-edge spectral indices suitability for discriminating burn severity. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. Vol. 50, pp. 170–175.
- Gao, F.; Masek, J.; Schwaller, M. & et al., 2006. On the blending of the Landsat and MODIS surface reflectance: Predicting daily Landsat surface reflectance. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol.44, pp.2207–2218.
- Hentze K, Thonfeld F, Menz G., 2016. Evaluating Crop Area Mapping from MODIS Time Series as an Assessment Tool for Zimbabwe’s “Fast Track Land Reform Programme”. PLoS ONE, Vol. 11, Nº 6 pp.234-246.
- Hmimina, G., et al., 2013. Evaluation of the potential of MODIS satellite data to predict vegetation phenology in different biomes: An investigation using ground-based NDVI measurements. Remote Sensing of Environment, Vol.132 pp. 145-158.
- Immitzer, M., Vuolo, F., Atzberger, C., 2016. First experience with Sentinel-2 data for crop and tree species classifications in Central Europe. Remote Sensing. Vol. 8, pp. 166-281.
- Johnson, JMF, Franzluebbers, AJ, Weyers, SL & Reicosky, DC, 2007. Agricultural Opportunities to Mitigate Greenhouse Gas Emissions. Environmental Pollution, Vol. 150, Nº 1, pp. 107-124.
- Jönsson, P.; Eklundh, L., 2004 TIMESAT – a program for analyzing time-series of satellite sensor data. Computers and Geosciences, Vol. 30, Nº 8, pp. 833 – 845.
- Novelli, A., et al., 2016. Performance evaluation of object based greenhouse detection from Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI data: A case study from Almería (Spain). International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation Vol. 52, pp. 403-411.
- Pesaresi, M., Corbane, C., Julea, A., Florczyk, A.J., Syrris, V., Soille, P., 2016. Assessment of the added-value of Sentinel-2 for detecting built-up areas. Remote Sensing Vol. 8, pp. 299-316.
- Roy, D. P.; Ju, J.; Lewis, P. & et al., 2008. Multi-temporal MODIS-Landsat data fusion for relative radiometric normalization, gap filling, and prediction of Landsat data. Remote Sensing of Environment, Vol. 112, pp.3112–3130.
- Tong, X, Brandt, M, Hiernaux, P, Herrmann, SM, Tian, F, Prishchepov, AV, & Fensholt, R, 2017. Revisiting the coupling between NDVI trends and cropland changes in the Sahel drylands: A case study in western Niger. Remote Sensing of Environment, Vol. 191, pp. 286-296.
- Verbesselt, J.; Hyndman, R.; Zeileis, A.; Culvenor, D., 2010. Phenological change detection while accounting for abrupt and gradual trends in satellite image time series. Remote Sensing of Environment, Vol. 114, pp. 2970–2980.
- Vuolo, F., et al., 2017. Smoothing and gap-filling of high resolution multi-spectral time series: Example of Landsat data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation Vol. 57, pp. 202-213.
- Woodcock, C. E., Allen, R., Anderson, M., Belward, A., Bindschadler, R., Cohen, W., Helmer, E., 2008. Free access to Landsat imagery. Science, Vol. 320, 1011.
- Zhang, X.; Friedl, M. A.; Schaaf, C. B., 2003. Monitoring vegetation phenology using MODIS. Remote Sensing of Environment, Vol. 84, pp. 471 – 475.
- Zheng, B.; Myint, S. W. Thenkabail, P. S.; Aggarwal, R. M., 2015. A support vector machine to identify irrigated crop types using time-series Landsat NDVI data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 34, pp. 103 – 112.