

## **Relação entre o índice EVI e dados de precipitação nas áreas de plantio de cana-de-açúcar na região central do Brasil**

Renata Ribeiro do Valle Gonçalves<sup>1</sup>  
Jurandir Zullo Junior<sup>1</sup>  
Priscila Pereira Coltri<sup>1</sup>  
Ana Maria Heuminski de Avila<sup>1</sup>  
Bruno Ferral do Amaral<sup>2</sup>  
Elaine Parros Machado de Sousa<sup>2</sup>  
Luciana Alvim Santos Romani<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura  
CEPAGRI/UNICAMP  
Cidade Universitária Zeferino Vaz  
13083-970 - Campinas, SP, Brasil  
{renata, jurandir, pcoltri, avila}@cpa.unicamp.br

<sup>2</sup>Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação – ICMC/USP  
Av.Trabalhador São-carlense, 400  
13566-590 - São Carlos, SP, Brasil  
brunoslash@grad.icmc.usp.br  
parros@icmc.usp.br

<sup>3</sup>Embrapa Informática Agropecuária  
Av. André Toselo, 209 - Caixa Postal 6041  
13083-886 - Campinas, SP, Brasil  
luciana@cnptia.embrapa.br

**Resumo:** Índices de vegetação como o EVI e o NDVI são correlacionados com a biomassa o que permite que sejam usados para monitoramento de safras agrícolas. Consequentemente, esses índices têm auxiliado na estimativa do rendimento e na avaliação da expansão da cana-de-açúcar no Brasil. O objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre o índice de vegetação EVI2/MODIS e valores de precipitação (TRMM) no período de 2001 a 2011 para acompanhar a expansão da cana-de-açúcar na região central do Brasil. Foram selecionados 150 pontos com o plantio de cana-de-açúcar na região central do Brasil. Em seguida, foram extraídos os perfis temporais de EVI2/MODIS e precipitação a partir do modelo TRMM. Fez-se, então, a análise estatística e de agrupamento dos dados, utilizando *K-Medoids* e DTW (Dynamic Time Warping). Considerando todas as análises realizadas neste trabalho, encontrou-se uma forte correlação entre os valores de EVI2 e precipitação (TRMM). Os estados de MT e GO apresentaram um melhor ajuste de dados no período analisado. Em MS, o R-sq foi baixo, pois os pontos coletados apresentaram transição de culturas agrícolas, vegetação nativa e pastagem para cana-de-açúcar. De acordo com estes resultados, o método de agrupamento das séries de precipitação e EVI2 pode ser considerado como uma nova ferramenta no monitoramento da cultura de cana-de-açúcar na região central do Brasil.

**Palavras-chaves:** sensoriamento remoto, índice de vegetação, série temporal, agrupamento, TRMM.

**Abstract:** Vegetation indices such as NDVI and EVI are correlated with the biomass, which allows them to be used for monitoring of agricultural crops. Consequently, these indices have aimed at estimating the crop yield and to evaluate the expansion of sugarcane in Brazil. The goal of this work was to evaluate the relationship between vegetation index EVI2/MODIS and TRMM precipitation values in the period 2001 to 2011 in order to monitor the expansion of sugarcane in central Brazil. Above 150 points of sugarcane fields were selected in central Brazil. We extracted profiles of EVI2/MODIS and precipitation from the TRMM model. We performed statistical and cluster analysis on data using *K-Medoids* and DTW (Dynamic Time Warping). Considering all analyzes in this study, we found a strong correlation between values of EVI2 and precipitation (TRMM). The Mato Grosso and Goiás States showed a better fit of data over the period analyzed. In Mato Grosso do Sul, the R-sq was low, because the collected points were transition from agricultural crops, native vegetation and pasture to sugarcane. According to these results, this proposed approach involving *clustering* analyses of precipitation and EVI2 series as a new tool for monitoring the sugarcane crops in central Brazil.

**Key Words:** remote sensing, vegetation index, time serie, cluster, TRMM.

## 1. Introdução

Uma das culturas agrícolas mais importantes no Brasil é a cana-de-açúcar, cujo plantio concentra-se nas regiões Centro-Sul e Nordeste ocupando cerca de 8 milhões de hectares. Esta cultura agrícola destaca-se como uma das principais fontes de recursos renováveis. Um dos seus derivados, o etanol, é usado como fonte de energia renovável em substituição aos combustíveis fósseis. Devido aos cenários previstos nos estudos sobre o aquecimento global e as mudanças climáticas, pesquisas sobre os impactos no ecossistema terrestre e na agricultura vêm sendo desenvolvidas. Como consequência, os pesquisadores têm estudado as questões relacionadas com as emissões de gases de efeito estufa na produção e uso do etanol (Goldemberg et al., 2008).

Diante de resultados que mostram que a cana-de-açúcar pode se beneficiar do aquecimento global tem-se observado um aumento na área plantada nos últimos anos (Assad et. al, 2008). Como a cana-de-açúcar é cultivada em campos grandes e contíguos o uso de imagens de satélite de baixa resolução espacial e alta resolução temporal tem se mostrado como um recurso economicamente viável para o monitoramento da expansão da cultura pelo país. Desta forma, o grande volume de imagens multitemporal do sensor MODIS e do AVHRR/NOAA podem ser usados para melhorar o monitoramento da cultura em todo o seu ciclo vegetativo (Gonçalves et al., 2011).

Séries temporais de EVI/MODIS são fontes de informação para avaliar as diferentes coberturas de uso do solo, além das diferentes respostas espectrais, padrões temporais distintos, como por exemplo, a conversão direta do solo para cana-de-açúcar. O perfil temporal de EVI expressa ciclos de crescimento diferentes para cada tipo de vegetação e também diferenças fenológicas entre os anos-safra, variando em fase e amplitude temporal. No entanto, o uso destas séries temporais é adequado para identificar e classificar corretamente as culturas anuais e pastagens (Rudorff et al., 2009).

Índices de vegetação como o EVI e o NDVI são fortemente correlacionados com o índice de área foliar e a biomassa (Fontana et al., 2005). Associando esses índices aos dados de precipitação têm-se ferramentas para apoiar os especialistas no acompanhamento da cana-de-açúcar em um determinado período de tempo. Os impactos do clima sobre a produção de cana-de-açúcar podem ser avaliados por meio do estudo do comportamento de índices de vegetação e índices agroclimáticos ao longo do tempo em determinada região (Gonçalves et al., 2009).

Dessa forma, o monitoramento das safras da cultura, a fim de estimar o rendimento e

avaliar a expansão da cana-de-açúcar no país, beneficia-se do uso de geotecnologias como o sensoriamento remoto. Neste trabalho foram usados dados provenientes de diferentes sensores remotos orbitais como MODIS e TRMM imageando a região do Pantanal.

## 2. Objetivo

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar a relação entre o índice de vegetação EVI2/MODIS e valores de precipitação do satélite TRMM no período de 2001 a 2011 para acompanhar a expansão da cana-de-açúcar na região central do Brasil. Assim, analisou-se a correlação e o agrupamento entre as séries temporais de EVI2/MODIS e de precipitação (TRMM) em regiões produtoras de cana-de-açúcar.

## 3. Material e Métodos

A área de estudo deste trabalho é a região produtora de cana-de-açúcar no Centro-Oeste do Brasil. Esta área está situada nos estados de Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS) e Goiás (GO), que estão na Bacia do Rio Paraná. A região central do país está localizada entre as coordenadas 62° e 45° de longitude Oeste e 7° e 26° de latitude Sul, como pode ser visto na **Figura 1**.

A **Figura 2** mostra o fluxograma da metodologia, dividido em quatro etapas: (i) seleção de 150 pontos com o plantio de cana-de-açúcar na região central do Brasil. Sendo 50 pontos para cada estado da área de estudo, com a maioria dos pontos amostrados na região do Pantanal (**Figura 1**). (ii) extração de perfis de EVI2/MODIS e precipitação a partir do modelo TRMM. (iii) análise estatística (correlação de Pearson, correlação cruzada e regressão quadrática) e; (iv) análise de agrupamento dos dados, utilizando *K-Medoids* e DTW.

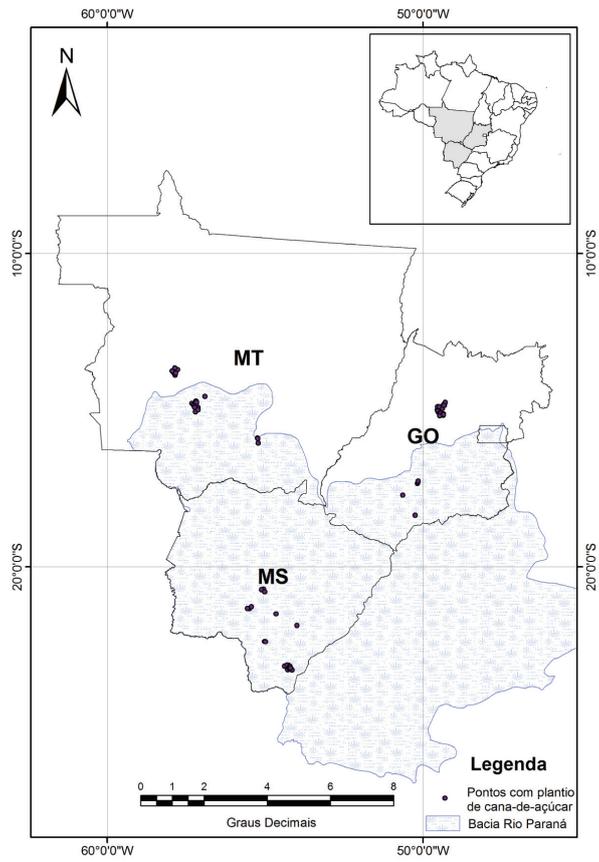
O índice de vegetação escolhido foi o EVI2 (*Enhanced Vegetation Index 2*; Jiang et al., 2008), que ressalta as variações de cobertura do solo. O cálculo do EVI2 é baseado em imagens MODIS do produto MOD13 Q1 (coleção 5, resolução de 16 dias composto e espacial de 250m) disponível no site da NASA. Ele é calculado usando as bandas espectrais de refletância da superfície do vermelho (RED) e infravermelho próximo (NIR), descrito pela Equação 1:

$$EVI2 = 2.5 * (NIR - RED) / (NIR + 2.4 * RED + 1) \quad (\text{Equação 1})$$

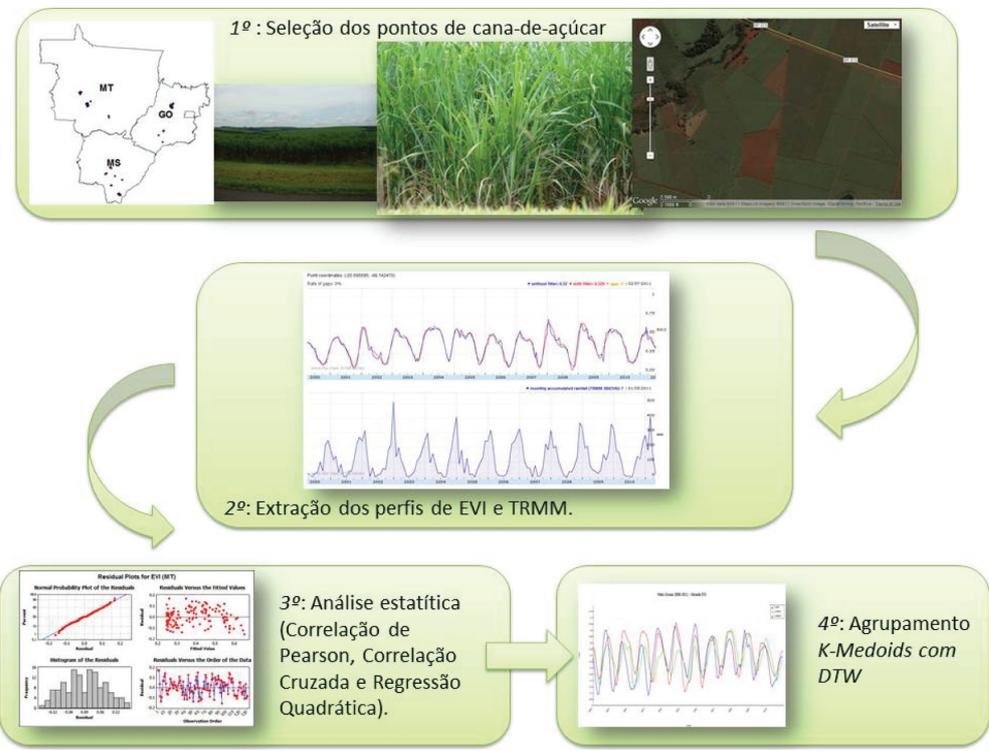
A série temporal de precipitação pluviométrica (milímetros por mês) foi calculada com base no produto 3B43V6 do modelo TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), também disponível na NASA (*Goddard Earth Science – GES e Distributed Active Archive System*). O *pixel* TRMM tem uma área mínima de 0,25 graus (aproximadamente 27,7 km<sup>2</sup>).

Na segunda etapa, os perfis temporais de EVI2 e precipitação (TRMM) foram obtidos a partir do site de visualização de séries temporais MODIS do INPE ([www.dsr.inpe.br/laf/series/](http://www.dsr.inpe.br/laf/series/)). As séries temporais foram obtidas para o período de 2001 a 2011. Foram utilizadas as séries temporais de EVI2 com valores filtrados pelo método da transformação Wavelet (Freitas et al., 2011).

As análises estatísticas utilizadas na terceira etapa do trabalho foram a correlação de Pearson, correlação cruzada e análise de regressão quadrática utilizando o software Minitab 14 ([www.minitab.com](http://www.minitab.com)) para as séries temporais de dados. Após esta etapa, por último, foi feito o agrupamento de três *clusters* pelo método *K-Medoids* com a distância DTW para todo período analisado.



**Figura 1.** Área de estudo na região Central do Brasil que corresponde os estados de MT, MS e GO.



**Figura 2.** Fluxograma com as etapas da metodologia executada no trabalho. O K-Medoids é um método de agrupamento (*clustering*) que ao invés de representar

o grupo pela média de seus elementos, o algoritmo busca, como representante, o elemento mais central do cluster, chamado *medoid*. Dessa maneira, para cada cluster, todos os objetos pertencentes a ele são testados como candidatos a *medoid*, e apenas o que for o mais centralizado é o escolhido (Amaral et al., 2011). Neste trabalho, foi aplicada a abordagem que visa trabalhar com as séries de valores de EVI2, de modo que cada elemento do conjunto é definido por uma série de EVI2 correspondente a uma ou várias safras de cana-de-açúcar. Nessa abordagem, foi utilizada a métrica DTW, por ser uma função de distância muito aplicada na análise de séries temporais (Berndt e Clifford, 1994). A mesma abordagem foi aplicada a séries de precipitação (TRMM). Esta análise de agrupamento foi executada com o uso da ferramenta SatImagExplorer (Chino et al., 2010).

A metodologia definida neste trabalho pode ser usada para auxiliar no monitoramento da expansão da cultura de cana-de-açúcar para a região do Pantanal. Por meio desse método que se apoia em geotecnologias e algoritmos de mineração de dados é possível acompanhar sistematicamente a região monitorada.

#### 4. Resultados e Discussão

A **Figura 3** apresenta as curvas de ajuste da regressão quadrática das séries de dados de EVI2 e precipitação, e suas respectivas equações para os estados de MS (**Figura 3A**), MT (**Figura 3B**) e GO (**Figura 3C**) do período de 2001 a 2011. A correlação quadrática (R-sq) variou de 37,4% a 77,5%. Em MT a correlação quadrática (R-sq) foi de 77,5%. Em MS e GO foi de 37,4% e 58,0%, respectivamente. Esses valores mais baixos podem estar relacionados com o fato destes estados apresentarem em expansão da cana-de-açúcar nos últimos anos. No entanto, há áreas de transição a partir de culturas agrícolas, vegetação nativa e pastagens para cana-de-açúcar. R-sq é superior em MT porque há área cultivada de cana-de-açúcar no período todo (2000-2011).

A **Tabela 1** apresenta os valores de correlação de Pearson e de correlação cruzada para cada estado analisado. Quando o coeficiente de correlação de Pearson foi superior a 0,8 não houve uma defasagem dos dados de precipitação em relação aos dados de EVI2, o que foi observado para o estado de MT. O mesmo resultado não foi observado quando a correlação de Pearson foi inferior a 0,7. Neste caso, avaliou-se a correlação cruzada entre a precipitação e o EVI2. A correlação cruzada apresentou um resultado melhor do que a correlação de Pearson, para os estados de MS e GO. A análise de correlação cruzada mostrou que EVI2 apresenta uma defasagem de um mês, considerando a precipitação, isto significa que os valores EVI2 vão alterar, aproximadamente, um mês após a ocorrência de uma mudança no clima. Resultados semelhantes foram encontrados por Coltri et al., 2011, com café e o índice NDVI em imagens Landsat. Gonçalves et al., 2012, apresentaram resultados com a cana-de-açúcar e dados climáticos em imagens de AVHRR/NOAA.

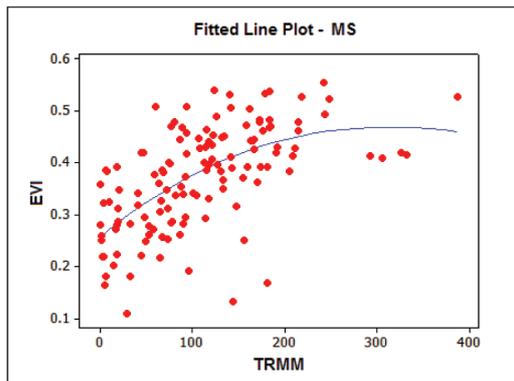
As **Figuras 4, 6 e 8** apresentam os perfis temporais de EVI2 para MS, MT e GO, respectivamente, com os três *clusters*. As **Figuras 5, 7 e 9** apresentam os perfis temporais de precipitação (TRMM) para MS, MT e GO, com os três *clusters*.

O perfil temporal dos *clusters* de EVI2 acompanhou o desenvolvimento da cana-de-açúcar para os estados de MT e GO (**Figuras 6 e 8**). Durante o período de colheita e início de desenvolvimento da cana-de-açúcar (maio a outubro), isto é, áreas da cultura com solo exposto e vegetação baixa, o EVI2 apresentou valores baixos. Os valores de EVI2 aumentaram em novembro, quando a cana-de-açúcar já está se desenvolvendo. De dezembro a abril, os valores de EVI2 são maiores do que nos outros meses porque a

cultura está no topo do desenvolvimento vegetativo e apresenta maior biomassa. Quando se inicia novamente a fase de colheita em Maio, os valores de EVI2 voltam a diminuir.

**Tabela 1.** Correlação de Pearson e Correlação Cruzada para os estados analisados.

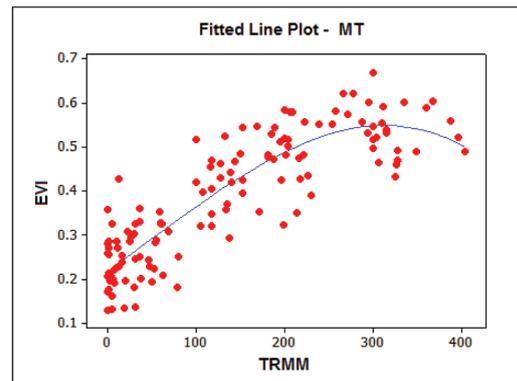
| Estado | Correlação de Pearson / P-Valor | Correlação Cruzada / P-Valor |
|--------|---------------------------------|------------------------------|
| MS     | 0,497 / 0,000                   | 0,559 / 0,000                |
| MT     | 0,845 / 0,000                   | 0,746 / 0,000                |
| GO     | 0,689 / 0,000                   | 0,740 / 0,000                |



$$evi = 0,2567 + 0,001488p - 0,000003p^2$$

(R-sq = 37,4%)

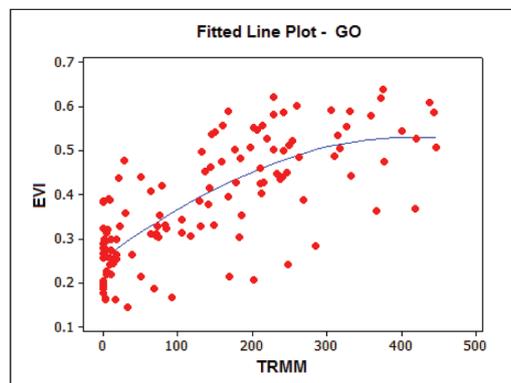
(A)



$$evi = 0,2186 + 0,001434p + 0,000001p^2$$

(R-sq = 77,5%)

(B)



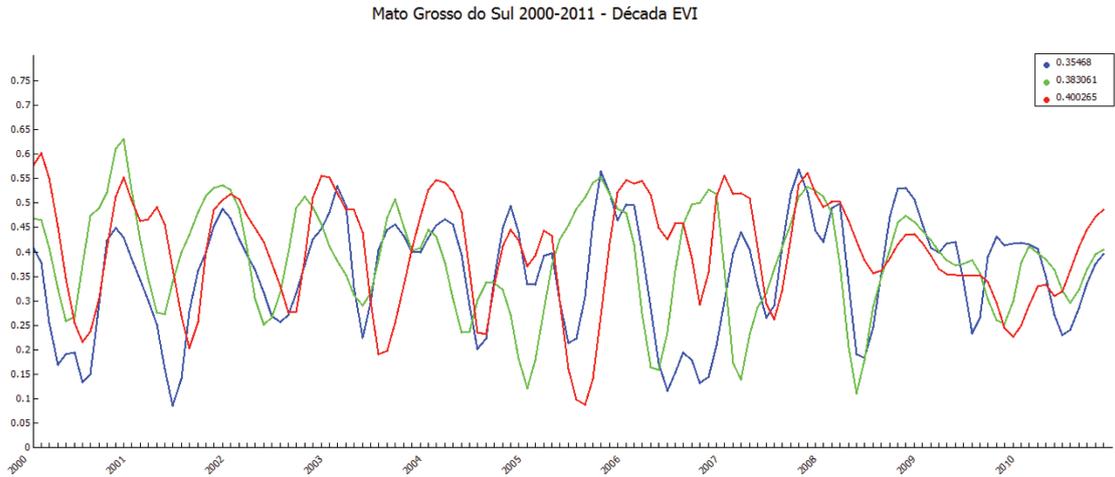
$$evi = 0,2558 + 0,001228p - 0,000001p^2$$

(R-sq = 58,0%)

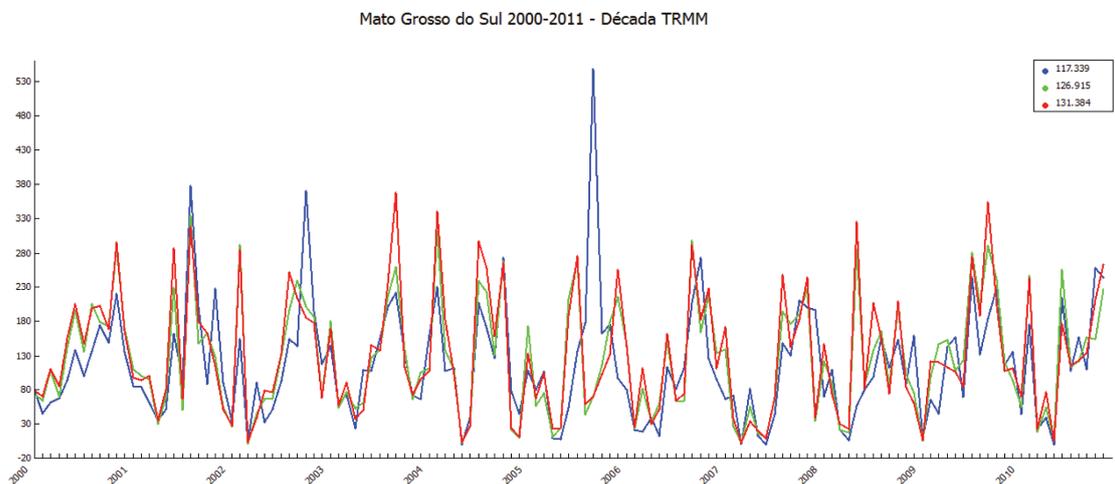
(C)

**Figura 3.** Gráficos das curvas de ajuste da regressão quadrática das séries temporais EVI2 x TRMM para os estados MS (A), MT (B) e GO (C).

O perfil temporal dos *clusters* de EVI2 para o estado de MS (**Figura 4**) não acompanhou o desenvolvimento da cana-de-açúcar, pois os pontos coletados de cana-de-açúcar, não apresentaram a cultura durante todo o período analisado (2001 a 2011). Nestes pontos há transição de culturas, como por exemplo, vegetação nativa e pastagens para cana-de-açúcar ou vice-versa.

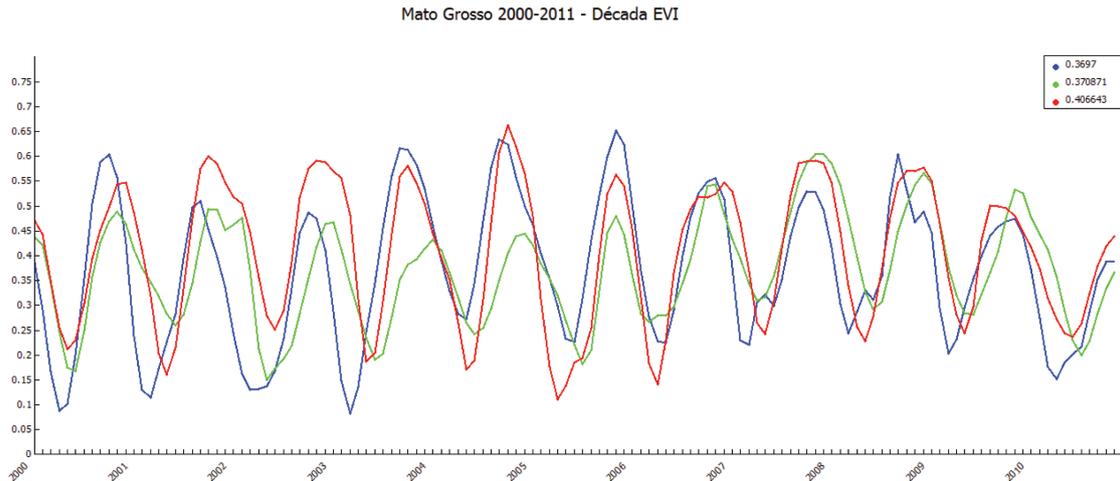


**Figura 4.** Perfil temporal EVI2 de 2000 a 2011 de MS dos três *clusters*.

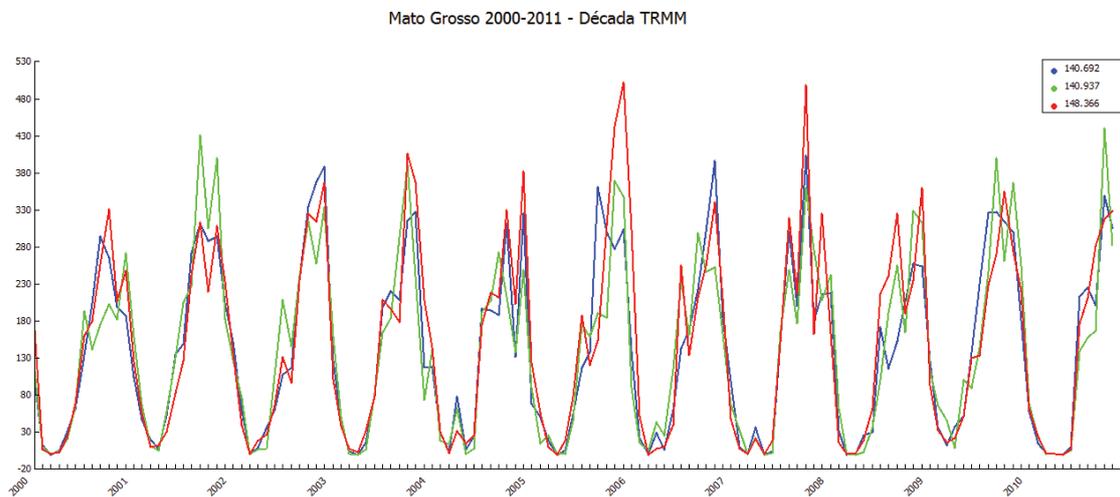


**Figura 5.** Perfil temporal TRMM de 2000 a 2011 de MS dos três *clusters*.

Nos estados MT e GO os perfis temporais de EVI2 e TRMM mostram uma sazonalidade do ciclo vegetativo da cana-de-açúcar e ciclo de precipitação (**Figuras 6, 7, 8 e 9**), marcando bem as fases de desenvolvimento da cultura e as fases úmidas e secas do ano, respectivamente. O mesmo não ocorre para MS, pois nos pontos coletados há outros tipos de vegetações e culturas e o ciclo da precipitação não é bem definido, há grande variação no perfil temporal (**Figuras 4 e 5**).

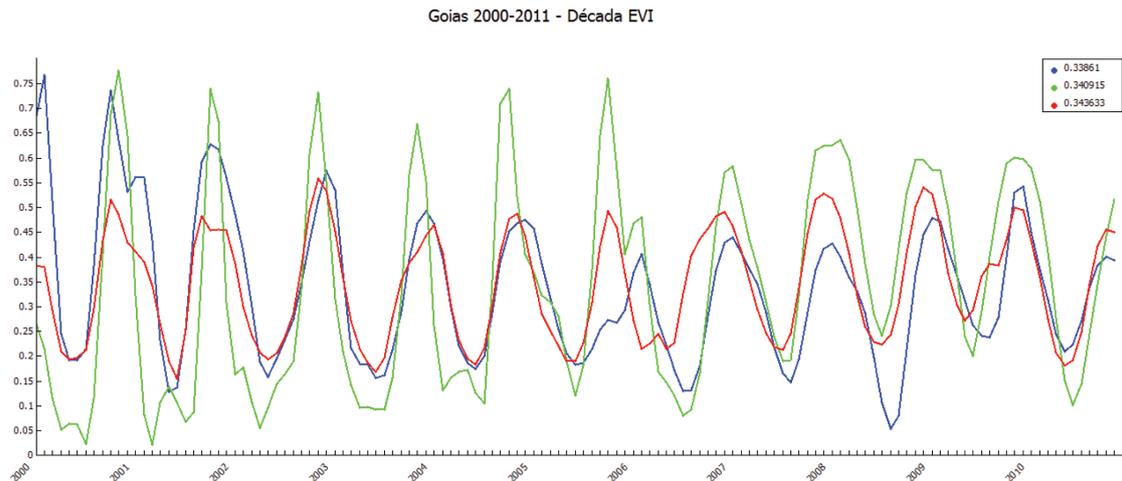


**Figura 6.** Perfil temporal EVI2 de 2000 a 2011 de MT dos três *clusters*.

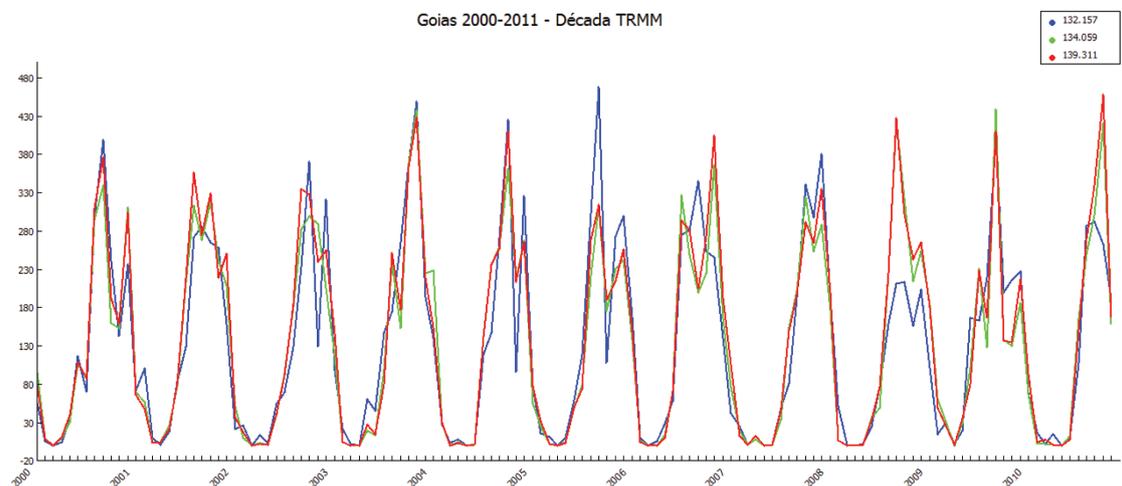


**Figura 7.** Perfil temporal TRMM de 2000 a 2011 de MT dos três *clusters*.

A análise de agrupamento permitiu verificar os *clusters* de cana-de-açúcar, apresentando grupos de plantio diferentes. Como por exemplo, nas Figuras 6 e 8, o cluster apresentado em vermelho é representado pela cultura de cana-de-açúcar. Os *clusters* azul e verde são representados por outro tipo de cultura anual. Na **Figura 4**, o cluster em vermelho, no início da série é representado pela cana-de-açúcar e depois passa a ser outra vegetação. Os *clusters* azul e verde são culturas que diferem da cana-de-açúcar. Então, neste caso, quando há diferenciação das culturas nos *clusters* pode-se acompanhar o desenvolvimento, o plantio e a transição de culturas agrícolas, assim como, identificar a expansão da cana-de-açúcar em qualquer região estudada.



**Figura 8.** Perfil temporal EVI2 de 2000 a 2011 de GO dos três *clusters*.



**Figura 9.** Perfil temporal TRMM de 2000 a 2011 de GO dos três *clusters*.

## 5. Conclusões

Considerando todas as análises realizadas neste trabalho, encontrou-se uma correlação entre os valores de EVI2 e precipitação (TRMM). Os estados de MT e GO apresentaram um melhor ajuste de dados no período analisado. Em MS, o R-sq foi baixo, pois os pontos coletados apresentaram transição de culturas agrícolas, vegetação nativa e pastagem para cana-de-açúcar e vice-versa. De acordo com estes resultados, é possível utilizar o método de agrupamento das séries de precipitação e EVI2, como uma nova ferramenta no monitoramento da cultura de cana-de-açúcar na região central do Brasil.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem o financiamento das instituições: CNPq, FAPESP e Embrapa, bem como ao INPE pelas séries de EVI2 e TRMM.

## 7. Referências

- Amaral, B. F.; Chino, D. Y.; Romani, L. A. S.; Gonçalves, R. R. V.; Sousa, E. P. M.; Traina, A. J. M. Análise e mineração de dados de sensores orbitais para acompanhamento de safras de cana-de-açúcar. In XXXI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, **Anais...** Natal. p.1472-1481, 2011.
- Assad, E. D.; Pinto, H. S.; Zullo Junior, J.; Marin, F. R.; Pellegrino, G. Q.; Evangelista, S. R.; Otavian, A.F. **Aquecimento Global e a Nova Geografia da produção Agrícola no Brasil**. 1.ed. Brasília: Embaixada Britânica, 2008. v. 1. 82p.
- Berndt, D. J.; Clifford, J. Using dynamic time warping to find patterns in time series. In **Proceedings of AAAI94 Workshop on Knowledge Discovery in Databases**, Seattle, USA., 1994. p. 359–370.
- Chino, D. Y. T.; Romani, L. A. S.; Traina, A. J. M. Construindo séries temporais de imagens de satélite para sumarização de dados climáticos e monitoramento de safras agrícolas. In: **REIC**, v. 10, p. 1-16. 2010.
- Coltri, P. P.; Romani, L. A. S.; Dubreuil, V. Corgne, S.; Jullo Junior, Z.; Pinto, H. S. Variação temporal da biomassa do café arábica arborizado e a pleno sol, através de índices de vegetação. In XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, **Anais...** Curitiba, INPE pp.0531-538, 2011.
- Fontana, D.C.; Potgieter, A.; Apan, A. Relação entre a precipitação pluvial e índice de vegetação em imagens multitemporais MODIS. In XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia (CBAGRO), **Proceedings...** Campinas, Brazil. 2005.
- Freitas, R. M.; Arai, E.; Adami, M.; Souza, A. F.; Sato, F. Y.; Shimabukuro, Y. E.; Rosa, R. R.; Anderson, L. O.; Rudorff, B. F. T. Virtual laboratory of remote sensing time series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, 2(1): pp.57-68, 2011.
- Goldemberg, J.; Coelho, S. T.; Guardabassi, P. The sustainability of ethanol production from sugarcane. **Energy Policy**, 36: pp. 2086-2097, 2008.
- Gonçalves, R. R. V.; Nascimento, C. R.; Zullo Junior, J.; Romani, L. A. S. Relationship between the spectral response of sugar cane, based on AVHRR/NOAA satellite images, and the climate condition, in the state of Sao Paulo (Brazil), from 2001 to 2008. In Fifth International Workshop on the Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images (MultiTemp-2009), **Proceedings...** Groton, Connecticut, vol. V, pp.315-322, 2009.
- Gonçalves, R. R. V.; Zullo Junior, J.; Ferrareso, C. S.; Sousa, E. P. M.; Romani, L. A. S.; Traina, A. J. M. Analysis of NOAA/AVHRR multitemporal images, climate conditions and cultivated land of sugarcane fields applied to agricultural monitoring. In Sixth International Workshop on the Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images (MultiTemp-2011), **Proceedings...** Trento, Italia, vol. VI, pp.229-232, 2011.
- Gonçalves, R. R. V.; Zullo Junior, J.; Romani, L. A. S.; Nascimento, C. R.; Traina, A. J. M. Analysis of NDVI time series using cross-correlation and forecasting methods for monitoring sugarcane fields in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, 33:15, pp. 4653-4672, 2012.
- Jiang, Z.; Huete, A. R.; Didan, K.; Miura, T. Development of a two-band *Enhanced Vegetation Index* without a blue band. **Remote Sensing of Environment**, 112(10): pp. 3833–3845, 2008.
- Rudorff, B. F. T.; Adami, M.; Aguiar, D. A.; Gusso, A.; Silva, W. F.; Freitas, R. M. Temporal series of EVI/MODIS to identify land converted to sugarcane. In IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium - IGARSS 2009, Cape Town, **Proceedings...** South Africa, vol. IV, pp. 252–255, 2009.