

Série temporal de imagens EVI/MODIS para discriminação de formações vegetais do Pantanal

Daniel de Castro Victoria¹
Ricardo Guimarães Andrade¹
Adriano Rolim da Paz¹

¹Embrapa Monitoramento por Satélite – CNPM
Av. Soldado Passarino, 303, Fazenda Chapadão
CEP 13070-115 – Campinas, SP
{daniel, ricardo, adriano}@cnpm.embrapa.br

Resumo. Séries temporais de imagens EVI do sensor MODIS foram utilizadas para discriminar diferentes vegetações dentro do bioma Pantanal. A classificação se baseia na variação temporal do índice de vegetação, que acompanha os estágios fisiológicos da vegetação, discriminando formações com ciclos distintos. Foi utilizada análise harmônica de Fourier para obter as amplitudes das séries temporais de EVI nas diferentes dimensões de frequência. Em seguida, aplicou-se classificação não supervisionada nas imagens de amplitude. A metodologia identificou áreas permanentemente inundadas de locais onde a variação anual do EVI é maior, separando áreas de cerrado com vegetação mais densa (cerrado florestado e florestas) de áreas com vegetação menos densa. No entanto, não foi capaz de discriminar o cerrado arbóreo do dominado por vegetação gramíneo-lenhosa. Áreas com agricultura anual, que apresentam grande variação do índice de vegetação ao longo do ano, foram facilmente detectadas.

Palavras-chave: Índice de vegetação, série temporal, MODIS, Fourier, Pantanal

Abstract. A time series of EVI images from MODIS sensor were used to identify different land covers in the Pantanal biome. Classification is based in the temporal variation of the vegetation index. A Fourier harmonic analysis was used to obtain the EVI amplitudes at different frequency scales and an unsupervised classification algorithm was applied in order to separate the different classes. Permanent flooded areas was discriminated from regions with higher EVI variation. Also, areas with dense vegetation (forests and forested savana) were separated from grass dominated savana however, the method was not capable of separating the grass savana from brush dominated savana. Agricultural areas have high EVI variation along the year and were easily discriminated.

Key-word: Vegetation Index, time series, MODIS, Fourier, Pantanal

1. Introdução

A alta resolução temporal dos dados do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), aliada a elevada qualidade radiométrica e geométrica das imagens e a disponibilidade dos dados na forma de produtos já processados, com correção atmosférica e muitas vezes com remoção de nuvens por meio das composições temporais, faz deste uma ferramenta apropriada para estudos de séries temporais de imagens. Neste campo, destacam-se os trabalhos que utilizam as séries temporais de índices de vegetação para identificação de culturas (Jakubauskas et al., 2002), tipos de formação florestal (Yu et al., 2004), detecção de mudanças na cobertura (Lacruz et al., 2005) e como forma de mensurar a intensificação da produção agrícola (Brown et al., 2007).

A utilização das séries temporais dos índices de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*) se baseia no fato que diferentes coberturas apresentam, além de diferentes respostas espectrais, padrões temporais distintos. Desta forma, a variação dos índices de vegetação ao longo do tempo podem ser utilizadas na identificação dos usos e coberturas do solo.

Diversas metodologias são empregadas para o estudo das séries temporais dos índices de vegetação, incluindo filtragem da série e ajuste de equações polinomiais (Jönsson e Eklundh, 2002) e aplicações de transformadas wavelet (Bruce e Mathur, 2006) e Fourier (Jakubauskas et al., 2002).

A transformação de Fourier converte um sinal observado no tempo para um sinal no espaço de frequências, a partir de um somatório de ondas. Desta forma podemos avaliar as variações de um sinal temporal nas diferentes frequências. No caso de séries temporais com um ano de duração, podemos separar as variações anuais das semestrais e assim por diante.

2. Objetivo

Este trabalho teve como objetivo avaliar a utilização das séries temporais do índice de vegetação EVI para discriminação das diferentes formações vegetais do bioma Pantanal, com ênfase na região do lobo aluvial, utilizando análise harmônica de Fourier.

3. Material e Métodos

Foram adquiridas imagens compostas de 16 dias para o ano de 2001 do índice de vegetação EVI do sensor orbital MODIS, com 250 m de resolução espacial, produto MOD13Q1. A área de interesse (lat: 15°S a 20°S; lon: 54°W a 60°W) foi recortada de cada uma das imagens EVI do “tile” que recobre o bioma Pantanal (h12v11) sendo em seguida empilhadas. O resultado final foi uma imagem com 23 bandas onde cada banda representa o índice de vegetação de 16 dias do ano de 2001 (b1: 1/jan a 16/jan; b2: 17/jan a 1/fev ... b23: 19/dez a 31/dez), a qual se aplicou a análise harmônica.

A análise harmônica de Fourier permite que uma sequência temporal seja reproduzida pelo somatório de um termo aditivo e de ondas, definidas por pares de valores de amplitude e

fase. Yu et al. (2004) aplicaram a análise harmônica e apresentaram imagens do termo aditivo, amplitude e ângulo de fase para cada termo, uma abordagem semelhante a utilizada neste trabalho. A transformada discreta de Fourier é dada por **(1)**:

$$F(u) = \frac{1}{T} \sum_{k=0}^{T-1} f(x) e^{-j \frac{2\pi}{T} k} \quad (1)$$

onde $f(x)$ é uma série de valores amostrais; T é o número de observações na série temporal; k é um índice representando a observação atual e j é um número imaginário. Os termos real e imaginário são transformados nos valores de amplitude e fase a partir das **equações (2) e (3)**:

$$F_{\text{amplitude}} = (F_{\text{real}}^2 + F_{\text{imaginário}}^2)^{1/2} \quad (2)$$

$$F_{\text{fase}} = \text{atan}(F_{\text{imaginário}} / F_{\text{real}}) \quad (3)$$

O primeiro componente harmônico da análise de Fourier representa a variação do sinal para um período correspondente ao intervalo de tempo de toda a série temporal (T). A segunda e terceira componentes representam a variação da série em um período $T/2$ e $T/3$, respectivamente. Componentes de ordem mais elevada, representando frequências menores, também podem ser obtidas. No entanto, utilizando apenas as primeiras componentes, já é possível descrever o padrão temporal de um sinal anual com razoável aproximação (Lacruz e Santos, 2007). Além disso, a utilização apenas das primeiras componentes harmônicas atua como um filtro na série temporal, eliminando possíveis ruídos causados por cobertura de nuvens e outros problemas.

Uma rotina computacional, escrita na linguagem Python, foi utilizada para extrair as imagens de amplitude dos primeiros três componentes harmônicos da série temporal mais o termo aditivo. O termo aditivo representa o EVI médio anual, enquanto que os componentes 1 e 2 representam as oscilações anuais e semestrais do índice de vegetação. O terceiro componente representa a amplitude trimestral, não sendo muito útil, uma vez que ciclos de 3 meses não são comuns em coberturas vegetais.

Uma classificação não supervisionada (Isocluster) foi aplicada nas imagens de amplitude e do termo aditivo, gerando um mapa com 10 classes. Estas foram agrupadas em cinco classes: 1) áreas permanentemente inundadas, com baixo EVI durante o ano e sem variação anual; 2) áreas com cerrado menos denso, com valor máximo de EVI de 0,4 e variação anual moderada; 3) áreas com cerrado mais denso, com valores máximos de EVI de 0,4 a 0,5 e variação anual moderada; 4) áreas com vegetação mais vigorosa, com EVI máximo próximo de 0,6 a 0,7 e 5) áreas de agricultura, com forte variação do EVI durante o ano.

A imagem classificada foi comparada visualmente com imagens do mosaico Geocover (MDA Federal, 2004), compostas por cenas do sensor TM e ETM+ dos satélites Landsat e com o mapa de uso e cobertura do solo do bioma pantanal do projeto Probio (Embrapa, 2004).

4. Resultados e Discussão

A imagem do termo aditivo, que representa o EVI médio de 2001 (**Figura 1a**), identifica claramente as áreas em que a vegetação se manteve verde durante grande parte do ano, como as áreas de floresta e matas de galeria. Também são facilmente identificadas as áreas com baixo valor de EVI durante todo o ano, como corpos d'água e locais com vegetação inundada.

A imagem de amplitude do primeiro componente representa a variação anual do EVI no ano de 2001 (**Figura 1b**). Nesta, são identificadas as áreas de cultura anual, onde o EVI varia de 0,7 nos meses de Janeiro e Fevereiro para menos de 0,2 em Junho e Julho. Também são

identificadas outras áreas com elevada variação do EVI as quais podem estar relacionadas à florestas que apresentam variações nos índices de vegetação devido à sazonalidade da precipitação.

A amplitude do segundo componente representa a variação semestral do EVI em 2001 (**Figura 1c**). Nesta imagem também se destacam as áreas com culturas anuais. Isto porque o ciclo anual de EVI destas culturas é concentrado em apenas uma parte do ano, com EVI máximo acima de 0,7 em Janeiro e Fevereiro e mínimo abaixo de 0,2 no período de Julho a Agosto. Este ciclo concentrado é traduzido pela análise harmônica de dois sinais distintos, um com frequência anual e outro semestral. Desta forma, áreas de agricultura aparecem tanto nos dois primeiros componentes. Victoria et al. (2008) mostraram que ciclos mais bem distribuídos ao longo do ano, como as culturas de cana de açúcar no estado de São Paulo, apresentam forte sinal anual (primeira componente) e sinal fraco semestral (segunda componente). A componente semestral também pode ser utilizada na identificação de áreas agrícolas com duas culturas anuais, como áreas irrigadas (Victoria et al., 2008) ou de intensificação agrícola (Brown et al., 2007).

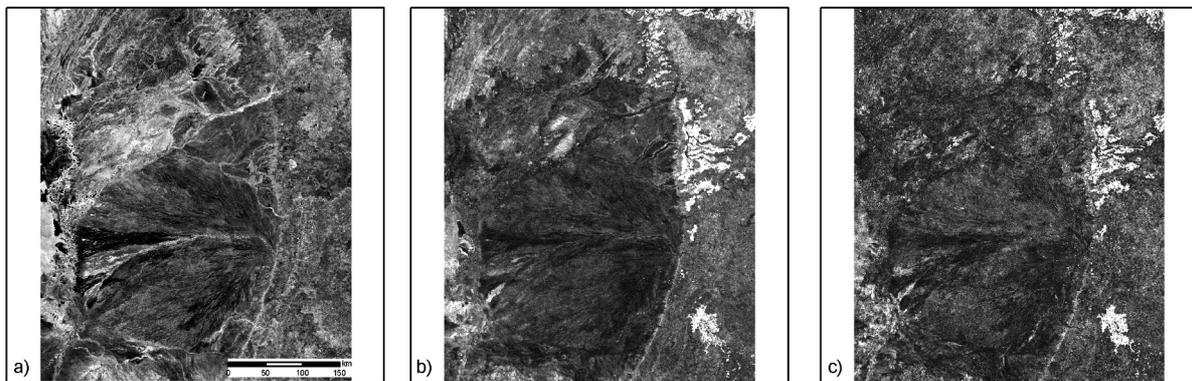


Figura 1. a) EVI médio anual (termo aditivo) e amplitude b) anual e c) semestral do índice de vegetação para a região do lobo aluvial do bioma Pantanal, ano de 2001

A **Figura 2** apresenta a composta colorida das imagens obtidas da análise harmônica (R: Amplitude 1ª componente; G: Termo Aditivo; B: Amplitude 2ª componente). Mais uma vez, as áreas de agricultura são facilmente identificadas (tom magenta). Também podem ser identificadas as áreas com florestas e matas de galeria onde a vegetação se mantém sempre verde (elevado EVI) ao longo do ano. Alguma distinção pode ser feita entre os tipos de cerrado com vegetação mais ou menos densa dentro do bioma pantanal. As formações com maior presença de árvores aparecem no lobo aluvial com cores verde-escuro azulados. Já as áreas com vegetação menos densa apresentam cores escuras. Também é possível identificar as áreas com forte influência da inundação ou de corpos d'água, que na imagem composta aparecem em coloração preta.

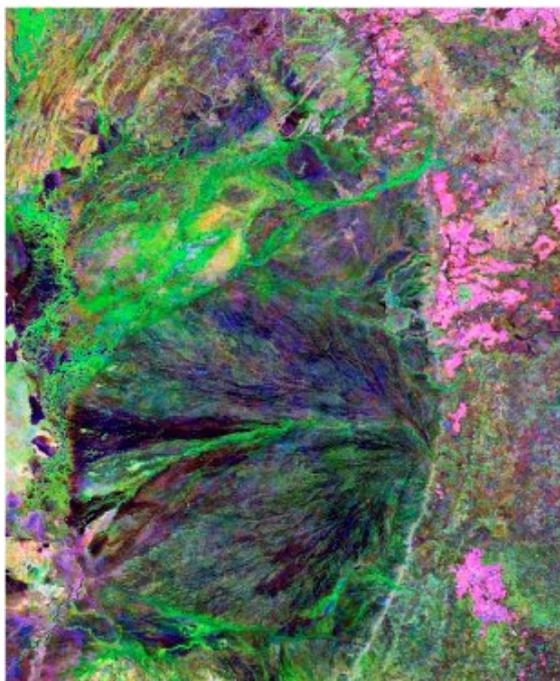


Figura 2. Composta colorida utilizando as imagens de amplitude e termo aditivo da série temporal de EVI para o ano de 2001. R: amplitude anual G: termo aditivo B: amplitude semestral. Áreas permanentemente vegetadas aparecem com coloração verde. Locais com agricultura se destacam na coloração magenta. Áreas permanentemente inundadas apresentam tons escuros.

As imagens do termo aditivo mais as amplitudes da três primeiras componentes foram utilizadas em uma classificação não supervisionada com 10 classes. Estas foram reagrupadas em 5 classes (**Figura 3**) a fim de identificar as seguintes áreas:

- a) Corpos d'água ou vegetação com influência fluvial, permanentemente inundada (azul)
- b) Cerrado menos denso e pastagens, com EVI máximo de 0,4 (amarelo)
- c) Cerrado mais fechado com presença de árvores, EVI máximo de 0,5 (verde claro)
- d) Agricultura (vermelho)
- e) Floresta ou cerrado florestado, com EVI máximo de 0,7 (verde escuro)

A comparação visual entre a imagem classificada e o mosaico GeoCover, composto por imagens Landsat, mostrou boa concordância, quando observado na escala 1:250.000, compatível com as imagens MODIS (**Figura 3** – detalhes).

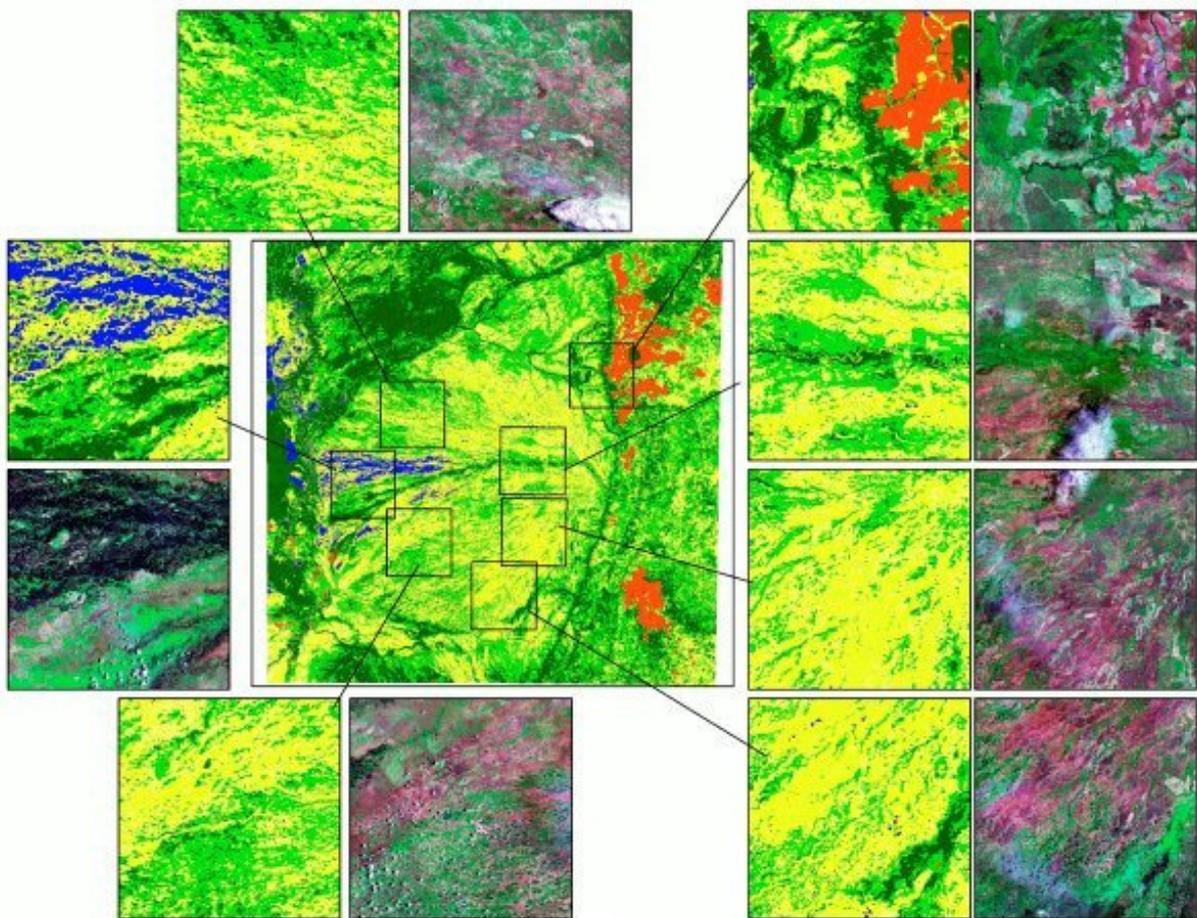


Figura 3. Classificação não supervisionada em 5 classes para o lobo aluvial do Pantanal (imagem central) e detalhes comparando a classificação com imagens do satélite Landsat. Na imagem classificada, azul representa áreas permanentemente inundadas. Amarelo são áreas de cerrado com provável predomínio de pastagens, verde claro são as áreas de cerrado com vegetação arbórea, vermelho são áreas de agricultura e verde escuro os cerrados florestados e florestas.

Foi também efetuada uma comparação entre a classificação obtida pela série temporal e o mapa de uso e cobertura do bioma Pantanal do projeto PROBIO. Devido ao elevado número de classes na legenda do PROBIO, estas foram agrupadas em a) Corpos d'água ou vegetação com influência fluvial; b) Cerrado gramíneo-lenhoso ou pastagem; c) Cerrado arborizado e d) Cerrado florestado ou floresta. As classes compostas por associações de dois tipos de cerrado foram classificadas pela primeira classe na associação ou seja, a classe cerrado florestado + gramíneo-lenhoso foi classificada como cerrado florestado e a classe cerrado gramíneo-lenhoso + florestado foi identificada como cerrado gramíneo-lenhoso. As classes de ecótonos não foram consideradas, por representarem misturas de duas coberturas vegetais. Também não foi considerada a classe de agricultura, uma vez que esta não ocorre no interior do lobo aluvial do Pantanal. Duzentos e dez pontos aleatórios foram amostrados nas duas classificações, gerando a matriz de confusão e coeficiente kappa (**Tabela 1**). O baixo valor de kappa (0,22) e os elevados erros de omissão e comissão mostram que a classificação não foi boa. A grande dificuldade está no fato do cerrado apresentar diferentes classes que formam um contínuo de vegetação, com áreas menos densas (campo, campo limpo), passando por áreas arborizadas até áreas florestadas (cerradão). Estas transições entre as diferentes formações de cerrado são difíceis de se identificar apenas com as séries temporais de EVI.

Tabela 1. Matriz de confusão entre as classes da classificação não supervisionada e a referência do PROBIO. Os diferentes tipos de cerrado apresentam um gradiente de densidades (cerrado gramíneo, arbóreo e florestado) o que dificulta a separação das classes. Isso explica os elevados erros de omissão e comissão e o baixo valor de kappa. Juntando as classes de cerrado arbóreo e gramíneo, índice kappa aumenta para 0,51.

Referências	Classes				total	erro de omissão
	1	2	3	4		
1	6	5	4	3	18	0,67
2	0	35	36	6	77	0,55
3	0	35	33	5	73	0,55
4	0	3	15	24	42	0,43
total	6	78	88	38	210	
erro de comissão	0	0,55	0,63	0,37		
<i>exatidão total</i>						0,47
kappa						0,22

Agrupando-se as duas classes intermediárias (cerrado gramíneo-lenhoso + cerrado arborizado), a classificação melhora (kappa = 0,51), como era de se esperar, mostrando que a separação das diferentes fisionomias do cerrado não é facilmente obtida apenas com a série temporal de EVI.

Apesar de não discriminar as diferentes classes de cerrado de forma satisfatória, a série temporal de EVI se mostrou útil na detecção de áreas de agricultura.

5. Conclusões

Os produtos do sensor MODIS, em especial os índices de vegetação, são de grande valia para estudos que utilizam séries temporais de imagens de sensores remotos. A análise de Fourier se mostrou adequada para extração de parâmetros de sazonalidade das imagens. No entanto, estes não foram suficientes para discriminar de forma satisfatória as diferentes formações de cerrado, principalmente o cerrado gramíneo-lenhoso e o cerrado arborizado.

A técnica se mostrou adequada para a delimitação de áreas com culturas anuais, as quais foram facilmente identificadas.

6. Referências

- Brown, J. ET AL. Multitemporal, Moderate-Spatial-Resolution Remote Sensing of Modern Agricultural Production and Land Modification in the Brazilian Amazon. **GIScience & Remote Sensing**, v. 44, n. 2, p. 117-148, June 1, 2007.
- Bruce, L. M.; Mathur, A. Denoising and wavelet-based feature extraction of MODIS multi-temporal vegetation signatures. **International Workshop on Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images**, 2005. p. 95-98.
- Embrapa. **Levantamento e mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Pantanal, período de 2002 na escala de 1:250.000**. Embrapa Informática Agropecuária:Campinas,SP, agosto de 2004, 43p.
- Jakubausks, M. E.; Legates, D. R.; Kastens, J. H. Crop identification using harmonic analysis of time-series Avhrrndvi data. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 37, p. 127-139, 2002
- Jonsson., P.; Eklundh, L. Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 40 (8), p. 1824-1832, 2002.
- Lacruz, M. P.; Santos, J. R.; Conforte, J. C. Utilização de séries temporais de imagens MODIS/TERRA e análise harmônica para o monitoramento de corredores ecológicos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12, 16-21 abr. 2005. Goiania. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 3223-3228. CD-ROM, Online. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2005/02.12.16.31/doc/capa.htm>> . Acesso em: 6 nov 2008.

Lacruz, M. P.; Santos, J. R. Monitoramento da paisagem de unidades de conservação. In: Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E.; Ceballos, J. C. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações no Brasil**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. cap. 13, p.173-183.

Mda Federal, **Landsat GeoCover ETM+ 2000 Edition** Mosaics, ver. 1.0, USGS, Sioux Falls, South Dakota, 2004.

Victoria, D. C.; Oliveira, A. F.; Grego, C. R. Análise harmônica de séries temporais de imagens NDVI/MODIS para discriminação de coberturas vegetais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 1589-1596. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.13.16.38>>. Acesso em: 28 jul. 2009.

Yu, X.; Zhuang, D.; Chen, H.; Hou, X. Forest classification based on MODIS time series and vegetation phenology. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. **IGARSS '04. Proceedings**. vol.4, pp. 2369-2372, set. 2004