

Uso combinado de dados NDVI/MODIS dos satélites Terra e Aqua no monitoramento multi-temporal de áreas agrícolas

Júlio César Dalla Mora Esquerdo¹
Alexandre Camargo Coutinho¹
João Francisco Gonçalves Antunes^{1,2}

¹ Embrapa Informática Agropecuária
Caixa Postal 6041 - 13083-886 - Campinas - SP, Brasil
{julio.esquerdo, alex.coutinho, joao.antunes}@embrapa.br

² Faculdade de Engenharia Agrícola - Feagri/Unicamp (Doutorando)
Caixa Postal 6011 - 13083-875 - Campinas - SP, Brasil

Abstract. The temporal analysis of vegetation indices has shown a great potential application of land surface monitoring, especially in areas with high spectral-temporal dynamics, such as agricultural crops. Not always the maximum value compositions, which synthesize the daily information obtained by sensors with high temporal resolution, are cloud-free. Moreover, the methods of time-series filtering may deform the spectral information and mask some phenological features of the crops. Therefore, the objective of this study was to analyze the combined use of NDVI/MODIS data obtained from Terra and Aqua satellites, in order to increase the frequency of the spectral information and assess its application in agricultural monitoring activities. Despite the age and time pass differences of these two satellites, the combined use of these two datasets was useful in activities of crop monitoring. Visual analysis of NDVI temporal profiles, produced by the combination of these two datasets, showed a significant improvement in the representation of agricultural cycles. The results also presented advantages in combining these two datasets in an activity of annual agriculture mapping in a region with frequent cloud cover.

Palavras-chave: time-series, image processing, agricultural monitoring, séries temporais, processamento de imagens, monitoramento agrícola.

1. Introdução

A abordagem espectro-temporal tem mostrado um grande potencial de aplicação na análise da superfície terrestre, sobretudo nas áreas com elevada dinâmica espectro-temporal, como é o caso das culturas agrícolas. Vários estudos têm utilizado com relativo êxito esta abordagem para o monitoramento e mapeamento de culturas agrícolas (Kastens *et al.*, 2005; Jakubauskas *et al.*, 2002; Wardlow *et al.*, 2007).

As análises temporais baseadas nos índices de vegetação, em especial o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), permitem identificar a dinâmica da vegetação em distintas escalas temporais, abrangendo desde a caracterização de ciclos fenológicos anuais ou de menor duração até variações desses ciclos ao longo de vários anos, para caracterizar a dinâmica das transições entre diferentes usos e coberturas das terras (Bradley *et al.*, 2007; Lu *et al.*, 2004).

Embora alguns sensores disponibilizem imagens diárias da superfície, estas raramente são diretamente usadas nas análises temporais. Em seu lugar, são usadas as chamadas “composições de máximo valor” ou “imagens síntese”, onde um dado conjunto de imagens diárias é utilizado para gerar uma única imagem composta compreendendo um determinado período, por exemplo, semanal, decendial, quinzenal ou mensal. Este procedimento foi inicialmente proposto por Holben (1986) com o intuito de reduzir a contaminação atmosférica e a presença de nuvens nas análises temporais dos índices de vegetação.

No entanto, nem sempre as composições máximas são capazes de eliminar a influência atmosférica, seja por conta da adoção de curtos intervalos de tempo para a sua elaboração ou pela alta frequência de cobertura de nuvens. Trata-se de um problema corriqueiro nas análises de séries temporais aplicadas à agricultura, especialmente no caso das culturas anuais, em que

as safras principais ocorrem nas épocas de maior precipitação e o período das composições máximas não pode ser extenso, devido à elevada dinâmica espectral dessas áreas. O problema se torna ainda maior quando os alvos localizam-se em regiões com elevadas e frequentes precipitações, como ocorre nos estados da região Norte do Brasil.

Vários trabalhos têm relatado a adoção de métodos de filtragem, simples ou complexos, para amenizar os ruídos causados por nuvens nas séries temporais de índices de vegetação (Bradley *et al.*, 2007; Roerink *et al.*, 2000; Jönsson e Eklundh, 2002; Ma e Veroustraete, 2006). No entanto, dependendo da qualidade, quantidade e periodicidade dos dados disponíveis, os métodos de filtragem podem causar distorções nos perfis temporais, sobretudo naqueles obtidos em áreas agrícolas, mascarando algumas características fenológicas das culturas. Assim, quanto maior a periodicidade e qualidade dos dados disponíveis, menor a chance de haver problemas decorrentes de filtragem. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi analisar a utilização combinada de dados de NDVI do sensor MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*) provenientes de duas plataformas orbitais – Terra e Aqua – na geração de perfis temporais em áreas agrícolas.

2. Material e Métodos

O estudo consistiu na avaliação de perfis temporais do NDVI construídos a partir de imagens dos sensores MODIS/Terra e MODIS/Aqua de forma individual e de forma conjunta. As áreas de controle utilizadas para a geração dos perfis localizam-se no estado do Estado do Mato Grosso, maior produtor de grãos e algodão do Brasil. A série temporal de imagens de NDVI/MODIS compreendeu o ano-safra 2008/2009 (julho de 2008 a junho de 2009), contendo 23 composições de 16 dias derivadas do satélite Terra e outras 23 composições derivadas do satélite Aqua, totalizando 46 composições com espaçamento temporal de 8 dias, dado que as composições dos satélites são produzidas em intervalos intercalados.

As imagens de NDVI do satélite Terra foram obtidas do Banco de Produtos MODIS na Base Estadual Brasileira, um repositório mantido pela Embrapa Informática Agropecuária, onde são disponibilizadas imagens derivadas do produto MOD13Q1, elaborado pelo LP-DAAC/EOS (*Land Processes Distributed Active Archive Center/NASAs Earth Observing System*) (Esquerdo *et al.*, 2011). Neste Banco, podem ser encontradas imagens de NDVI e EVI de toda série temporal do satélite Terra em recortes estaduais na projeção geográfica e no formato GeoTIFF. Já as imagens de NDVI do satélite Aqua foram extraídas do produto MYD13Q1, produzido e disponibilizado pelo LP-DAAC/EOS, sendo reprocessado de acordo com a metodologia descrita por Esquerdo *et al.* (2011).

A extração dos dados das séries temporais e a geração dos perfis do NDVI foram conduzidas a partir de uma rotina desenvolvida em linguagem IDL (*Interactive Data Language*). Na extração foram consideradas as coordenadas centrais de um conjunto de pixels localizados em talhões cujo histórico de cultivo era previamente conhecido a partir de visitas a campo. Para cada tipo de cultivo analisado foram gerados três perfis temporais, dois deles com informações individuais de cada satélite e um terceiro com informações de ambos.

Para reduzir os efeitos decorrentes da presença de nuvens nas composições MODIS, que rebaixam o valor do NDVI, utilizou-se o filtro proposto por Wardlow *et al.* (2006), onde os valores inconsistentes do índice de vegetação foram substituídos pelo menor valor adjacente.

Com o objetivo de avaliar o uso conjunto das imagens obtidas dos satélites Terra e Aqua em atividades de mapeamento da agricultura anual, foi aplicada uma metodologia baseada no comportamento espectro-temporal do NDVI ao longo do ciclo produtivo. Este método, descrito por Fernandes (2009) e Coutinho *et al.* (2011), considera o comportamento temporal típico das culturas agrícolas, com altos valores de NDVI na época do pico vegetativo e baixos valores no início e final do ciclo. Dessa forma, são classificados como áreas de agricultura anual todos os pixels que apresentem uma diferença mínima do NDVI entre as épocas de

máxima e mínima produção de biomassa. A partir do conhecimento prévio das épocas em que estas fases acontecem, bem como a amplitude de valores máximos e mínimos típicos da agricultura anual, foi conduzido um processo de classificação aplicado à série temporal de imagens por meio de uma rotina IDL. Neste estudo, o método foi aplicado na região do polo agrícola de Santarém, localizado no estado Pará (**Figura 1**), onde o problema da cobertura de nuvens é bastante crônico, em virtude do intensivo regime de precipitação dessa região. Foram gerados dois mapas da agricultura anual, um deles gerado a partir da série temporal do satélite Terra e outro a partir da série temporal dos dois satélites (Terra e Aqua), tendo sido utilizados os mesmos parâmetros de classificação em ambos os mapeamentos.

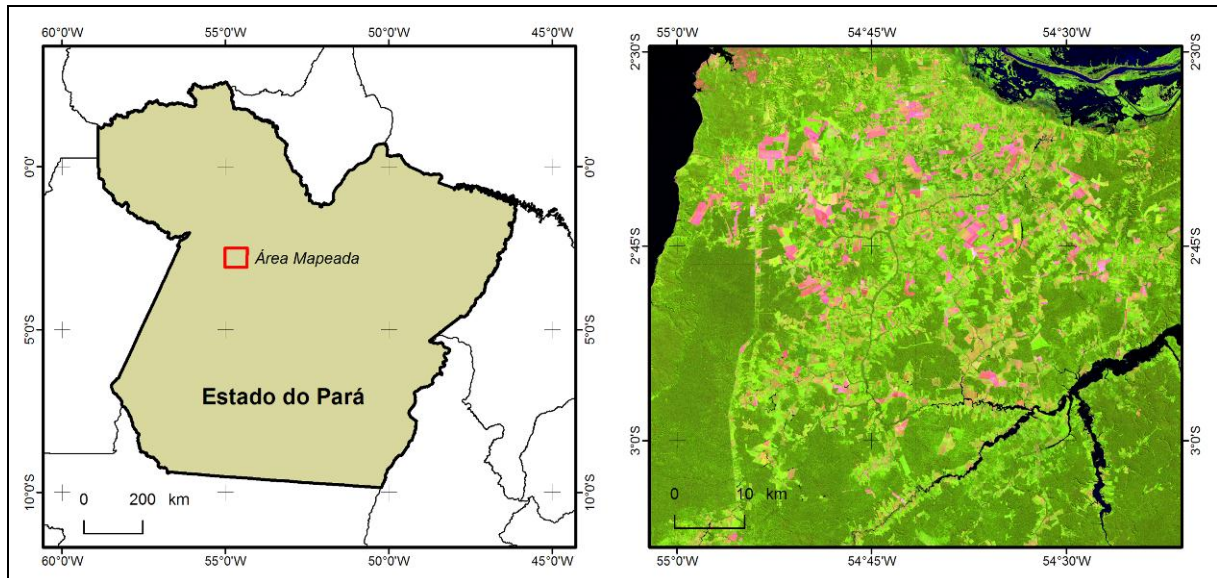


Figura 1. Região do polo agrícola de Santarém, no estado do Pará. À esquerda, uma imagem Landsat-5/TM, composição RGB-543, da região.

3. Resultados e Discussão

Nas **Figuras 2 e 3** são apresentados gráficos dos perfis temporais de NDVI de áreas agrícolas de referência no estado do Mato Grosso, onde cada exemplo é composto por um gráfico individual, com dados de cada satélite, e um terceiro gráfico com os dados apresentados de forma combinada. As linhas pretas representam o dado bruto extraído das imagens e a linha azul com círculos representa o dado filtrado, a partir do método proposto por Wardlow *et al.* (2006), onde os valores inconsistentes do índice de vegetação são substituídos pelo menor valor adjacente. O período de cada gráfico é composto por imagens adquiridas entre os meses de julho de 2008 e junho de 2009, compreendendo a época da safra principal e da safrinha.

Na **Figura 2a** são apresentados gráficos referentes a uma área com cultivo de soja (safra) e milho (safrinha), onde se verificou uma forte influência de cobertura de nuvens na época do pico vegetativo da soja na série temporal de NDVI do satélite Terra, onde a filtragem não foi capaz de realizar uma correção dos valores espectrais. No entanto, por conta da diferença do horário da passagem e da geometria de aquisição, o problema não ocorreu nas imagens da série temporal do satélite Aqua. Conseqüentemente, o perfil temporal resultante da combinação dos dados Terra e Aqua apresentou uma oscilação na época do pico vegetativo da soja. Entretanto, considerando a maior quantidade de informações disponíveis na junção dos dados Terra e Aqua, a filtragem adotada foi capaz de amenizar as oscilações e a curva filtrada resultante foi capaz de se aproximar mais do comportamento real da cobertura vegetal.

O mesmo comportamento pode ser observado na **Figura 2b**, que ilustra perfis temporais de uma área com cultivo de soja (no período da safra) e milho (no período da safrinha). No entanto, neste exemplo, as maiores oscilações decorrentes da cobertura de nuvens ou geometria de aquisição ocorreram na série temporal do satélite Aqua, na época do pico vegetativo da cultura da soja. Novamente, o perfil resultante da junção dos dados Terra e Aqua apresentou formato e aspecto mais apropriados.

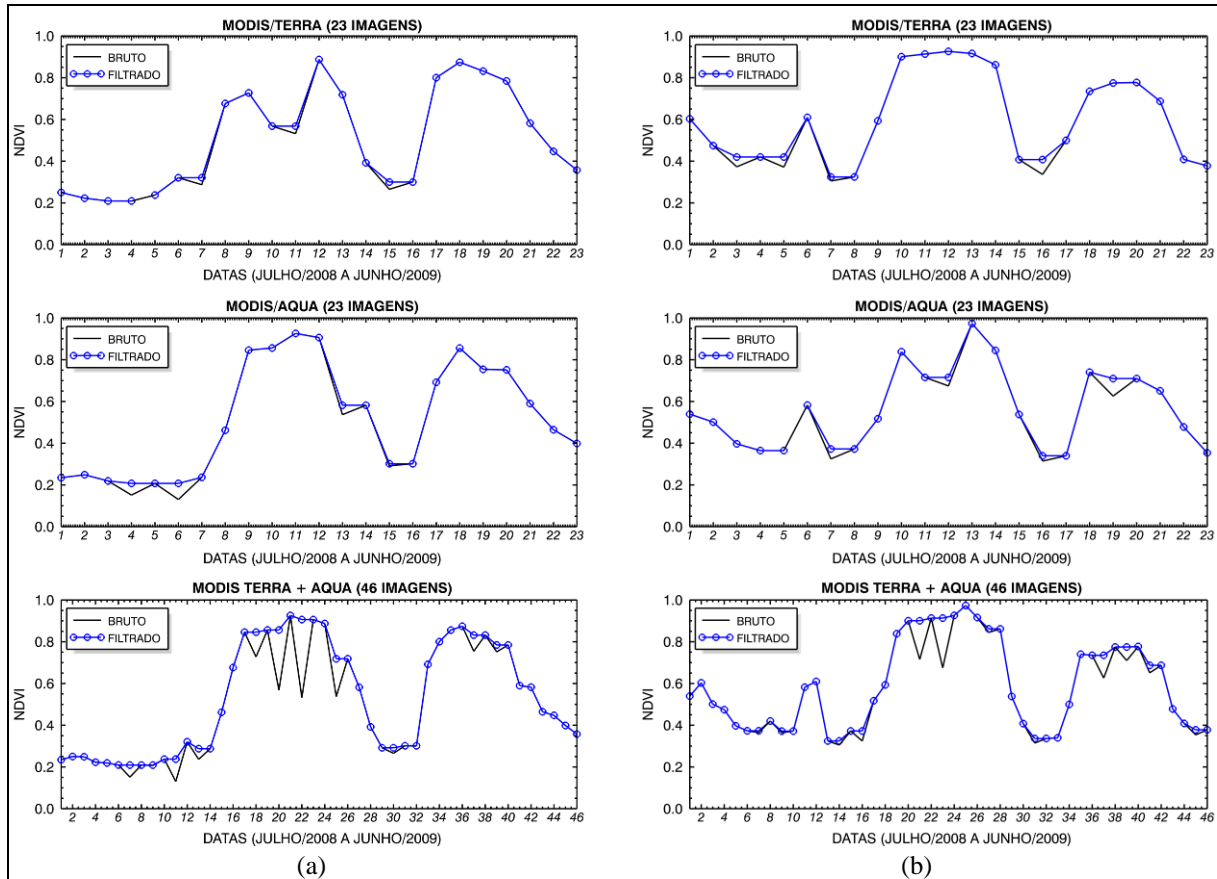


Figura 2. Perfis temporais do NDVI gerados com dados MODIS dos satélites Terra e Aqua, obtidos de áreas com cultivo de soja e milho (a) e soja e milho (b).

Na **Figura 3a** são mostrados os perfis temporais do NDVI de uma área com cultivo de soja precoce e de algodão. Algumas oscilações são observadas na série temporal do satélite Terra, próximo ao pico vegetativo da cultura da soja (primeira curva), e na série temporal do satélite Aqua, próximo ao início do ciclo do algodão, representado pela segunda curva. No caso do satélite Aqua, a filtragem desta oscilação alterou significativamente os valores do NDVI no período entre as duas safras, mascarando as informações da transição entre a safra da soja e do algodão. Entretanto, considerando a série de dados combinados, o perfil resultante da filtragem foi capaz de representar de forma melhor os dois ciclos produtivos. Na **Figura 3b** observam-se os perfis temporais do NDVI de uma área de soja, cujo solo permaneceu em pousio na época da segunda safra. Neste caso, foram observadas oscilações nos dados de NDVI apenas do satélite Aqua, sendo que o perfil com dados conjuntos representou de maneira satisfatória o comportamento temporal do cultivo.

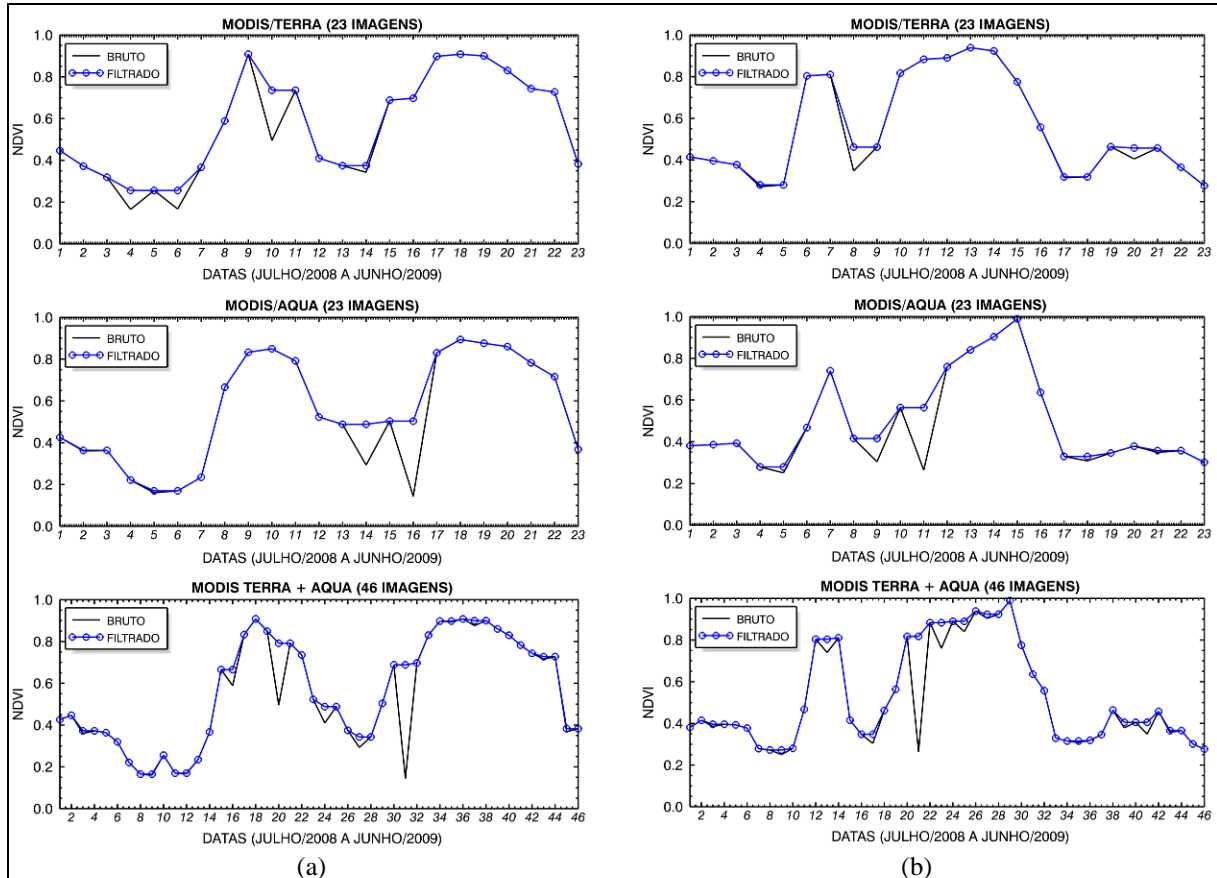


Figura 3. Perfis temporais do NDVI gerados com dados MODIS dos satélites Terra e Aqua, obtidos de áreas com cultivo de soja e algodão (a) e soja com pousio (b).

A **Figura 4** mostra recortes espaciais de duas regiões do polo agrícola de Santarém-PA, onde foram conduzidos os mapeamentos da agricultura anual, por meio da metodologia baseada no comportamento espectro-temporal dessas superfícies. Pelos exemplos, é possível comparar os resultados dos mapeamentos com a imagem de média resolução espacial Landsat-5/TM. Os recortes da esquerda mostram a sobreposição, à imagem Landsat-5/TM, da máscara da agricultura anual, produzida com as 23 imagens de NDVI do satélite Terra. À direita, os recortes ilustram a sobreposição da máscara da agricultura anual, produzida com 46 imagens de NDVI dos satélites Terra e Aqua.

Verificou-se que o mapeamento conduzido apenas com imagens do satélite Terra apresentou falhas decorrentes da contaminação dos dados pela cobertura de nuvens ou pela geometria de aquisição desfavorável no momento da passagem do satélite. Já o mapeamento realizado com imagens dos dois satélites apresentou melhores resultados, quando comparados com a imagem Landsat-5/TM.

Apesar da diferença de idade dos satélites Terra (lançado em 18/12/1999) e Aqua (lançado em 04/05/2002), e da diferença entre os horários de passagem, 10h30 e 13h30, respectivamente, a utilização conjunta dos produtos de 16 dias NDVI/MOD13Q1 e NDVI/MYD13Q1 se mostrou útil. A disponibilização intercala destes produtos permite que o espaçamento entre suas datas seja de oito dias, aumentando o detalhamento dos perfis multi-temporais, construídos a partir destas duas bases, e melhorado os resultados do método de filtragem da série temporal. O elevado nível de correções conduzidas na geração dos produtos MODIS é fator preponderante na compatibilização das informações entre os produtos. Apesar deste estudo não ter aplicado nenhum método de intercalibração entre as imagens destes

sensores, os resultados apresentados mostraram o potencial de sua utilização combinada, especialmente em regiões com elevada e frequente cobertura de nuvens.

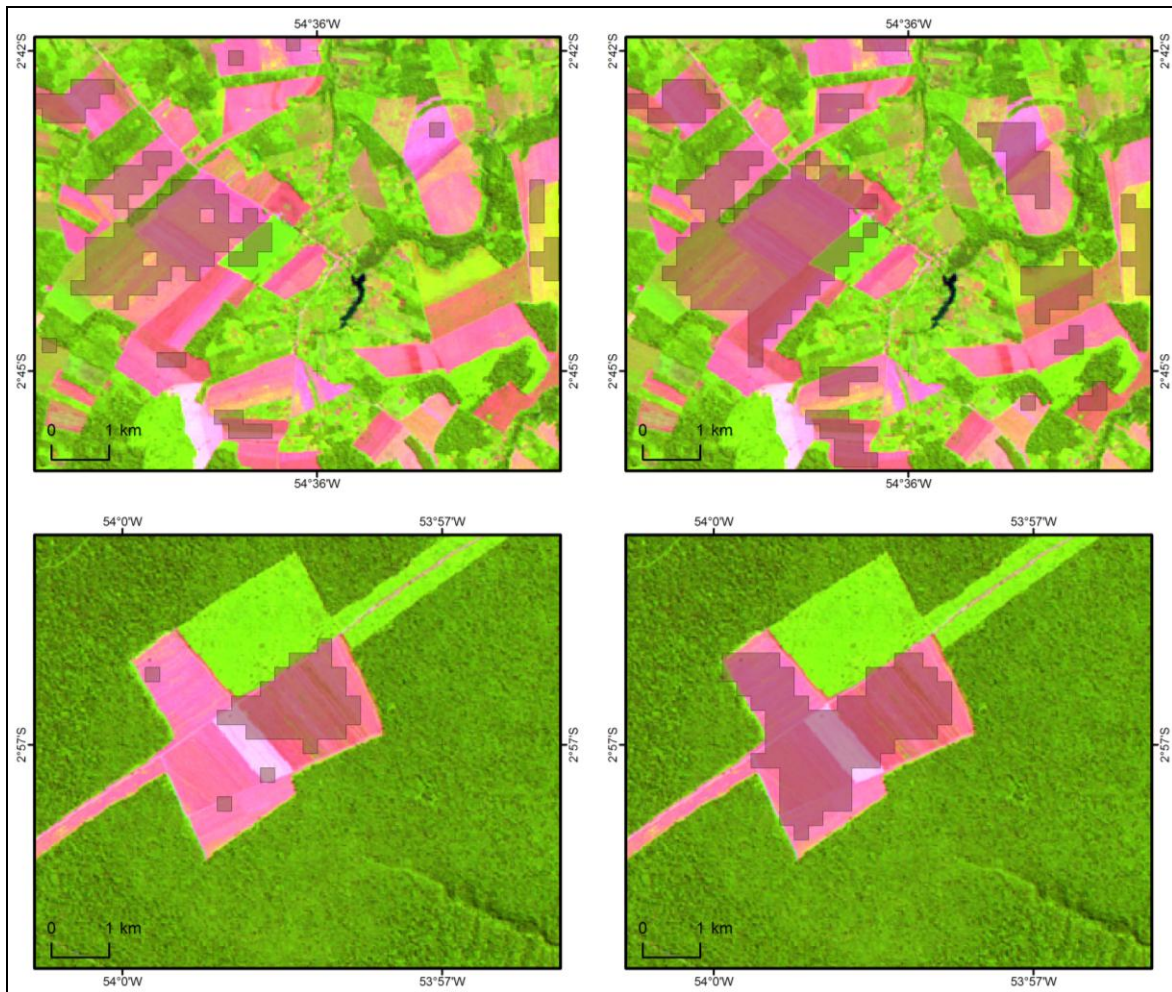


Figura 4. Comparação visual dos mapeamentos da agricultura anual conduzidos com dados de NDVI do satélite Terra (à esquerda) e da combinação de dados dos satélites Terra e Aqua (à direita). Imagem de fundo: Landsat-5/TM, composição RGB-543, da região do polo agrícola de Santarém-PA.

4. Conclusões

Apesar das diferenças de idade e de horários de passagem dos satélites Terra e Aqua, os resultados do uso conjunto dos produtos NDVI/MOD13Q1 e NDVI/MYD13Q1, provenientes destas duas plataformas, respectivamente, se mostrou útil em aplicações envolvendo o monitoramento agrícola. A análise visual de perfis temporais do NDVI gerados com o uso conjunto destes dois produtos mostrou melhoria significativa na representação dos ciclos agrícolas. Os resultados também mostraram vantagens no uso conjunto destes dois produtos na atividade de mapeamento da agricultura em uma região com frequente cobertura de nuvens.

Referências Bibliográficas

Bradley, B.A.; Jacob, R.W.; Hermance, J.F.; Mustard, J.F. A curve fitting procedure to derive inter-annual phenologies from time series of noisy satellite NDVI data. **Remote Sensing of Environment**, v. 106, p. 137-145, 2007.

Coutinho, A.C.; Esquerdo, J.C.D.M.; Oliveira, L.S.; Lanza, D.A. Avaliação de metodologia para o mapeamento e monitoramento da agricultura brasileira. In: 4º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2012, Bonito-MS. **Anais...** Brasília-DF: Embrapa, 2012. p. 364-372.

Esquerdo, J. C. D. M.; Antunes, J. F. G.; Andrade, J. C. Desenvolvimento do Banco de Produtos MODIS na Base Estadual Brasileira. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15., 2011, Curitiba-PR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011, p. 7596-7602.

Fernandes, J.L. **Monitoramento da cultura de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo por meio de imagens SPOT Vegetation e dados meteorológicos.** 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. 2009.

Holben, B.N. Characteristics of maximum value composite images from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, p.1417-1435, 1986.

Jakubauskas, M.E.; Legates, D.R.; Kastens, J.H. Crop identification using harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 37, p. 127-139, 2002.

Jönsson, P.; Eklundh, L. Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 40, n. 8, p. 1824-1832, 2002.

Kastens, J.H.; Kastens, T.L.; Kastens, D.L.A.; Price, K.P.; Martinko, E.A.; Lee, R.Y. Image masking for crop yield forecasting using AVHRR NDVI time series imagery classification in the U.S. Central Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, v. 99, p. 341-356, 2005.

Lu, D.; Mausel, P.; Brondízio, E.; Moran, E. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 12, p. 2365-2407, 2004.

Ma, M.; Veroustraete, F. Reconstructing pathfinder AVHRR land NDVI time-series data for the Northwest of China. **Advances in Space Research**, v. 37, p. 835-840, 2006.

Roerink, G. J.; Menenti, M.; Verhoef, W. Reconstructing cloudfree NDVI composites using Fourier analysis of time series. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, n. 9, p.1911-1917, 2000.

Wardlow, B.D.; Egbert, S.L.; Kastens, J.H. Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the U.S. Central Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, v. 108, p. 290-310, 2007.

Wardlow, B.D.; Kastens, J.H.; Egbert, S.L. Using USDA Crop Progress Data and MODIS Time-Series NDVI for Regional-Scale Evaluation of Greenup Onset Date. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 72, n. 11, p. 1225-1234, 2006.