

Avaliação de metodologia para o mapeamento e monitoramento da agricultura brasileira

Alexandre Camargo Coutinho¹
Júlio César Dalla Mora Esquerdo¹
Laís Silva de Oliveira²
Daniela Aparecida Lanza³

¹ Embrapa Informática Agropecuária
Av. André Toselo, 209 - Caixa Postal 6041
13083-886 - Campinas, SP, Brasil
{alex, julio}@cnptia.embrapa.br

² Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP
Av. Candido Rondon, 501
13083-875 - Campinas, SP, Brasil
lais.oliveira@feagri.unicamp.br

³ Instituto de Geociências - UNICAMP
R. João Pandiá Calógeras, 51
13083-870 - Campinas, SP, Brasil
daniela.lanza@ige.unicamp.br

Resumo. Este artigo apresenta os resultados do desenvolvimento e aplicação de uma metodologia para sistematização da atividade de mapeamento e monitoramento de áreas de agricultura anual, potencialmente aplicável para todo o território nacional. São várias as origens e motivações das demandas por informações referentes à dinâmica, tanto em termos espaciais, quanto temporais, da atividade agrícola nacional. Estimativas de safras anuais, precificação, impactos ambientais e formulação de políticas públicas para o setor agrícola são apenas algumas das mais evidentes atividades relacionadas e beneficiadas pela geração de dados mais confiáveis e sincronizados, temporalmente, com o desenvolvimento fenológico das culturas no campo. Apesar das limitações enfrentadas pela resolução espacial de 250m das imagens do índice de vegetação do satélite MODIS, seu potencial, baseado na aquisição e disponibilização de imagens diárias, ainda não se esgotou. Neste trabalho, foi desenvolvida e testada uma metodologia, baseada no comportamento espectro-temporal da série anual, para identificação delimitação, mapeamento e monitoramento da atividade agrícola no estado do Mato Grosso do Sul. Os resultados obtidos com a sua aplicação em diferentes regiões e realidades fundiárias, estão servindo para sua validação e direcionamento do seu aperfeiçoamento. A avaliação dos resultados obtidos com a aplicação do método mostrou que o mapeamento da agricultura anual obteve 82,2% de concordância com o mapa oficial do uso e cobertura da terra, realizado com base em interpretações visuais de imagens de média e alta resolução espacial, do ano de 2007.

Palavras-chave: monitoramento agrícola, MODIS, índice de vegetação, séries temporais.

Abstract. This article presents the results of the development and implementation of a methodology for automating the activity of mapping and monitoring the annual crops areas, potentially applicable to the full national territory of Brazil. There are many origins and motivations demanding information about spatial and temporal dynamic of the national agricultural activity. Estimates of annual crops, pricing, environmental impacts and formulation of public policies for the agricultural sector are just some of the most obvious activities related to the benefit of the generation of more reliable data and synchronized temporally with the development of agricultural activities in the field. Despite the limitations faced by the spatial resolution of 250m of the images of vegetation index from MODIS satellite, its potential, based on the acquisition and provision of daily images has not been exhausted. In this paper, we develop and test a methodology, based on the temporal spectrum behavior in the annual series, to identify annual boundaries and monitor the agricultural activity at Mato Grosso do Sul State. The results, obtained with its application in different regions and backgrounds land, are serving to validate and improve this methodology. The numerical results obtained by applying the method showed that the mapping of annual crops achieved a 82.2% of agreement with the 2007 official State map of land cover and land use, performed with visual interpretation of medium and high spatial resolution images.

Key-words: agricultural monitoring, MODIS, vegetation index, time-series.

1. Introdução

Conhecer e monitorar a dinâmica espaço-temporal da agricultura é uma questão estratégica para o país, uma vez que o agronegócio brasileiro corresponde a aproximadamente 25% do PIB nacional, Cepea (2010). Além disso, a dinâmica da agricultura interfere de forma determinante em questões tais como o volume e a composição da produção agrícola nacional, os impactos diretos e indiretos sobre o meio ambiente, o desenvolvimento social e humano e a definição de políticas públicas. Percebendo a importância estratégica dessas questões para o Brasil, várias instituições nacionais têm atuado, há quase duas décadas, no desenvolvimento de métodos e ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, com o objetivo de viabilizar o mapeamento e monitoramento sistemático da atividade agrícola, em toda a extensão do território nacional.

Embora algumas metodologias tenham obtido relativo êxito na utilização de sensores remotos para promover estimativas da área utilizada pela atividade agrícola, ainda persistem importantes desafios a serem vencidos. Estes desafios envolvem, principalmente, a redução do tempo e dos custos para a execução do cálculo da área cultivada em grandes extensões, dispendidos com a adoção de técnicas convencionais de classificação de imagem que praticamente inviabilizam a produção sincrônica das informações durante o período de desenvolvimento fenológico das culturas no campo Fontana et al. (2000).

Embora o trabalho de Victoria et al. (2009) tenha apontado problemas para mapear diferentes fisionomias de cerrado com um procedimento baseado na análise de Fourier, algumas das possibilidades tecnológicas e metodológicas mais promissoras têm sido estruturadas com a análise estatística de séries temporais de imagens do índice de vegetação e vêm demonstrando ser uma alternativa para execução do mapeamento e monitoramento sistemático do desenvolvimento fenológico da vegetação brasileira, produzindo resultados com boa precisão e, ainda, com menor custo operacional do que as técnicas convencionais FAO, (1998); Brown et al. (2007); Coutinho et al. (2011). Além disto, essa alternativa possibilita a execução de análises sistemáticas compatíveis com as escalas regional e nacional, adequadas ao monitoramento da dinâmica da agricultura e às demandas específicas do mercado nacional e internacional.

Este trabalho avaliou o desempenho de um método de mapeamento da agricultura

anual, com o uso de imagens de índice de vegetação de imagens MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), para a geração da máscara desta classe temática, correspondente à totalidade dos polígonos, e estimou a acurácia dos resultados obtidos, confrontando-os com o mapa de uso e cobertura da terra do estado do Mato Grosso do Sul, Silva et al. (2011) e com imagens de média e alta resolução espacial.

2. Objetivo

Desenvolver e testar uma metodologia baseada na análise de séries temporais de índices de vegetação do satélite MODIS, para a identificação, mapeamento e monitoramento sistemático da atividade agrícola anual no território nacional, tomando-se como referência o estado do Mato Grosso do Sul.

3. Material e métodos

A metodologia proposta para a geração da máscara das áreas agrícolas é baseada no uso de imagens de sensoriamento remoto orbital com elevada resolução temporal. Tal metodologia apresenta uma abordagem de análise conjugando características espectrais e temporais, ou seja, a detecção leva em conta o comportamento espectral das culturas ao longo de ciclos produtivos, ou de parte deles. Esta nova abordagem se diferencia dos processamentos convencionais para mapeamento do uso e cobertura da terra, por não se basear em informações obtidas da superfície terrestre em uma única passagem do sensor, ou seja, em um único momento do desenvolvimento fenológico das culturas no campo.

A abordagem espectro-temporal tem sido apontada por vários grupos de especialistas como sendo a mais apropriada para monitorar e mapear culturas agrícolas, Jönsson e Eklungh, (2002); Rocha (2006); Lu e Weng (2007). Não se trata de analisar várias imagens de datas sequenciais de forma independente, mas sim de interpretar e caracterizar o comportamento dos pixels ao longo da série temporal, com ênfase nas variações espectrais dos mesmos. Dessa forma, além de minimizar problemas relacionados à ocorrência de nuvens e variações da qualidade atmosférica, é possível identificar a dinâmica da vegetação em distintas escalas temporais, abrangendo a caracterização de ciclos fenológicos para acompanhar questões relacionadas à fitossanidade das culturas, e as variações desses ciclos ao longo de vários anos, para caracterizar, por exemplo, a dinâmica das transições entre diferentes usos e coberturas das terras Bradley et al. (2008).

Neste estudo, a variável espectral adotada foi o índice de vegetação NDVI (*Normalized Vegetation Difference Index*). O NDVI, proposto por Rouse et al. (1973), é o mais tradicionalmente adotado para a caracterização da vegetação e é utilizado como uma medida semi-quantitativa da densidade e do vigor vegetativo. Vários trabalhos comprovam sua alta correlação com a fitomassa, Justice e Hiernaux (1986) e índice de área foliar, Holben et al.(1980); Price (1993), sendo um dos índices mais indicados para promover o monitoramento agrícola.

O índice de vegetação NDVI foi obtido a partir de composições máximas de 16 dias, geradas a partir de imagens diárias do sensor MODIS, cuja resolução espacial é de 250m. Os produtos originais são disponibilizados gratuitamente pelo *Land Processes*

Distributed Active Archive Center, um website mantido pela NASA, pré-processados, mosaicados, recortados e disponibilizados, em bases de dados estaduais, pelo website da Embrapa Informática Agropecuária, Esquerdo et al. (2011).

Diferentes porções da superfície terrestre, no caso correspondentes aos pixels das imagens MODIS, apresentam perfis espectro-temporais distintos (**Figura 1**), determinados por fatores tais como a presença ou ausência de cobertura vegetal, volume, qualidade e estágio fenológico da fitomassa, sazonalidade climática entre outros.

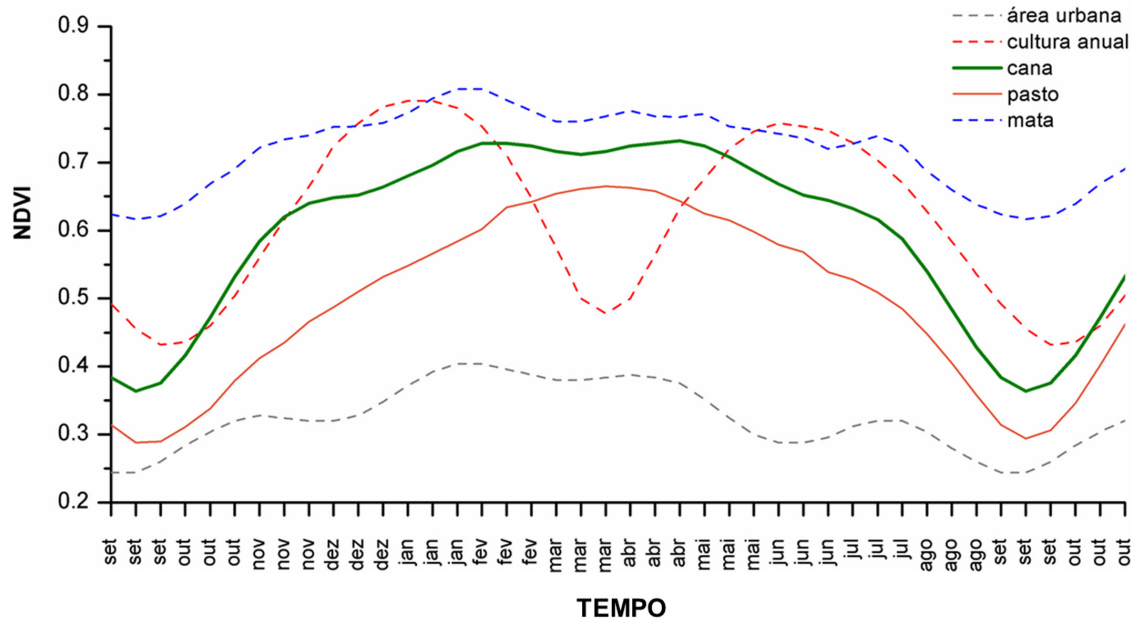


Figura 1. Perfis espectro-temporais do índice de vegetação de diferentes alvos. Fonte: Fernandes (2009).

No caso das culturas agrícolas, há um comportamento temporal típico dos índices de vegetação, que apresentam baixos valores no início do ciclo, quando a quantidade de fitomassa é escassa e a resposta espectral é fundamentalmente influenciada pelo solo. À medida que a cultura se desenvolve e a produção de fitomassa aumenta, os índices de vegetação respondem positivamente com maiores valores, até alcançarem o pico vegetativo. Com o início da senescência e a colheita, no caso das culturas anuais, os valores dos índices decrescem, até alcançarem patamares próximos aos encontrados no início do cultivo.

Em função da disponibilidade de mapas digitais da cobertura vegetal e uso da terra do estado do Mato Grosso do Sul, correspondente ao ano de 2007, Silva et al.(2011), a metodologia de classificação das culturas agrícolas anuais proposta neste trabalho considerou a variação da amplitude da diferença entre os valores máximo e mínimo do NDVI, obtidos ao longo do ciclo produtivo da safra 2006/2007 e, portanto, avaliou o comportamento dos valores situados entre os meses de setembro de 2006 e outubro de 2007 (**Figura 2**).

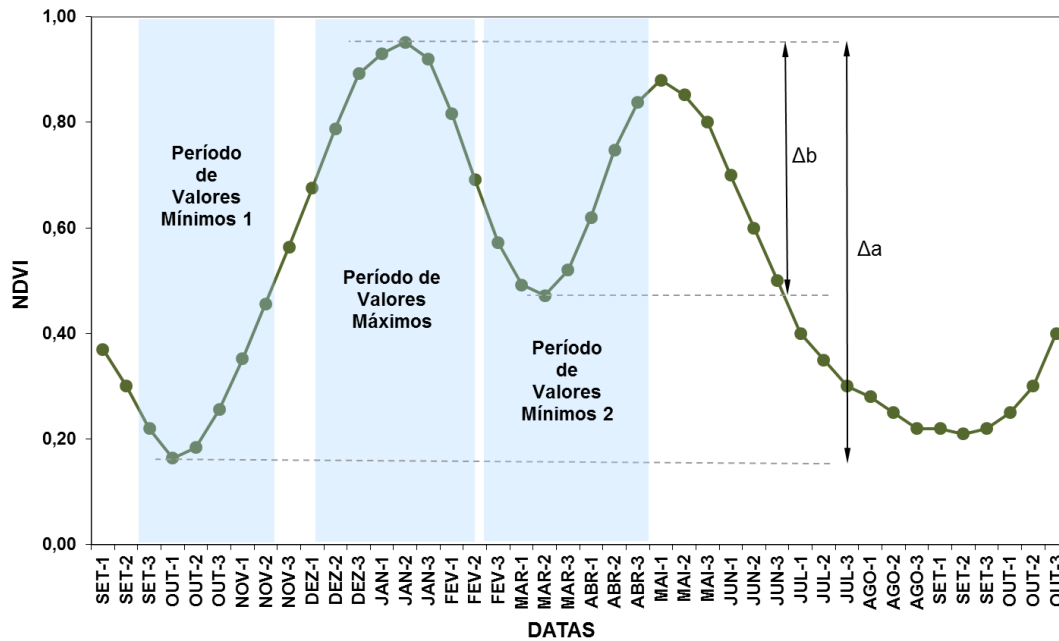


Figura 2. Exemplo de perfil do NDVI de um pixel de agricultura anual, com dois ciclos de produção, mostrando as diferenças (Δa e Δb) entre o valor máximo e os valores mínimos, adotadas para classificar essa atividade nas imagens MODIS.

Para obtenção desses valores, foram gerados gráficos dos perfis temporais do índice de vegetação em regiões definidas como áreas de agricultura anual por Silva et al. (2011), de forma a descrever o comportamento temporal da fitomassa ao longo do ciclo produtivo e conduzir análises e inferências preliminares relacionadas às diferentes fases fenológicas da vegetação em cada uma delas. Com base nas variações espectrais descritas nesses gráficos, foram determinados os melhores períodos para obtenção dos valores máximos e mínimos dos índices de vegetação, para o cálculo dos valores da diferença entre eles.

Como pode ser observado na **Figura 1**, o maior problema de separação de classes com essa metodologia foi enfrentado na discriminação das classes agricultura anual e pastagem. Embora as duas classes tenham apresentado valores de diferença significativamente iguais, entre o máximo e o mínimo para todo o período, foi possível promover a sua separação com a identificação e delimitação dos períodos onde esses valores deveriam ocorrer (**Figura 2**).

Dessa forma, foram consideradas as composições entre setembro e novembro para a determinação dos valores de mínimos-1, fevereiro e abril para determinação dos valores de mínimos-2 e as composições entre dezembro e fevereiro para a determinação dos valores máximos. Os valores limiares de Δa e Δb considerados nesta análise foram de 0,50 e 0,45, respectivamente.

Evidentemente, os períodos e os valores máximos e mínimos variam anualmente de região para região, em função de alterações na sazonalidade climática, demandando uma análise prévia e detalhada de áreas amostrais em vários pontos da região de estudo. Todo esse processo para a geração da máscara da agricultura anual foi executado a partir de rotinas desenvolvidas em linguagem IDL (*Interactive Data Language*).

Finalmente, para a validação dos resultados obtidos, foram utilizados o mapa de cobertura vegetal e uso da terra do estado do Mato Grosso do Sul e um conjunto de imagens

CBERS-2B/CCD, adquiridas no mesmo período. Sobre a área total da agricultura anual, correspondente aos 11.626 polígonos definidos pela união da máscara de agricultura anual gerada com o mapa oficial do estado, foram distribuídos 360 pontos, aleatoriamente, para promover uma validação com um nível de confiança de 95% e um intervalo de 5%.

Em cada um dos 360 pontos selecionados, foi observada a ocorrência, ou não, da classe agricultura anual na máscara gerada, no mapa de cobertura vegetal e uso da terra e, finalmente, confirmada a classificação com apoio das imagens de satélite disponíveis, sobretudo nos casos onde houve divergência entre os dois produtos. Esse protocolo serviu para cálculo das frequências similaridade dos mapeamentos e de ocorrência de erros de omissão e inclusão.

4. Resultados e Discussão

Como resultado do processo de validação dos 360 pontos sorteados aleatoriamente, foi confirmada a classificação da agricultura anual em 296 pontos (82,2%). Além disso, houve a constatação de erros de omissão em 34 pontos (9,4%), nos quais a metodologia adotada não foi capaz de identificar a presença da agricultura anual, confirmada analogicamente pelas imagens de satélite de maior resolução espacial e, também, erros de inclusão em outros 30 pontos (8,3%), nos quais a classificação da agricultura anual com as imagens MODIS não foi confirmada, nem pelo mapa de vegetação e uso da terra, nem pelas imagens de satélite de maior resolução espacial adotadas no protocolo de validação.

Os erros de omissão foram prioritariamente observados em polígonos de menor dimensão, nos quais a contaminação dos pixels, causada pelos diferentes usos e coberturas das áreas adjacentes, promoveu uma mistura dos valores espectrais e, conseqüentemente, descaracterizou o comportamento espectro-temporal típico da agricultura anual. Esse tem sido o maior problema enfrentado para o mapeamento do uso e cobertura da terra com imagens de índice de vegetação do MODIS, sobretudo em regiões nas quais a estrutura fundiária e o padrão de repartição espacial das atividades agrícolas definem um mosaico de ocupação muito heterogêneo e recortado.

A **Figura 3** ilustra outra componente do problema associado à resolução espacial das imagens MODIS que é a delimitação dos polígonos da agricultura anual, onde essa atividade foi corretamente detectada. Novamente, percebe-se uma generalização incompatível com a execução de abordagens em escalas mais detalhadas que 1:250.000.

A **Figura 4** apresenta o mapa da agricultura anual no estado do Mato Grosso do Sul, obtido pela metodologia aqui proposta, no qual se pode observar que essa atividade está concentrada em quatro regiões do estado. A maior delas está localizada na microrregião de Dourados, no centro-sul, predominantemente na bacia do Rio Paraná. No centro do estado a agricultura está concentrada ao redor do município de São Gabriel D'Oeste, já na bacia do Rio Paraguai, e ao norte a atividade está concentrada nos municípios de Sonora (a oeste) e Chapadão do Sul, (a leste).

Considerando os limites das principais bacias hidrográficas do estado do Mato Grosso do Sul, a frequência relativa da ocorrência da agricultura anual na região delimitada pela Bacia do Alto Paraguai foi de aproximadamente 20%, com menos de 1% do total recaindo sobre a Planície do Pantanal, enquanto na Bacia do Paraná foi de 80%, como ilustra a **Figura 4**.

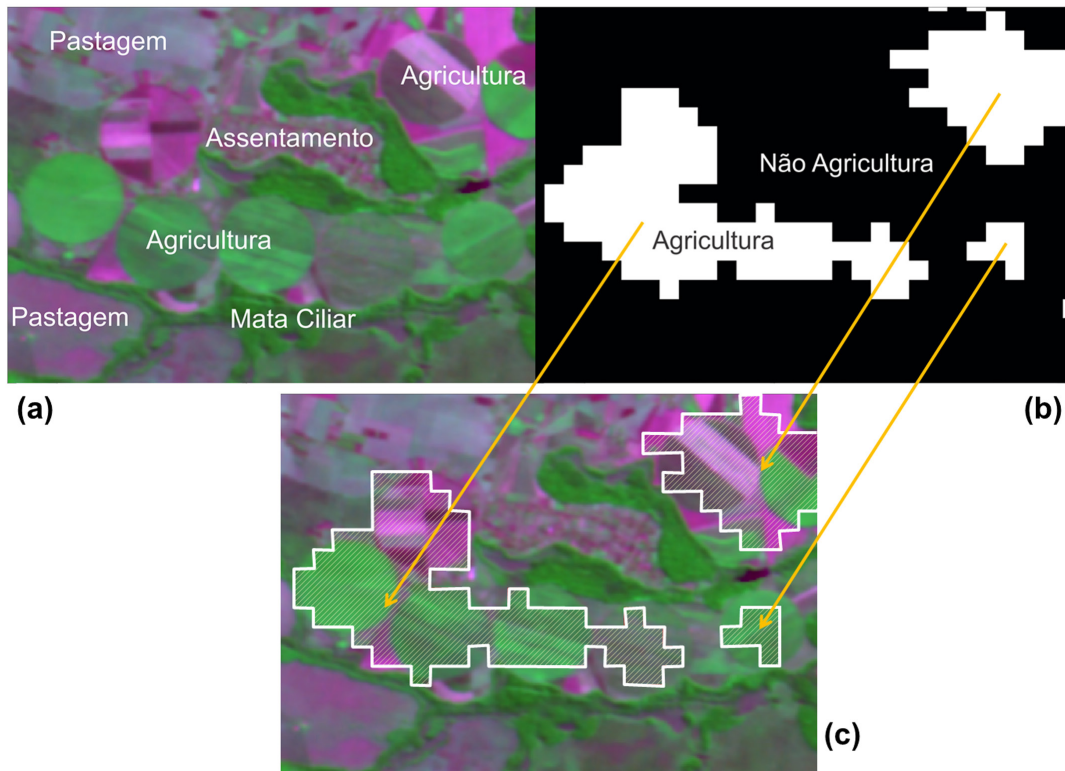


Figura 3. Imagem CBERS ilustrando algumas categorias de uso presentes no mosaico de uso e cobertura da terra (a), Máscara da agricultura gerada com as imagens MODIS (b) e sobreposição da máscara à imagem CBERS que permitiu a execução da validação (c).

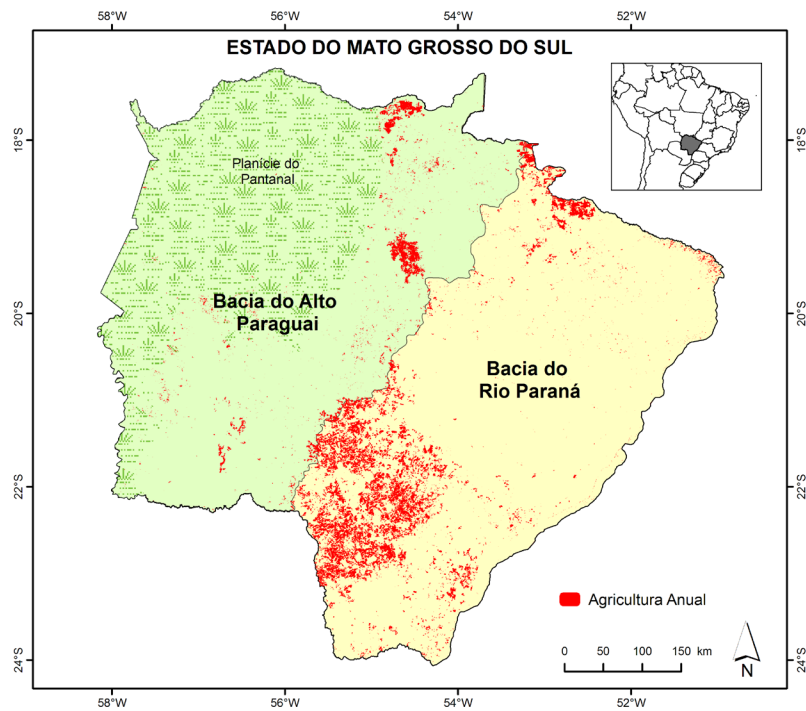


Figura 4. Mapa do Estado do Mato Grosso do Sul, mostrando a distribuição espacial da área utilizada pela agricultura anual para a produção da safra 2006/2007.

Apesar da limitação da resolução espacial mostrada na **Figura 3**, os bons resultados numéricos obtidos pela validação e uma avaliação mais contextual, sugerem que o método de mapeamento da agricultura anual, com base nos índices de vegetação das imagens MODIS, apresenta algumas vantagens importantes para sua execução em grandes extensões do território nacional, quando comparado aos métodos convencionais, baseados em imagens de alta resolução espacial, tais como a redução do volume de dados, dos custos e do tempo de processamento. Além disso, nas abordagens, estadual (**Figura 4**) e nacional, a resolução espacial dessas imagens tem se mostrado compatível com a escala cartográfica exigida.

A possibilidade de executar mapeamentos sistemáticos para detecção de tendências e execução de modelagens da dinâmica espacial da agricultura anual oferece novas perspectivas para apoiar a atuação de instituições e agentes, governamentais e privados, ligados à agricultura e ao agronegócio, sobretudo em questões relacionadas à formulação e monitoramento de políticas públicas e de variáveis de mercado.

5. Conclusões e Sugestões

Mesmo com as limitações percebidas, impostas pela resolução espacial de 250m das imagens do MODIS, existe um potencial de uso ainda não plenamente explorado, sobretudo no que diz respeito às atividades de mapeamento e monitoramento sistemático do uso e cobertura das terras para grandes porções territoriais. A variada heterogeneidade da expressão territorial da agricultura brasileira, associada à sua acelerada dinâmica, tanto no espaço quanto no tempo, configuram bons exemplos para o desenvolvimento e teste de novas abordagens metodológicas e ferramentas de análise de objetos espacialmente explícitos.

Apresentando custos, tanto financeiros quanto operacionais, comparativamente baixos, sobretudo se considerarmos os métodos convencionais de análise de imagens de satélite, a metodologia desenvolvida e testada mostrou ser bastante competitiva e satisfatoriamente eficiente e eficaz. Ainda persiste a necessidade de desenvolvimento e teste dessa abordagem espectro-temporal, para detectar necessidades de ajustes, avaliação e confirmação de seu bom desempenho, sobretudo, em outras regiões e contextos agrícolas do território nacional.

6. Referências

Bradley, B.A.; Egbert, S.L. Large-area crop mapping using time-series MODIS 250 m NDVI data: an assessment for the U.S. Central Great Plains. **Remote Sensing of Environment**. v.112, p.1096-1116, 2008.

Brown, J.C.; Jepson, E.W.; Kastens, J.H.; Wardlow, B.D.; Lomas, J.M.; Price, K.P. Multitemporal, Moderate-Spatial-Resolution Remote Sensing of Modern Agricultural Production and Land Modification in the Brazilian Amazon. **GIScience & Remote Sensing**, Birmingham, EUA, v.4, n.2, p.117-148, June 1, 2007.

Cepea. **PIB do agronegócio**. 2010 Disponível em: <[http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/other/Cepea_PIB_BR %201994%202008.xls](http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/other/Cepea_PIB_BR%201994%202008.xls)>. Acesso em 07 mai. 2010.

Coutinho, A.C.; Victoria, D. de C.; Paz, A.R. da; Brown, J.C.; Kastens, J. Dinâmica da agricultura no polo de produção de soja do Estado de Mato Grosso. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., Curitiba, **Anais...**, São José dos Campos: Inpe, p.6128-6135, 2011.

Esquerdo, J.C.D.M.; Antunes, J.F.G.; Andrade, J.C. de. Desenvolvimento do banco de produtos MODIS na base estadual brasileira. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15., Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: Inpe, p. 7596-7602, 2011.

Fao – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Multiple frame agricultural surveys: agricultural survey programs based on area frame or dual frame (area and list) sample design. (**FAO, Statistical Development Series, 10**). Rome, v.2, 242p., 1998.

Fernandes, J.L. Monitoramento da cultura de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo por meio de imagens SPOT Vegetation e dados meteorológicos. **Dissertação** Mestrado-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 120p., 2009

Fontana, D.C.; Weber, E.; Ducati, J.; Figueiredo, D.C; Berlato, M.A.; Bergamaschi, H. A case study for crop monitoring and harvest forecast in south Brazil. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, 28., 2000, Cape Town. **Proceedings...** ICRSE, p.91-94, 2000.

Holben, B.N.; TUCKER, C.J.; CHENG-JENG, F. Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.46, n.5, p.651-656, 1980.

Jönsson, P.; Eklund, 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.

Justice, C.O.; Hiernaux, P.H.Y. Monitoring the grasslands of the Sahel using NOAA AVHRR data: Niger, 1983. **International Journal of Remote Sensing**, v.7, n.11, p.1475-1498, 1986.

LU, D.; WENG, Q. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. **International Journal of Remote Sensing**, 28(5), 2007.

Price, J.C. Estimating leaf area index from satellite data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 31, p.727-734, 1993.

Rocha, J.V. Crop monitoring in South America. **Bulletin**. n.7/2006 (August, 2006). Ispra, Italy: JRC (Joint Research Centre), 2006.

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3., Washington, 1973. **Proceedings...** Washington: NASA, 1974, v.1, p.309-317, 1973.

Victoria, D. de C.; Andrade, R.G.; Paz, A.R. da. Série temporal de imagens EVI/MODIS para discriminação de formações vegetais no Pantanal. **Geografia**, v.34, Número Especial, dezembro, p.721-730, 2009.

Silva, J. dos S.V.; Pott, A.; Abdon, M. de M.; Pott, V.J.; Santos, K.R dos. **Cobertura vegetal e uso da terra do estado de Mato Grosso do Sul**. Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, 64p. 2011.