

## Uso de perfis multi-tempoais de NDVI/AVHRR no acompanhamento da cultura da soja no oeste do Paraná

Júlio César Dalla Mora Esquerdo <sup>1</sup>

Jurandir Zullo Júnior <sup>2</sup>

João Francisco Gonçalves Antunes <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Informática Agropecuária  
Caixa Postal 6041 – 13083-000 – Campinas – SP, Brasil  
{julio, joaof}@cnptia.embrapa.br

<sup>2</sup> Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura – CEPAGRI  
Cidade Universitária "Zeferino Vaz" – 13083-970 – Campinas – SP, Brasil  
jurandir@cpa.unicamp.br

**Abstract:** In Brazil there is a need for less subjective, more efficient and less expensive methodologies for crop yield forecast. In this study, time series of NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) data, derived from AVHRR/NOAA (Advanced Very High Resolution Radiometer/National Oceanic and Atmospheric Administration) imagery, were used for the soybean crop monitoring in the West of Paraná in two cropping seasons (2002/2003 and 2003/2004). NDVI temporal profiles describing the biomass condition of crops throughout the phenological stages were generated in 18 municipalities. Quantitative parameters were extracted from the temporal profiles, based on the full period or partial periods of the phenological cycle. Linear regressions between the quantitative parameters and the municipal average yields in both seasons have shown that the most significant correlations occurred when the full period was considered (from sowing to the harvest). When considering periods prior to harvest, the correlations showed a tendency to decline. The NDVI monitoring during these two cropping seasons, which presented different weather conditions, could explain great part of the soybean yield variability at the municipal level. Results showed the potential of the NDVI time-series analysis in generating parameters to be employed in agrometeorological-spectral models for soybean yield estimations.

**Palavras-chave:** remote sensing, crop monitoring, temporal profiles, sensoriamento remoto, monitoramento agrícola, perfis temporais.

### 1. Introdução

Os sistemas de previsão de safras são importantes para orientar os produtores nas questões ligadas ao plantio, auxiliar as agroindústrias no setor operacional e de comercialização e indicar ao governo números confiáveis, que permitam sua intervenção para reduzir impactos negativos na economia ou aproveitar antecipadamente os benefícios de uma situação favorável.

No Brasil, métodos alternativos aos tradicionalmente utilizados pelas agências governamentais vêm sendo estudados para reduzir a subjetividade e o custo das estimativas de safra. Neste contexto, o sensoriamento remoto orbital vem sendo proposto como fonte alternativa de informações regionais e locais.

Um importante sensor é o *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), a bordo da série de satélites da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Sua principal característica é o curto tempo de revisita, o que possibilita a observação da dinâmica espectral das culturas agrícolas. Embora já estejam disponíveis sensores de maior qualidade espacial e com curto tempo de revisita, como o *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) e o *Wide Field Imager* (WFI/CBERS), as imagens AVHRR/NOAA continuam sendo de grande uso, em função da disponibilidade de longas séries temporais de imagens pelo grande acervo histórico de dados NOAA no mundo todo.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1973), é um produto derivado de imagens espectrais. Amplamente utilizado ao longo de

vários anos, apresenta correlação com o índice de área foliar e a biomassa da vegetação, sendo um bom estimador desses parâmetros (Tucker, 1979; Price, 1993).

A aquisição periódica do NDVI permite gerar perfis temporais desse índice para cada local, descrevendo a condição de biomassa ao longo de todo o ciclo fenológico. A quantificação dos perfis pode gerar informações importantes a respeito do desenvolvimento das culturas (Hill e Donald, 2003), as quais podem alimentar modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade. A inclusão da variável espectral nos modelos de produtividade visa estimar parâmetros que não podem ser completamente representados em modelos agrometeorológicos (Rudorff e Batista, 1990).

Pouco são os trabalhos que exploraram o potencial dos parâmetros quantitativos do NDVI e sua inserção nos modelos agrometeorológicos. Assim, o objetivo deste estudo foi analisar perfis multi-temporais do NDVI extraídos de municípios produtores de soja do oeste do Paraná e verificar sua correlação com os dados de produtividade oficial. Para tanto, sistemas de processamento de imagens e de extração dos dados espectrais foram desenvolvidos para agilizar o processo de análise.

## 2. Material e Métodos

O estudo foi realizado na região oeste do Estado do Paraná, segundo maior produtor de soja do Brasil. Foram analisadas as safras dos anos 2002/2003 e 2003/2004, que apresentaram condições climáticas distintas, com diferentes níveis de produtividade alcançados, de acordo com as estatísticas oficiais. Cenas Landsat (223/77) foram utilizadas para delimitar as áreas produtoras de soja, para posterior análise temporal com as imagens AVHRR/NOAA. A Figura 1 ilustra um mapa com a região monitorada.

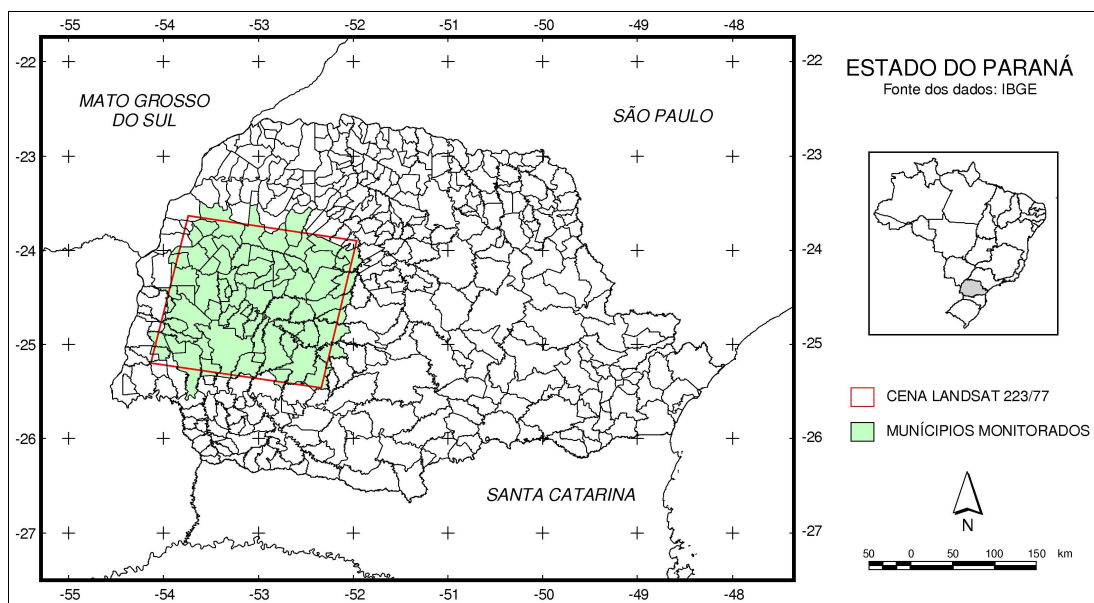


Figura 1. Região oeste do Estado do Paraná, coberta pela cena Landsat 223/77.

### 2.1. Processamento das imagens AVHRR/NOAA

As imagens NOAA foram obtidas do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI). Foram utilizadas 289 imagens brutas do satélite NOAA-17 (horário de passagem 13h30min GMT ou 10h30min no horário local), adquiridas entre os meses de outubro e abril dos dois anos-safra estudados. O processamento foi realizado por meio do sistema automático proposto por Esquerdo et al. (2006). A principal vantagem do sistema é método de georreferenciamento preciso, baseado nos algoritmos da

navegação indireta (Rosborough et al., 1994) e da coleta automática de pontos de controle pela técnica da Máxima Correlação Cruzada (Emery et al., 2003).

Um dos produtos gerados pelo sistema são as imagens de NDVI, cujas regiões com nuvens ou com ângulos de varredura excessivos foram mascaradas, seguindo as recomendações de Chen et al. (2003). Com as imagens diárias de NDVI, foram geradas composições quinzenais de máximo valor, de modo a minimizar o efeito das nuvens não mascaradas e reduzir a influência atmosférica (Holben, 1986).

## 2.2. Identificação e seleção das áreas produtoras de soja

Para a localização das áreas de soja foram utilizadas cenas Landsat TM e ETM+, adquiridas em datas ao longo do ciclo de produção, em cada ano-safra. Em cada data, foram conduzidas classificações supervisionadas, que mais tarde foram reunidas em uma única imagem. A avaliação da acurácia da classificação foi feita por meio de uma matriz de erros baseada em visitas de campo nos oito municípios produtores mais importantes da região, num trabalho conduzido pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). O índice Kappa alcançou valores superiores a 0,635 em todos os municípios, o que representou uma classificação “muito boa”, de acordo com os padrões estabelecidos por Landis e Koch (1977). Filtros de passa-baixas e técnicas de reamostragem foram utilizados para degradar a classificação e retirar áreas fragmentadas, de modo a selecionar as áreas mais representativas e minimizar a mistura espectral na análise no nível NOAA. Após esses tratamentos na máscara de soja, a análise ficou restrita a 18 municípios contendo um número mínimo de 10 áreas de soja grandes o suficiente para serem observadas nas imagens NOAA.

## 2.3. Sistema para extração dos dados e análise das correlações

Para agilizar o trabalho de extração de dados da série temporal foi desenvolvido, em linguagem IDL (*Interactive Data Language*), um sistema automático de extração de informações. O sistema funciona com três entradas: 1) a série multi-temporal de imagens; 2) arquivo vetorial com os limites municipais e; 3) as coordenadas geográficas das áreas agrícolas de interesse (extraídas da máscara de soja). Para cada município de entrada, o sistema verifica se existem áreas agrícolas de interesse em seu interior. Em caso positivo, o sistema extrai o perfil temporal dessas áreas, que mais tarde são exportadas em formato gráfico e em planilha. A Figura 2 ilustra a saída gráfica do município de Assis Chateaubriand, onde foram traçados 69 perfis temporais de pixels com soja. A linha em vermelho representa o perfil médio.

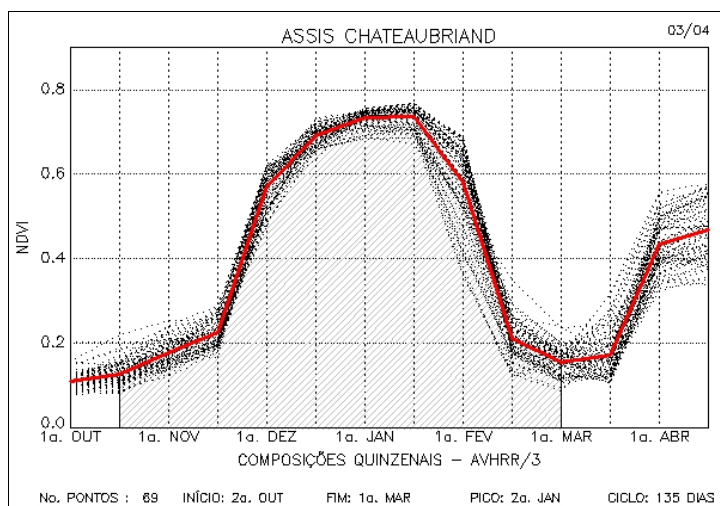


Figura 2. Perfis do NDVI de áreas de soja no município de Assis Chateaubriand.

Em cada município produtor de soja foram gerados perfis temporais médios do NDVI. Métodos de filtragem foram aplicados para eliminar variações inconsistentes nos perfis. Os perfis médios foram quantificados por meio dos parâmetros: área integrada sob a curva, somatório e valor médio, extraídos em seis períodos diferentes, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1. Períodos do ciclo onde foram extraídos os parâmetros quantitativos do perfil do NDVI.

Período	Descrição
1	Ciclo completo
2	Início até 15 dias antes da colheita
3	Início até 30 dias antes da colheita
4	Início até 45 dias antes da colheita
5	Início até 60 dias antes da colheita
6	Datas com NDVI maior que 0,30

### 3. Resultados e Discussão

As Figuras 3 e 4 mostram os gráficos das correlações mais significativas entre os parâmetros do NDVI e a produtividade municipal em 18 municípios nos seis períodos analisados nas safras 2002/2003 e 2003/2004, respectivamente. Na safra 2002/2003 (Figura 3), os melhores resultados foram encontrados durante o período 1, que considerou o ciclo produtivo inteiro, alcançando o coeficiente de correlação máximo de 0,78 ( $R^2=0,61$ ), no caso da área integrada. Foi observada uma tendência de queda das correlações quando considerados períodos que antecederam o término do ciclo. O período 6, que considerou somente as composições com valor de NDVI superior a 0,30, não apresentou boas correlações.

Na safra 2003/2004 (Figura 4) as correlações mais significativas também ocorreram no período 1, quando considerado todo o ciclo produtivo. Neste período, o parâmetro somatório alcançou o coeficiente de correlação de 0,84 ( $R^2=0,70$ ). Novamente, notou-se uma tendência de queda das correlações quando considerados períodos que antecederam o término da safra. Estes resultados divergem das afirmações de Mkhabela et al. (2005), que obtiveram menores correlações entre o NDVI e a produtividade quando considerado o ciclo produtivo inteiro, no caso do milho, e de Rasmussen (1992), no caso do milheto. Porém, os resultados confirmam os relatos de Labus et al. (2002) e Hochheim e Barber (1998), que obtiveram melhores correlações entre o NDVI e a produtividade do trigo quando considerado o período total do ciclo.

Os resultados alcançados nas duas safras são semelhantes, embora o comportamento agrometeorológico tenha sido bastante diferente. Na safra 2002/2003 o regime hídrico foi acima da média histórica, o que resultou em níveis elevados de produtividade. Na safra 2003/2004 houve déficit hídrico e a produtividade ficou abaixo da média histórica. Isto indica que o monitoramento do perfil temporal do NDVI nesses 18 municípios pôde explicar grande parte da variabilidade da produtividade da soja em uma safra com condições climáticas favoráveis e em outra com uma condição adversa.

A menor correlação obtida na safra de melhor desempenho hídrico (2002/2003) pode ser explicada pelo efeito da saturação do NDVI, que é sensível à variação da biomassa até um certo limite (Sellers, 1989). A ótima condição de biomassa obtida naquele ano não foi registrada pelo NDVI na sua totalidade.

As ferramentas de automação apresentadas neste estudo agilizaram as análises e podem ser aplicadas em estudos semelhantes envolvendo um número maior de safras e de municípios.

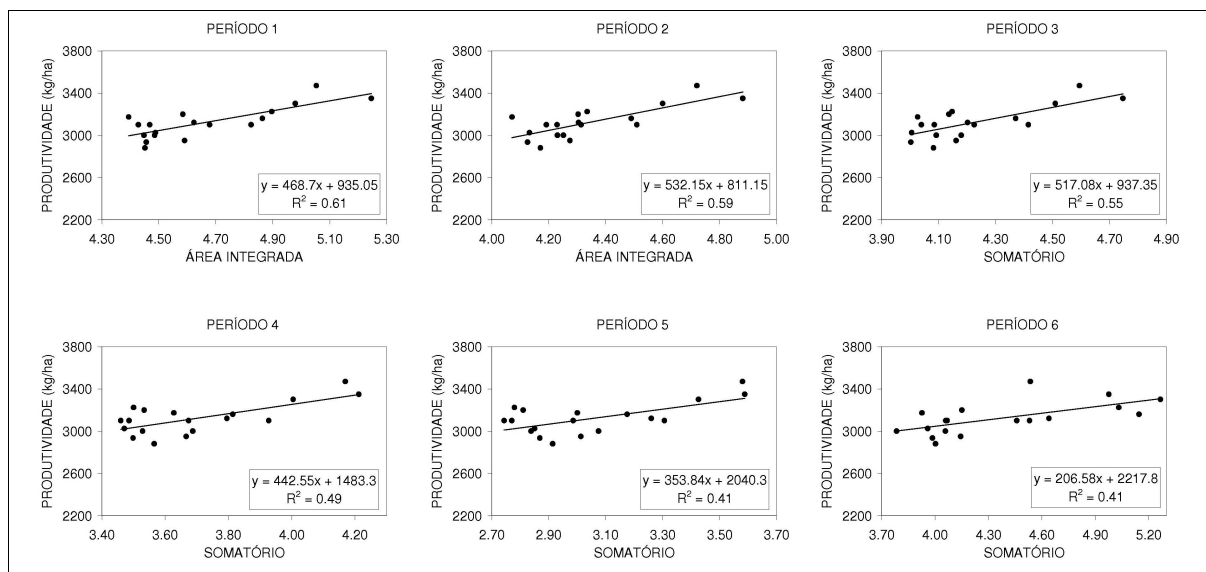


Figura 3. Correlações mais significativas entre os parâmetros do NDVI e a produtividade municipal nos seis períodos analisados, na safra 2002/2003.

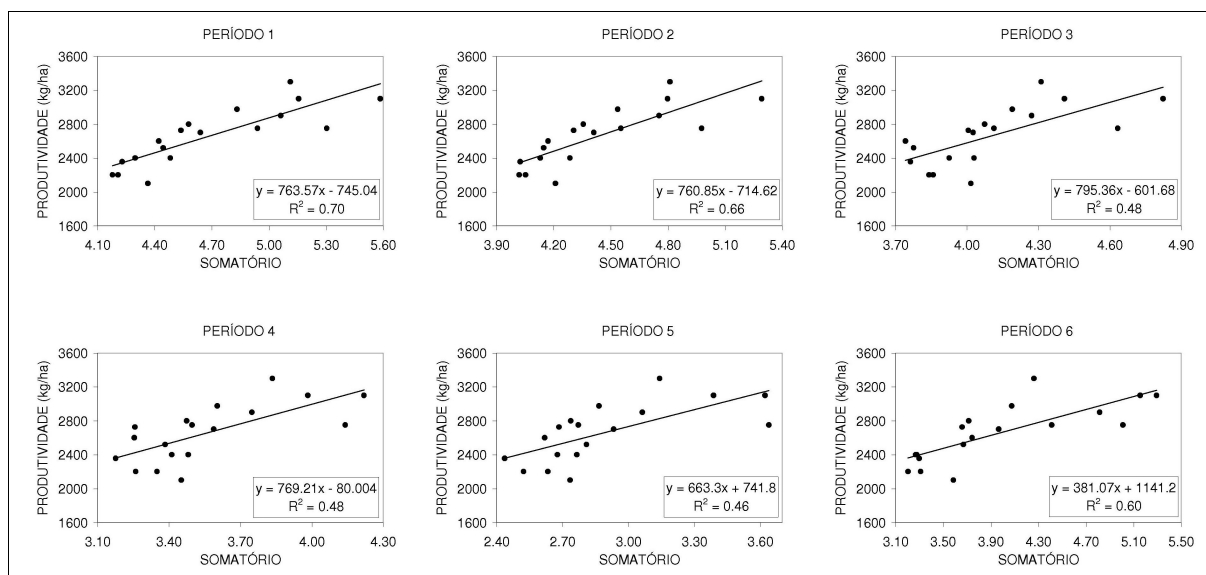


Figura 4. Correlações mais significativas entre os parâmetros do NDVI e a produtividade municipal nos seis períodos analisados, na safra 2002/2003.

#### 4. Conclusões

Os resultados mostraram o potencial das séries temporais de dados NOAA no monitoramento agrícola. Os parâmetros quantitativos extraídos dos perfis temporais do NDVI puderam explicar grande parte da variabilidade da produtividade da soja em anos com condições climáticas distintas. As correlações mais significativas ocorreram em períodos que englobaram todo o ciclo produtivo. Os parâmetros analisados neste estudo, principalmente área integrada sob o perfil e somatório, podem ser aplicados em sistemas de previsão de safras que façam uso de informações espectrais das culturas, além de dados agrometeorológicos.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem o Laboratório de Geoprocessamento da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) pelo infra-estrutura disponibilizada para a realização deste trabalho. Aos doutores Daniel G. Baldwin e William

Emery do *Colorado Center for Astrodynamics Research (CCAR/Universidade do Colorado)*, pelo repasse do programa computacional NAV. E agradecimentos à UNICAMP, PNUD, FINEP e CAPES pelo auxílio financeiro.

## **Referências Bibliográficas**

Chen, P.Y.; Srinivasan, R.; Fedosejevs G.; Kinity, J.R. Evaluating different NDVI composites techniques using NOAA-14 AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, n.17, p.3403-12, 2003.

Emery, W.J.; Baldwin, D.G.; Matthews, D. Maximum cross correlation automatic satellite image navigation and attitude corrections for open-ocean image navigation. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.41, n.1, 33-42, 2003.

Esquerdo, J. C. D. M.; Antunes, J. F. G.; Baldwin, D. G.; Emery, W.J.; Zullo Júnior An automatic system for AVHRR land surface product generation, **International Journal of Remote Sensing**, v.27, n.18, p.3925-3942, 2006.

Hill, M.J.; Donald, G.E. Estimating spatio-temporal patterns of agricultural productivity in fragmented landscapes using AVHRR NDVI time series. **Remote Sensing of Environment**, v.84, p.367-384, 2003.

Hochheim, K.P.; Barber, D.G. Spring wheat yield estimation for Western Canada using NOAA NDVI data. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v.24, n.1, 1998.

Holben, B.N. Characteristics of maximum value composite images from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v.7, n.11, p.1417-1435, 1986.

Labus, M.P.; Nielsen, G.A.; Lawrence, R.L.; Engel, R.; Long, D.S. Wheat yield estimates using multi-temporal NDVI satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.23 n.20, p.4169-4180, 2002.

Mkhabela, M.S.; Mkhabela, M.S.; Mashinini, N.N. Early maize yield forecasting in the four agro-ecological regions of Swaziland using NDVI data derived from NOAA's-AVHRR. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.129, p.1-9, 2005.

Rosborough, G.W.; Baldwin, D.G.; Emery, W.J. Precise AVHRR image navigation. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.32, n.3, p.644-657, 1994.

Rasmussen, M.S. Assessments of millet yields and production in northern Burkina Faso using integrated NDVI from AVHRR. **International Journal of Remote Sensing**, v.13, p.3431-3422, 1992.

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., 1973, Washington. **Proceedings...** Washington: NASA, 1974, v.1, p.309-317.

Ruddorff, B.F.T.; Batista, G.T. Yield estimation of sugarcane based on Agrometeorological-spectral models. **Remote Sensing of Environment**, v.33, n.3, p.183-192, 1990.

Sellers, P. J. Vegetation-canopy spectral reflectance and biophysical processes. In: Asrar, G. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: J. Wiley, 1989. cap.8, p.297-335.

Price, J.C. Estimating leaf area index from satellite data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.31, n.3, 727-734, 1993.

Tucker, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v.8, n.2, p.127-150, 1979.