

# Monitoramento agrícola usando análise harmônica de séries temporais de dados NDVI/AVHRR-NOAA

João Francisco Gonçalves Antunes <sup>1</sup>  
Júlio César Dalla Mora Esquerdo <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Informática Agropecuária  
Caixa Postal 6041 - 13083-886 - Campinas - SP, Brasil  
{joaof,julio}@cnptia.embrapa.br

**Abstract.** High temporal resolution images obtained from NOAA satellites have been used to monitor the most important crops in Brazil, such as soybeans and maize. The harmonic analysis is a technique that is being applied to time series of remote sensing imagery to characterize the phenology of vegetation and to better understand its dynamics. This study aimed to monitor the crop lands in the west of Paraná State during the 2006/2007 and 2007/2008 cropping seasons through NDVI/NOAA data and harmonic analysis. The NDVI temporal profiles, smoothed by HANTS algorithm, have shown that the annual crops have greater amplitude of NDVI values due to the temporal variation of biomass. The HANTS algorithm has removed noises caused by NDVI changes due to clouds and also predicted the trends of the curve in missing data periods. The relationship between NDVI and climatic variables can point out the productive potential of agricultural crops and the analysis of temporal profiles allowed to compare the nowadays conditions to previous cropping seasons conditions. The systems presented by this study showed to be an important tool for NOAA's image users, mainly those who need to process long time series and to generate temporal profiles of spectral and meteorological data in an automatic way.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, temporal profiles, sensoriamento remoto, processamento de imagens, perfis temporais.

## 1. Introdução

Os dados de sensores remotos orbitais têm sido uma fonte importante de informação para estudos geográficos, meteorológicos e ambientais em nível regional, por proverem a necessária visão temporal da superfície terrestre. Um sensor particularmente importante é o *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), a bordo dos satélites da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), principalmente pela disponibilidade de grandes acervos históricos de imagens em todo o mundo (Goodrum et al., 2004).

Os dados AVHRR-NOAA apresentam elevada repetitividade temporal, resolução espacial de 1,1 km no nadir e garantia de cobertura diária, podendo ser adquiridos de forma gratuita. Esses dados vêm sendo utilizadas no monitoramento de áreas agrícolas realizado por meio da avaliação dos índices de vegetação, que descrevem a variação do vigor vegetativo de uma cultura ao longo do seu ciclo de desenvolvimento (Liu e Kogan, 2002).

A análise harmônica é uma técnica inovadora que vem sendo aplicada em séries temporais de imagens de sensoriamento remoto para caracterizar a fenologia da vegetação, baseada nas mudanças que acontecem na superfície terrestre, o que facilita o entendimento da dinâmica temporal (Jakubauskas et al., 2002).

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi monitorar culturas agrícolas no oeste do Estado do Paraná, nas safras 2006/2007 e 2007/2008, com a aplicação de análise harmônica utilizando dados NDVI/AVHRR-NOAA.

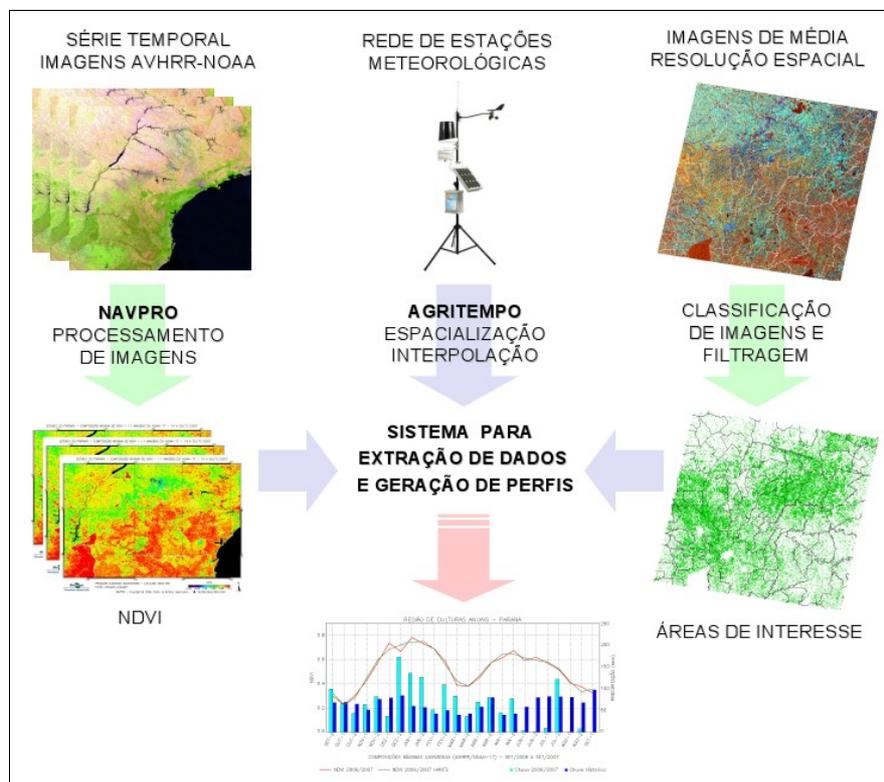
## 2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo corresponde à região oeste do Paraná, onde é possível realizar o monitoramento agrícola da safra de soja, de novembro a março e, também, da safrinha de milho, de abril a outubro.

As imagens AVHRR-NOAA foram obtidas do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) da Universidade Estadual de Campinas

(UNICAMP), em seu estado bruto. Foram utilizadas imagens diurnas do satélite NOAA-17, sensor AVHRR/3, com horário de passagem próximo das 13h30 GMT.

A **Figura 1** apresenta a esquematização da metodologia utilizada no trabalho e, a seguir, a descrição geral das etapas.



**Figura 1:** Esquematização das etapas da metodologia.

Para o processamento das imagens AVHRR-NOAA foi utilizado o sistema NAVPRO desenvolvido por Esquerdo et al. (2006), compatível com a plataforma Linux, que consiste de um procedimento automático em script *c-shell* que aciona os módulos para conversão do formato bruto, calibração radiométrica, georreferenciamento preciso e geração de produtos.

A primeira parte do sistema é composta por um conjunto de comandos que executam os programas do pacote de software NAV (*NAVigation*), desenvolvido pelo *Colorado Center for Astrodynamics Research* (CCAR) da Universidade do Colorado, Boulder, EUA. A principal vantagem deste pacote é o 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 (MCC) (Emery et al., 2003).

A segunda parte do sistema foi desenvolvida em linguagem IDL (*Interactive Data Language*) do software ENVI (*The Environment for Visualizing Images*) que é responsável pela geração de produtos. O principal produto utilizado no monitoramento agrícola é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), proposto por (Rouse et al., 1973), que tem como característica minimizar a interferência do solo na resposta espectral da vegetação e, assim, pode ser utilizado na avaliação das mudanças do vigor vegetal das plantas.

As composições máximas de NDVI foram geradas automaticamente por meio de um módulo implementado em linguagem IDL, onde o valor máximo de um dado pixel numa seqüência de imagens é utilizado para a construção da composição num período quinzenal, para atenuar a presença de nuvens na análise multitemporal (Holben, 1986).

Os gráficos de perfis temporais também foram gerados de forma automática por meio de um sistema implementado em linguagem IDL por Esquerdo (2007), a partir das composições

máximas de NDVI. A localização das áreas agrícolas foi feita a partir de um mapa temático de referência gerado por classificação e filtragem de imagens de média resolução espacial, baseado no procedimento de Ganan et al. (2005).

Os perfis temporais de NDVI têm como propósito descrever o comportamento da vegetação ao longo do seu ciclo de desenvolvimento. Para verificar o comportamento meteorológico no ciclo fenológico das culturas, os gráficos de perfis também incorporam os dados de precipitação acumulada em 15 dias, atual e histórica, obtidos a partir do Agritempo - Sistema de Monitoramento Agroclimatológico (Embrapa Informática Agropecuária e Cepagri/Unicamp, 2008).

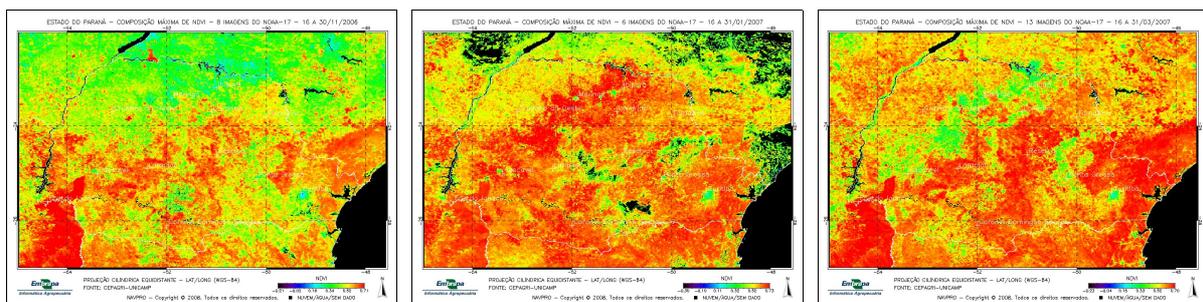
Após isso, é realizada a suavização das séries temporais de NDVI a partir do algoritmo de análise harmônica denominado HANTS (*Harmonic Analysis of NDVI Time-Series*), implementado em linguagem IDL por Roerink et al. (2000) e acoplado ao sistema de geração de perfis temporais. O conceito básico deste algoritmo é que o NDVI da vegetação apresenta um forte efeito sazonal que pode ser simulado por funções senoidais de baixa frequência, com diferentes fases e amplitudes. As nuvens provocam alterações nas séries temporais do NDVI e podem ser consideradas ruídos de altas frequências. O algoritmo HANTS analisa a série temporal original do NDVI e identifica as áreas de baixas frequências. Então, a partir de transformações de Fourier, o algoritmo elimina valores discrepantes da série temporal, que representam altas frequências.

O resultado é a filtragem da série, que se torna mais estável e sem a influência de ruídos ou variações do NDVI não causadas por efeitos naturais, destacando as alterações sensíveis de fenologia da vegetação. Segundo Jiang et al. (2008), através da análise dos perfis temporais suavizados é possível fazer o reconhecimento do padrão espectral da cultura ao longo do tempo, desde o início do plantio, passando pelo período de maior vigor vegetativo e indo até o final da colheita, permitindo comparar as condições atuais da cultura com as condições apresentadas em safras passadas.

### 3. Resultados e Discussão

Das 1273 imagens do NOAA-17 processadas pelo sistema NAVPRO de setembro de 2006 a setembro de 2008, 443 deram origem a produtos com precisão geométrica dentro de um pixel que entraram nas composições máximas quinzenais de NDVI. Nos casos em que o processamento falhou, observou-se grande presença de nuvens nas imagens, prejudicando o processo de busca automática por feições geográficas semelhantes por meio da MCC.

As áreas agrícolas foram analisadas visualmente por meio da evolução temporal das composições máximas quinzenais de NDVI geradas pelo sistema NAVPRO, ao longo das safras 2006/2007 e 2007/2008, conforme representado nas **Figuras 2 e 3**, respectivamente, onde colorações mais avermelhadas representam maior biomassa e áreas azuladas ou esverdeadas representam solo exposto ou baixa biomassa.



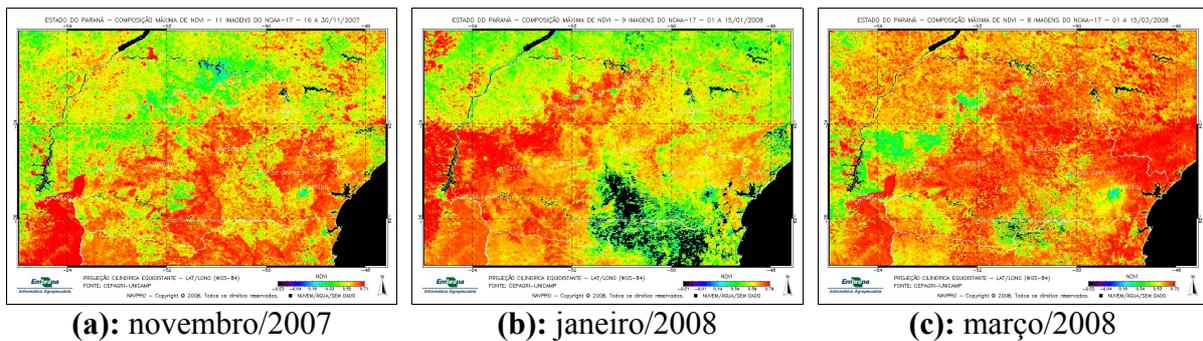
(a): novembro/2006

(b): janeiro/2007

(c): março/2007

**Figura 2:** Composições máximas quinzenais de NDVI - safra 2006/2007 - Paraná.

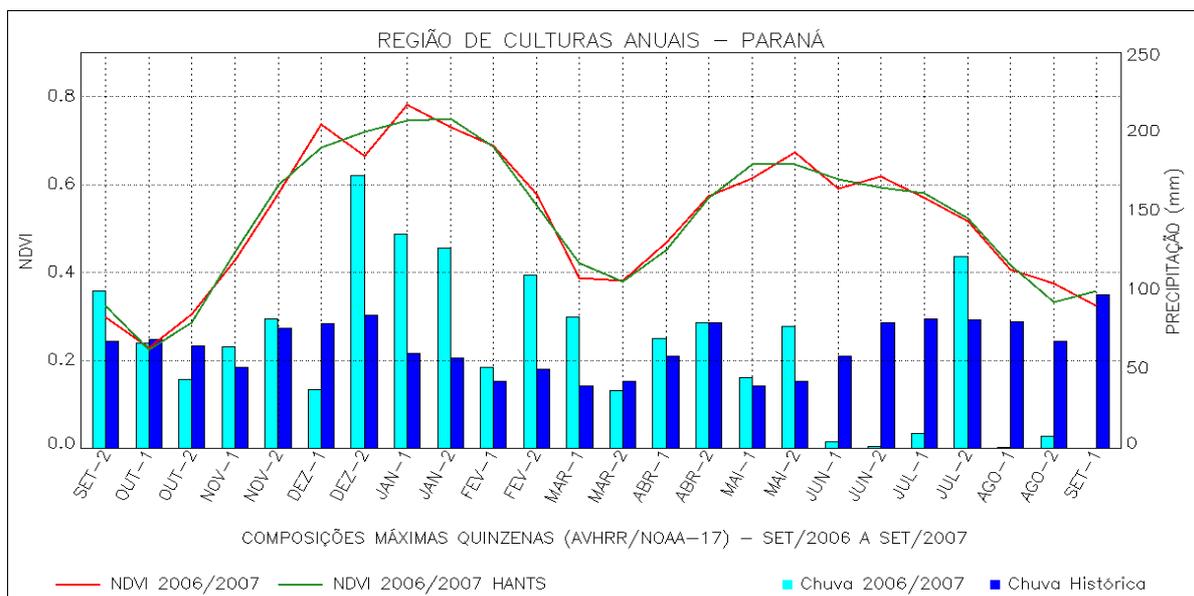
Na safra 2006/2007, pode-se observar no oeste do Paraná que em novembro/2006 a soja semeada já estava germinando (**Figura 2a**) devido ao aumento dos valores de NDVI. O período de maior vigor vegetativo da soja ocorreu em janeiro/2007 (**Figura 2b**), com os valores mais altos de NDVI representados pelas áreas de coloração vermelha mais intensa. A colheita da soja foi finalizada em março/2007 (**Figura 2c**), onde é possível observar toda a extensão da área de solo exposto referente as lavouras de soja recém colhidas, com baixos valores de NDVI em tons de verde claro, dando início à semeadura da safrinha de milho.



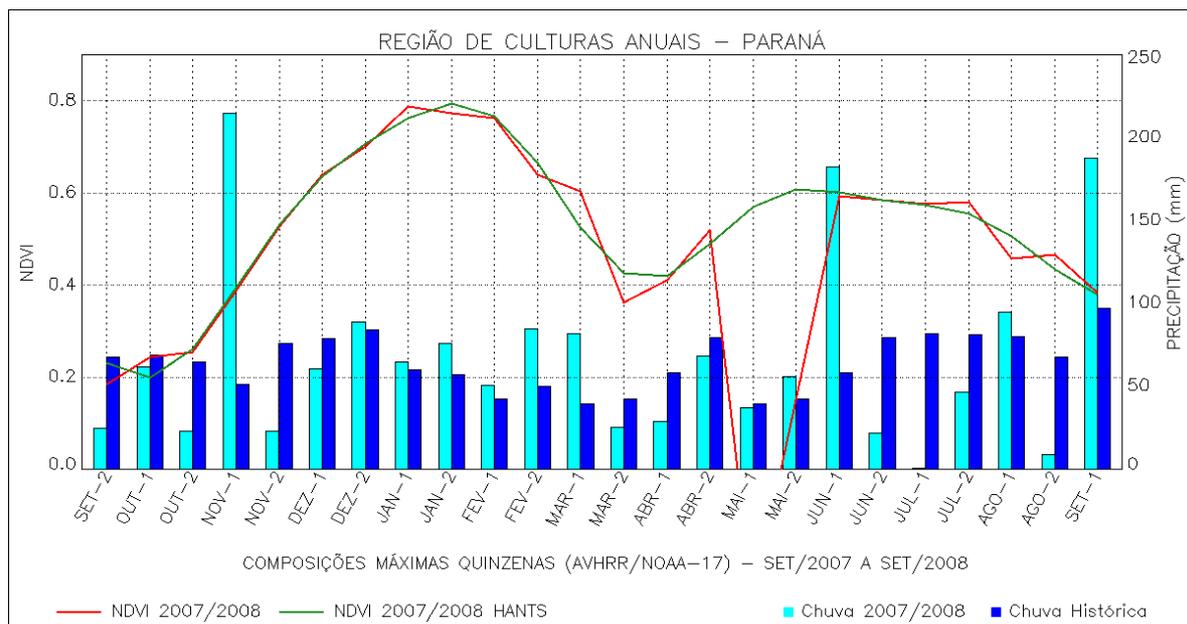
**Figura 3:** Composições máximas quinzenais de NDVI - safra 2007/2008 - Paraná.

Já na safra 2007/2008, pode-se verificar no oeste do Paraná que o ciclo de cultivo da soja iniciou-se um pouco mais tarde em relação à safra anterior, pois em novembro/2007 (**Figura 3a**) ainda existiam muitas áreas de solo exposto com baixos valores de NDVI em tons de verde claro, à espera da semeadura. Em janeiro/2008 (**Figura 3b**) ocorreu o período de maior vigor vegetativo da soja, com os valores mais altos de NDVI representados pelas áreas de coloração vermelha mais intensa. A colheita da soja aconteceu em março/2008 (**Figura 3c**), onde é possível observar a grande área de solo exposto referente as lavouras de soja recém colhidas, mas não na totalidade da safra anterior.

Para certificar o que foi discutido anteriormente, o monitoramento das áreas agrícolas foi realizado por meio da evolução temporal do NDVI e da precipitação, na região oeste do Paraná, ao longo das safras 2006/2007 e 2007/2008. As **Figura 4** e **5** ilustram os gráficos dos perfis temporais, apresentando a curva suavizada do NDVI pelo algoritmo HANTS:



**Figura 4:** Perfil temporal do NDVI e da precipitação - oeste do Paraná - safra 2006/2007.



**Figura 5:** Perfil temporal do NDVI e da precipitação - oeste do Paraná - safra 2007/2008.

No perfil temporal da safra 2006/2007 (**Figura 4**), pode-se perceber que o HANTS eliminou os ruídos que causam a variação do NDVI devido à presença de nuvens nas composições máximas, como na segunda quinzena de dezembro/2006 e na primeira quinzena de junho/2007. Esse fato é ainda mais evidente no perfil temporal da safra 2007/2008 (**Figura 5**), especificamente na primeira quinzena de maio/2008, em que não há dados na composição máxima devido à falta de imagens nesse período. Além de eliminar o ruído, o HANTS conseguiu prever a tendência da curva, utilizando para isso os dados das composições máximas da quinzena anterior e posterior.

O resultado é a filtragem da série temporal de NDVI nos dois anos safra, gerando perfis suavizados sem a influência de ruídos causados principalmente pela presença de nuvens, destacando as alterações sensíveis de fenologia da vegetação, tanto para o monitoramento da cultura da soja quanto para a cultura do milho.

Nas duas safras, pode-se reconhecer o padrão espectral de culturas anuais que têm maior amplitude de NDVI, devido a variação temporal da biomassa da vegetação. O padrão temporal bimodal da curva suavizada está relacionado ao desenvolvimento de diferentes culturas durante o ano safra, onde cada cultura é caracterizada por um máximo na série temporal, sendo a fase o período entre a origem e o pico da curva.

Os elevados valores de amplitude de NDVI no primeiro harmônico indicam uma cultura com padrão temporal unimodal relacionado ao cultivo da soja de novembro a março. Já os valores de amplitude de NDVI no segundo harmônico são menores que do primeiro harmônico e indicam o padrão temporal unimodal relacionado ao cultivo do milho de abril a outubro.

Pela análise dos perfis temporais das safras 2006/2007 e 2007/2008 (**Figuras 4 e 5**), pode-se observar mais detalhadamente que a soja foi semeada na primeira quinzena de outubro, começou a germinar na primeira quinzena de novembro com os valores de NDVI aumentando até atingir o pico na segunda quinzena de janeiro, correspondente ao período de maior vigor vegetativo da soja. Na primeira quinzena de fevereiro, a cultura entra em senescência com os valores de NDVI diminuindo, até chegar ao final da colheita na segunda quinzena de março.

Logo em seguida, o milho foi semeado e começou a germinar na primeira quinzena de abril com os valores de NDVI aumentando até atingir o pico na primeira quinzena de maio,

mas sempre apresentando menor variação de biomassa do que a soja. A cultura do milho mantém o vigor vegetativo até a segunda quinzena de julho, onde os valores de NDVI pouco variam, entrando em senescência na primeira quinzena de agosto com a diminuição dos valores de NDVI, até chegar a colheita na primeira quinzena de outubro.

A partir dos dados de precipitação acumulada em 15 dias nos gráficos dos perfis temporais dos dois anos safra, pode-se observar que o regime hídrico foi acima da média histórica durante o período de cultivo da soja de novembro a março, reforçado pela anomalia na precipitação observada na primeira quinzena de novembro/2007. Já no período de cultivo do milho de abril a outubro, houve déficit hídrico, apesar do registro de precipitações bem acima da média histórica na primeira quinzena de junho/2008 e na primeira quinzena de setembro/2008.

Tal fato pode explicar a variabilidade da produtividade da soja em safras com condições climáticas favoráveis e do milho em condições adversas, numa comparação das condições atuais das culturas com as condições apresentadas em safras passadas. De modo geral, a precipitação influencia diretamente o comportamento temporal do NDVI, tanto para a cultura da soja quanto para a cultura do milho.

#### **4. Conclusões**

O monitoramento agrícola foi realizado utilizando-se composições máximas de NDVI, geradas automaticamente a partir das imagens diárias e gratuitas AVHRR-NOAA. A partir dos perfis temporais de NDVI suavizados pelo algoritmo HANTS, verificou-se que as culturas anuais têm maior amplitude do NDVI por conta da variação temporal da biomassa.

O HANTS eliminou os ruídos que causam a variação do NDVI relacionados à presença de nuvens e, também, conseguiu prever a tendência da curva nos casos em que não havia dados nas composições máximas devido à falta de imagens, destacando as alterações sensíveis de fenologia da vegetação, tanto para o monitoramento da cultura da soja quanto para a cultura do milho.

A relação entre NDVI e variáveis climáticas pode indicar o potencial produtivo das culturas agrícolas e a análise dos perfis temporais permitiu comparar as condições atuais da cultura com as condições apresentadas em safras passadas.

O sistema NAVPRO mostrou-se uma ferramenta importante por automatizar o processamento do grande número de imagens utilizadas com garantia da precisão geométrica dentro de um pixel. O sistema de geração de perfis temporais permitiu a automatização da extração de dados espectrais e meteorológicos das áreas de interesse.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Dr. Daniel G. Baldwin e ao Dr. William Emery do CCAR por repassarem gratuitamente o pacote de software NAV.

#### **Referências Bibliográficas**

Embrapa Informática Agropecuária; Cepam/Unicamp. **Agritempo**. Disponível em <<http://www.agritempo.gov.br/>>. Acesso em: 28 out. 2008.

Emery, W. J.; Baldwin, D.; 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, p. 33-42, 2003.

Esquerdo, J. C. D. M. **Utilização de perfis multi-temporais do NDVI/AVHRR no acompanhamento da safra de soja no oeste do Paraná**. 167p. (Tese de Doutorado). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. 2007.

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

Ganan, J. R.; Rocha, J. V.; Mercante, E.; Antunes, J. F. G. Mapeamento da cultura da soja com imagens Landsat 5/TM utilizando algoritmos de classificação supervisionada. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Goiânia. **Anais...** p. 549-556. São José dos Campos: INPE, 2005.

Goodrum, G.; Kidwell, K.; Winston, W. (Editors) **NOAA KLM User's guide**. September 2000 Revision. Disponível em <<http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm>>. Acesso em: 15 mar. 2004.

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.

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, n. 1, p. 127-139, 2002.

Jiang, X.; Wang, D.; Tang, L.; Hu, J.; Xi, X. Analysing the vegetation cover variation of China from AVHRR-NDVI data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 17, p. 5301-5311, 2008.

Liu, W. T.; Kogan, F. Monitoring Brazilian soybean production using NOAA/AVHRR based vegetation condition indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 6, p. 161-1179, 2002.

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.

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.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A.; Deering, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources TechnologySatellite-1 Symposium, 3., Washington, D. C., 1973. **Proceedings...** Washington, D. C.: NASA. Goddard Space Flight Center, 1973. v. 1, p. 309-317. (NASA SP-351).