

Desenvolvimento de um sistema automático para a geração de produtos derivados de imagens AVHRR-NOAA

João Francisco Gonçalves Antunes^{1,2}
Júlio César Dalla Mora Esquerdo^{2,3}
Jurandir Zullo Jr.³

¹ Embrapa Informática Agropecuária (mestrando na FEAGRI)
Caixa Postal 6041 - 1083-886 - Campinas - SP, Brasil
joaof@cnpia.embrapa.br

² Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI/UNICAMP
Caixa Postal 6011 - 13083-875 - Campinas - SP, Brasil

³ Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura
CEPAGRI/UNICAMP
Cidade Universitária “Zeferino Vaz” - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil
{julio, jurandir}@cpa.unicamp.br

Abstract. Making products for AVHRR-NOAA imagery is time-consuming and an automated technique for image processing is required due to its high temporal resolution (ten images per day). This paper aims to describe the development of a system for full-automated AVHRR-NOAA image processing, including radiometric calibration, precise geometric correction and making products. The results have shown that when using input images with no noises and not too cloud, the system was effective, making products geometrically precise, with errors not greater than a pixel. The developed system showed to be an important tool for NOAA image users, especially those who need to use large temporal series.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, image navigation, cloud mask, NDVI, NDMI, sensoriamento remoto, processamento de imagens, correção geométrica, máscara de nuvens.

1. Introdução

Nos últimos anos as imagens 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 da série de satélites da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), cujos produtos têm sido aplicados no monitoramento ambiental terrestre numa resolução espacial variando de 1,1 a 15 quilômetros.

Embora já existam disponíveis sensores de maior qualidade espectral e espacial, como o MODIS, SPOT/VEGETATION e WFI, as imagens AVHRR-NOAA continuam sendo de grande uso em estudos envolvendo a análise de ecossistemas, em função da disponibilidade de longas séries temporais de imagens pelo grande acervo histórico de dados NOAA. O Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) possui um banco de imagens AVHRR-NOAA iniciado em abril de 1995, com aproximadamente dois terabytes de dados. Atualmente são recebidas e armazenadas em média 10 imagens por dia dos satélites NOAA 12, 14, 15, 16 e 17 atualmente em operação.

Ainda que apresentem resolução espacial e espectral menores em comparação a outros sensores, as imagens AVHRR-NOAA possuem características fundamentais no estudo de

alvos com grande dinâmica espectral, tais como sua alta resolução temporal (cobertura diária), garantia de cobertura global e gratuidade das imagens.

O elevado número de imagens diariamente disponíveis pelos satélites hoje em operação torna a geração de produtos derivados do sensor AVHRR uma rotina trabalhosa e com um certo nível de intervenção humana. Uma etapa fundamental para a geração de produtos é a correção geométrica precisa das imagens, o que nem sempre é exequível por meio dos softwares comuns atualmente disponíveis. Diante dessas dificuldades e da necessidade de se gerar produtos com qualidade de forma automática, o presente trabalho aborda o desenvolvimento de um sistema para o processamento completo das imagens AVHRR-NOAA, sem qualquer intervenção humana.

2. Material e Métodos

As imagens AVHRR-NOAA foram obtidas do acervo do CEPAGRI em seu estado bruto, formato Telonics T-RIS. Foram utilizadas imagens diurnas dos satélites NOAA-16 e NOAA-17, com horários de passagem próximos das 17h30 e 14h GMT, respectivamente. Ao todo foram processadas 84 imagens entre o período de novembro de 2003 a março de 2004, época de condução das culturas de verão.

O sistema é compatível com a plataforma Linux e é executado por meio de um script *shell* composto por um conjunto de comandos que acionam os diversos módulos de processamento, como os de calibração radiométrica, correção geométrica precisa e geração de produtos.

A **Figura 1** ilustra o fluxograma com as principais etapas do processamento.

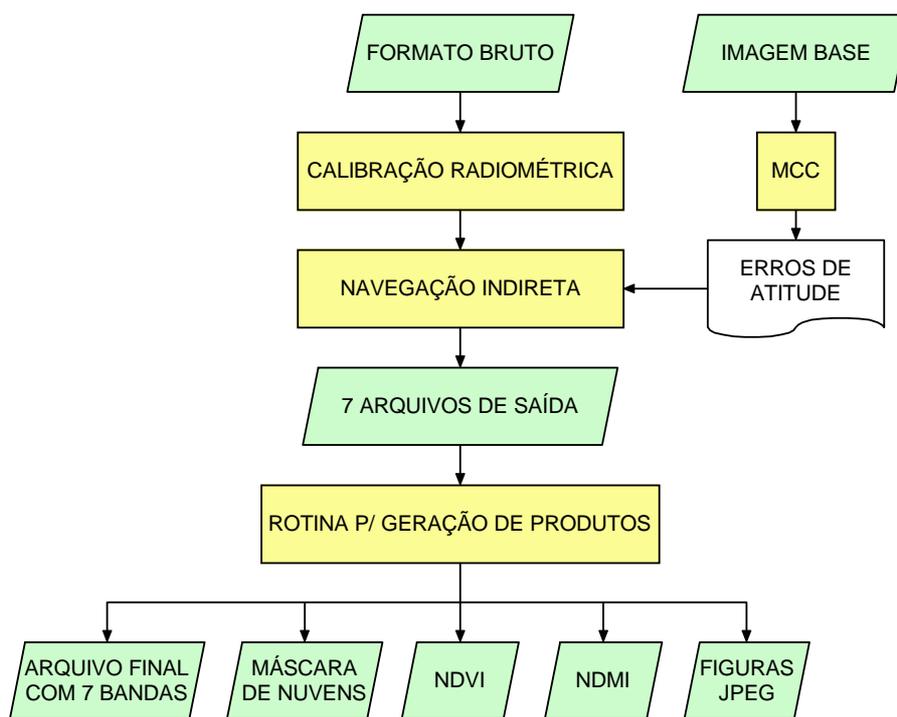


Figura 1: Fluxograma resumido do sistema de processamento das imagens.

O processo inicia-se com a conversão do formato bruto T-RIS para outro formato compatível com os processos subsequentes. Em seguida é feita a calibração radiométrica das imagens, transformando os valores de nível de cinza para reflectância aparente (no topo da atmosfera) para as bandas 1, 2 e 3A e temperatura de brilho, para as bandas 4 e 5. A calibração radiométrica segue as metodologias descritas pela NOAA (Goodrum et al., 2000) e por Rao e Chen (1996).

Em seguida inicia-se o processo de correção geométrica das imagens, cujo módulo (em linguagem C) foi desenvolvido pelo Colorado Center for Astrodynamics Research, da Universidade do Colorado, Estados Unidos. Este módulo é baseado na metodologia da navegação indireta, descrita por Rosborough et al. (1994), que se baseia no fato de que a maior fonte de erros no processo de georreferenciamento é devida à imprecisão no ângulo dos três eixos de movimentação do satélite (erros de atitude) no momento de sua passagem. Para gerar imagens com precisão geométrica dentro de um pixel, a metodologia dos autores requer o conhecimento dos erros de atitude no exato momento da geração da imagem. Para determinar tais erros, o método faz uso de pontos de controle (no mínimo dois), que podem ser coletados a partir de malhas digitais ou imagens geometricamente precisas. Para automatizar o processo de coleta de pontos de controle e evitar a intervenção humana, o módulo segue a metodologia descrita por Bowen et al. (2002), que utiliza a técnica da Máxima Correlação Cruzada (MCC). Esta técnica faz a busca de feições entre a imagem alvo (que se pretende corrigir) e uma imagem base, com georreferenciamento preciso. Uma vez reconhecidas as feições semelhantes entre essas imagens, o programa coleta automaticamente os pontos de controle, que por sua vez são utilizados pelo módulo para determinar os erros de atitude e realizar a navegação indireta, gerando imagens com erros de georreferenciamento dentro de um pixel.

Como resultados deste processo têm-se cinco arquivos (um para cada banda espectral do sensor AVHRR), já calibrados e corrigidos geometricamente, contendo somente a região de interesse, previamente informada na navegação indireta. No presente trabalho, a região escolhida foi o Estado do Paraná, centrada nas coordenadas geográficas 24,50 S e 51,30 W, gerando-se imagens com 750 colunas e 512 linhas. Além dos cinco arquivos acima descritos, foram gerados também mais dois arquivos contendo informações sobre o ângulo de imageamento e ângulo zenital solar para cada pixel da imagem, totalizando sete arquivos.

A etapa final do processamento das imagens foi desenvolvida em linguagem IDL (*Interactive Development Language*) do software ENVI (*The Environment for Visualizing Images*) que é responsável pela leitura dos sete arquivos produzidos e pela geração de produtos. O primeiro desses produtos é um arquivo de sete bandas, contendo a junção dos sete arquivos gerados até o momento. Devido ao tamanho das imagens AVHRR-NOAA, os arquivos foram gerados em formato de números inteiros multiplicados por dez para economia de espaço em disco.

O segundo produto é um arquivo contendo uma máscara de nuvens e dois índices espectrais. A máscara de nuvens foi gerada utilizando-se uma combinação para satisfazer todos os critérios das Equações (1), (2) e (3), descritos por França e Cracknell (1995) e por Chen et al. (2002), após várias iterações e testes. Uma das funções da máscara de nuvens é reduzir variações bruscas no comportamento dos índices de vegetação em composições máximas, conforme relatado por Hochheim e Barber (1998) e por Chen et al. (2003).

$$1o. \text{ critério: } B1 > 15 \quad (1)$$

$$2o. \text{ critério: } 0,8 \leq \frac{B2}{B1} \leq 1,6 \text{ e } B4 < 270 \quad (2)$$

$$3o. \text{ critério: } B5 < 280, \text{ onde} \quad (3)$$

B1 = banda 1 - vermelho (visível);

B2 = banda 2 - infravermelho próximo;

B4 = banda 4 - infravermelho termal;

B5 = banda 5 - infravermelho termal.

O primeiro índice espectral é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) calculado por meio da Equação (4). Inicialmente proposto por Rouse et al. (1973), o NDVI é bastante utilizado para avaliação das mudanças do vigor vegetal das plantas. Conforme Holben et al. (1980), apresenta correlação com o índice de área foliar (IAF), biomassa e produtividade.

$$\text{NDVI} = \frac{B2 - B1}{B2 + B1} \quad (4)$$

O outro índice espectral é o NDMI (*Normalized Difference Moisture Index*) calculado por meio da Equação (5). Segundo Wilson e Sader (2002), o pouco conhecido NDMI é mais sensível à água que o NDVI, em função das regiões de absorção d'água na faixa do infravermelho médio que é menos influenciada pelos efeitos atmosféricos. Dessa forma o NDMI pode indicar a presença de umidade no solo e na vegetação permitindo bons contrastes entre diferentes tipos de vegetação. Por utilizar a faixa do infravermelho médio ao invés do vermelho visível, o NDMI também tende a apresentar maior correlação com parâmetros biofísicos da vegetação.

$$\text{NDMI} = \frac{B2 - B3}{B2 + B3}, \text{ onde} \quad (5)$$

B3 = banda 3A - infravermelho médio.

Seguindo as recomendações de Chen et al. (2003), a rotina para cálculo desses índices apresenta a opção para mascarar os pixels com ângulo zenital solar maior que 70° e ângulos de imageamento maiores que 42°, considerados inaptos para análise espectral, devido à baixa luminosidade solar e pela distorção do tamanho do pixel.

Além dos arquivos com informação espectral, foram também geradas figuras no formato JPEG (Joint Pictures Expert Group), sobrepostas com uma malha política do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e com informações cartográficas. Ao todo foram geradas quatro figuras para cada imagem de entrada: composição RGB-121, máscara de nuvens, NDVI e NDMI. Nas figuras relacionadas aos índices foi executado um escalonamento dos valores em 255 níveis de cinza e aplicada uma paleta de cores para melhorar a visualização.

Uma última rotina IDL foi implementada para a geração automática de composições máximas dos índices. As composições máximas são úteis para minimizar os efeitos de sombras e do ângulo de insolação, diminuindo também os efeitos dos aerossóis e vapores d'água (Holben, 1986). Após um determinado período (semanal, decendial, quinzenal ou mensal), a rotina faz a leitura automática de todos os arquivos produzidos no período e gera um arquivo contendo o valor mais alto para cada pixel.

3. Resultados e Discussão

Das 84 imagens processadas, 69 deram origem a produtos com precisão geométrica dentro de um pixel. As imagens que falharam apresentaram excessivo nível de ruídos, afetando o processo de calibração radiométrica e conseqüentemente a correção geométrica. Outra fonte de erros foi a presença maciça de nuvens na região de estudo (Paraná), afetando o processo de busca por feições semelhantes por meio da MCC. A existência de ruídos, mesmo nas imagens

do NOAA-17 (satélite mais novo), pode ser atribuída ao fato da antena e do software de recepção das imagens utilizados serem antigos.

Porém, os resultados mostraram que, quando livre de ruídos e da presença maciça de nuvens, as imagens de entrada puderam ser processadas automaticamente, gerando produtos calibrados e corretamente georreferenciados, sem qualquer intervenção humana. A navegação indireta, aliada à busca automática de feições por meio da MCC, se mostrou eficaz e contribuiu para a total automatização do processamento.

As figuras a seguir representam o conjunto de imagens JPEG do dia 26 de março de 2004, produzidas pela rotina de geração de produtos presente no sistema. As informações do número do satélite, data e hora de aquisição da imagem foram inseridas automaticamente pelo sistema, assim como a malha do IBGE e as informações cartográficas presentes.

A **Figura 2** mostra a composição colorida RGB-121, cuja coloração facilita a observação visual da presença de nuvens. Esta composição também auxilia na verificação da acurácia da máscara de nuvens presente na **Figura 3**, onde as manchas negras correspondem à presença de nuvens e têm valor zero. As áreas brancas, livre de nuvens, têm valor um.

A **Figura 4** refere-se ao NDVI e a **Figura 5** ao NDMI, ambos calculados no dia da imagem. Verifica-se que a presença de nuvens reduz o valor do NDVI e pode causar confusões ao interpretar pela semelhança com solo exposto e áreas urbanas. Esse tipo de confusão é minimizado quando se mascaram os pixels cobertos por nuvens, onde se verifica que os pixels da cor azul claro no lado oeste do Paraná não se referem à presença de nuvens, e sim ao solo exposto das áreas de soja recém colhida e/ou preparada para plantio de safrinhas.

A **Figura 6** mostra o NDVI com mascaramento de pixels inaptos devido ao ângulo zenital solar ser maior que 70° , o ângulo de imageamento ser maior que 42° e contaminação por nuvens.

Para análise do NDVI das vegetações, a literatura aconselha o uso das composições máximas para amenizar os efeitos atmosféricos. A **Figura 7** mostra o resultado da rotina desenvolvida para geração automática de composições máximas mensais. O mês a que se refere a imagem é janeiro de 2004 (total de 17 imagens), onde se percebe uma coloração mais intensa ao oeste do Estado, onde o valor do NDVI é mais elevado. Tal comportamento é explicado pela presença da cultura da soja em seu estágio de maior crescimento vegetativo.

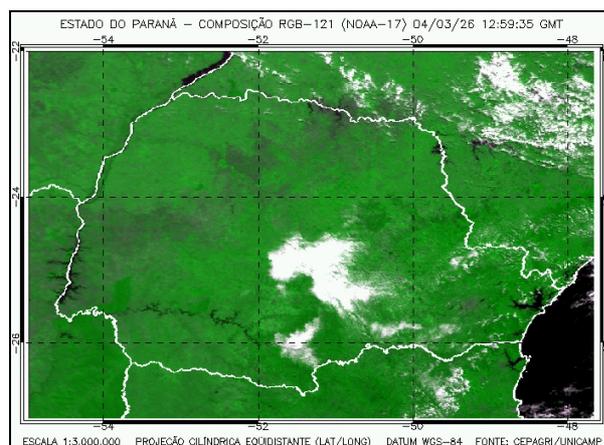


Figura 2: Composição RGB-121.

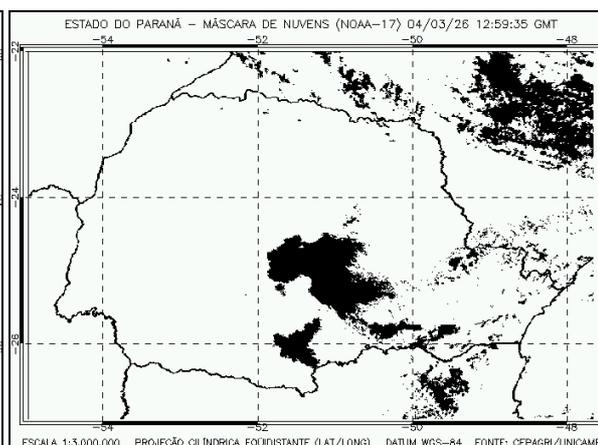


Figura 3: Máscara de Nuvens.

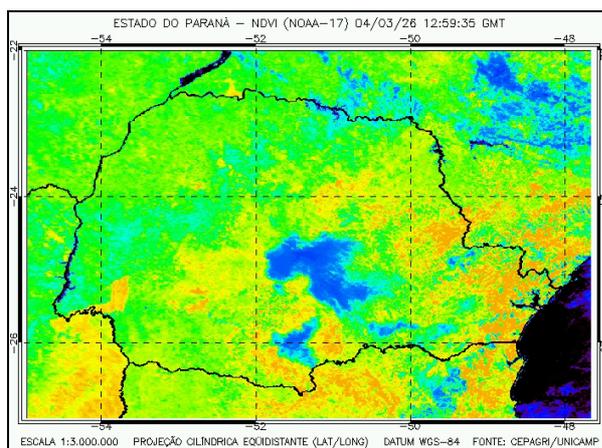


Figura 4: NDVI.

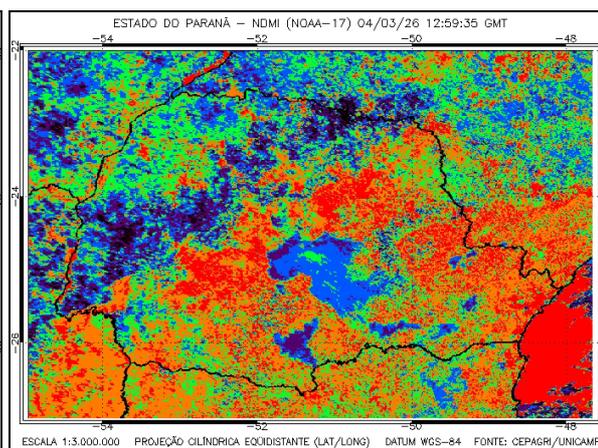


Figura 5: NDMI.

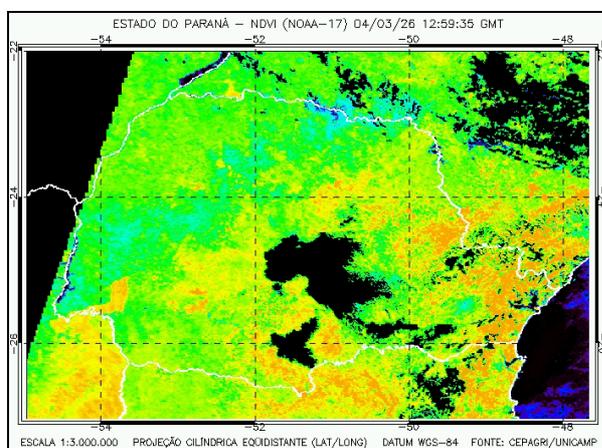


Figura 6: NDVI com pixels inaptos.

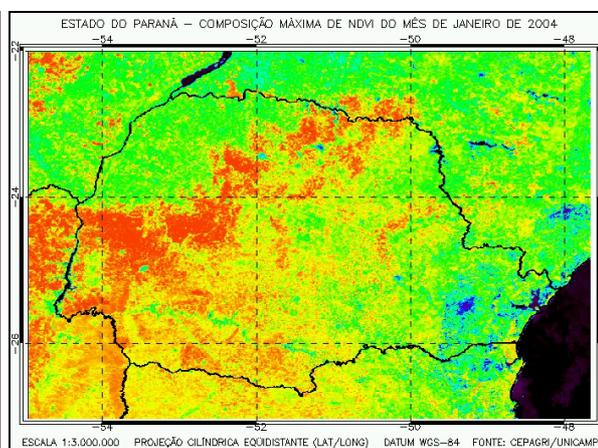


Figura 7: Composição Máxima do NDVI.

4. Conclusão

Este trabalho mostra o procedimento de desenvolvimento de um sistema de processamento de imagens AVHRR-NOAA. O sistema mostrou ser automático, sem qualquer intervenção humana, agilizando trabalhos que fazem uso dessas imagens, principalmente aqueles que demandam grandes séries multitemporais.

A correção geométrica é a etapa fundamental de todo o procedimento com o objetivo de garantir que cada pixel corresponda à mesma localização geográfica em qualquer uma das imagens da série multitemporal em estudo. Uma outra etapa de extrema importância é o mascaramento de nuvens como forma de detectar os pixels contaminados com nuvens e separá-los dos não contaminados nas imagens. Esses processamentos visam garantir a acurácia e a qualidade final dos produtos gerados pelo sistema.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Colorado Center for Astrodynamics Research, da Universidade do Colorado, nas pessoas dos Doutores Daniel G. Baldwin e William Emery por repassarem a tecnologia para calibração radiométrica e correção geométrica das imagens AVHRR-NOAA. Também agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro e ao Prof. Dr. Jansle Vieira Rocha pelo apoio do Laboratório de Geoprocessamento (GEO) da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da UNICAMP.

6. Referências

- Bowen, M.; Emery, W.J.; Wilking, J.L.; Tildesley, P.C.; Barton, I.J.; Knewton, R. Extracting multiyear surface currents from sequential thermal imagery using the Maximum Cross-Correlation Technique. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v.19, p.1665-1676, 2002.
- Chen, P.Y., Srinivasan, R., Fedosejevs, G., Narasimhan, B. An automated cloud detection method for daily NOAA-14 AVHRR data for Texas, USA. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, n.15, p.2939-2950, 2002.
- Chen, P.Y.; Srinivasan, R.; Fedosejevs, G.; Kintiry, J.R. Evaluating different NDVI compositing techniques using NOAA-14 AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, n.17, p.3403-12, 2003.
- França, G.B.; Cracknell, A.P. A simple cloud masking approach using NOAA AVHRR daytime data for tropical areas. **International Journal of Remote Sensing**, v.16, p.1697-1705, 1995.
- 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.
- 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.; 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.
- 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.
- Rao, C. R. N.; Chen, J. Post-launch calibration of the visible and near-infrared channels of the Advanced Very High Resolution Radiometer on the NOAA-14 spacecraft. **International Journal of Remote Sensing**, v.17, p.2743-2747, 1996.
- 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 Technology Satellite-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).
- Wilson, E.H.; Sader, S. A. Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. **Remote Sensing of Environment**, v.80, p.385-396, 2002.