

SISTEMA PARA A GERAÇÃO AUTOMÁTICA DE PRODUTOS DE IMAGENS AVHRR-NOAA PARA MONITORAMENTO AGRÍCOLA

JOÃO FRANCISCO GONÇALVES ANTUNES¹
JÚLIO CÉSAR DALLA MORA ESQUERDO²
JURANDIR ZULLO JR.³

RESUMO

A geração de produtos AVHRR-NOAA demanda muito tempo e requer uma técnica automatizada para processamento das imagens devido a sua alta resolução temporal. Este artigo descreve o desenvolvimento de um sistema de processamento de imagens AVHRR-NOAA totalmente automático. Os resultados têm mostrado que quando as imagens são livres de ruídos e sem muitas nuvens, o sistema foi eficaz gerando produtos geometricamente precisos, com erros não maiores que um pixel. O sistema desenvolvido mostrou ser uma ferramenta importante para usuários de imagens NOAA, especialmente os que necessitam de uma grande série temporal com alta precisão geométrica para monitoramento agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto, Processamento de imagens, Georreferenciamento preciso.

SYSTEM FOR AUTOMATIC GENERATION OF AVHRR-NOAA IMAGES PRODUCTS FOR CROP MONITORING

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. This paper describe the development of a system for full-automated AVHRR-NOAA image processing. 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 with high geometric precision for crop monitoring.

KEYWORDS: Remote sensing, Image processing, Precision georeferencing.

¹ Pesquisador Embrapa Informática Agropecuária, Av. Dr. André Tosello, 209, Barão Geraldo. Caixa Postal 6041 - CEP: 13083-970, Campinas - SP, Brasil.

² Doutorando da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Caixa Postal 6011 - CEP: 13083-875, Campinas - SP, Brasil.

³ Pesquisador do Centro de Pesquisas Climáticas e Meteorológicas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI), UNICAMP. CEP: 13083-970 - Campinas - SP, Brasil.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos as imagens de sensores remotos orbitais têm sido uma fonte importante de dados para estudos geográficos, agrometeorológicos 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 agrícola.

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 em média 10 imagens por dia dos satélites NOAA 12, 14, 15, 16 e 17 em operação. Uma das grandes vantagens dessas imagens é a sua elevada resolução temporal, com garantia de cobertura diária e de aquisição gratuita, características fundamentais no estudo de alvos com grande dinâmica espectral como a vegetação.

Porém, o elevado número de imagens diariamente disponíveis torna a geração de produtos AVHRR-NOAA uma rotina trabalhosa e com um certo nível de intervenção humana. Uma etapa fundamental para a geração de produtos é o georreferenciamento preciso das imagens, o que nem sempre é exequível por meio dos softwares 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 das imagens AVHRR-NOAA, para fins de monitoramento agrícola, sem qualquer intervenção humana.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As imagens AVHRR-NOAA foram obtidas do acervo histórico do CEPAGRI em seu estado bruto. Foram utilizadas imagens diurnas dos satélites NOAA-16 e NOAA-17, com horários de passagem próximos das 17h30 e 14h GMT, respectivamente, no período de novembro de 2003 a março de 2004, época do ciclo de desenvolvimento da soja na região oeste do Estado do Paraná.

O sistema foi implementado em script *c-shell* sob a plataforma Linux. A primeira parte é composta por um conjunto de comandos que acionam os módulos de processamento das

imagens disponíveis no pacote de software NAV (*NAVigation*), de conversão de formato, calibração radiométrica e georreferenciamento preciso das imagens, desenvolvido pelo Dr. Daniel G. Baldwin, em linguagem C. Essa tecnologia foi repassada gratuitamente pelo Colorado Center for Astrodynamics Research (CCAR), Aerospace Engineering Sciences, da Universidade do Colorado, EUA. A segunda parte é responsável pela geração de produtos implementada com a linguagem de programação IDL 4.0 (*Interactive Development Language*) do software ENVI 6.0 (*The Environment for Visualizing Images*), também acionada pelo script *c-shell*. (Figura 1).

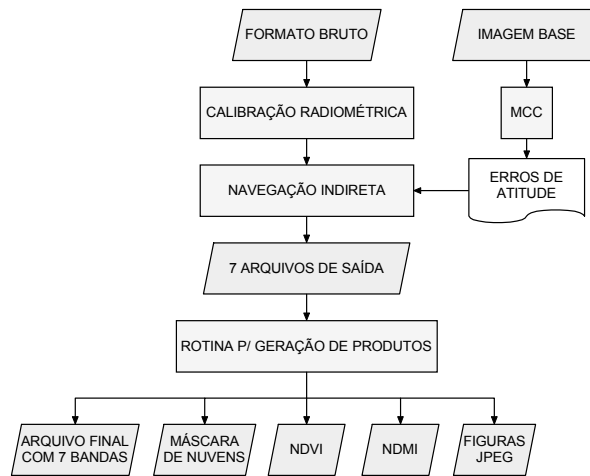


Figura 1: Fluxograma resumido do sistema.

O processo inicia-se com a conversão da imagem AVHRR-NOAA em seu formato bruto para um formato compatível com os processos subseqüentes. Em seguida é feita a calibração radiométrica, 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, seguindo as metodologias descritas pela NOAA (GOODRUM et al., 2004) e por RAO e CHEN (1996).

A seguir é realizado o georreferenciamento baseado na metodologia de navegação indireta descrita por ROSBOROUGH et al. (1994), que considera como a maior fonte de erros nesse processo a imprecisão no ângulo dos três eixos de posicionamento do satélite no momento de sua passagem. Para determinar esses erros de atitude, o método faz uso de pontos de controle coletados automaticamente por meio da técnica da Máxima Correlação Cruzada (MCC), que compara a imagem alvo que se pretende corrigir a uma imagem base

geometricamente precisa e sem nuvens (BOWEN et al., 2002). A partir disso obtêm-se cinco arquivos referentes as bandas espectrais calibradas e corrigidas geometricamente, com a região que engloba o Paraná, centrada nas coordenadas geográficas 24°30'S e 51°20'W. Também são gerados dois arquivos com o ângulo zenital solar e ao ângulo de elevação do satélite para cada pixel da imagem.

O primeiro produto gerado é um arquivo contendo sete bandas, reunindo os sete arquivos criados anteriormente num único arquivo. Os dados da imagem de saída são gravados em números inteiros, multiplicados por dez, para redução do tamanho final do arquivo.

O segundo produto gerado é um arquivo contendo a máscara de nuvens e os índices de vegetação. A máscara de nuvens foi criada por uma combinação dos critérios das Equações (1), (2) e (3) descritos por FRANÇA e CRACKNELL (1995) e por CHEN et al. (2002).

$$1^{\circ} \text{ critério: } B1 > 15 \quad (1);$$

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

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

B1 = banda 1 - visível (%); B2 = banda 2 - infravermelho próximo (%);

B4 = banda 4 - infravermelho termal (K); B5 = banda 5 - infravermelho termal (K).

O primeiro índice de vegetação é o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) 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, biomassa e produtividade da vegetação.

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

O outro índice de vegetação é o *Normalized Difference Moisture Index* (NDMI) 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. Em função disso, pode indicar a presença de umidade na vegetação e no solo permitindo obter um maior contraste entre diferentes tipos de vegetação, refletindo melhor as mudanças de biomassa.

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

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 ângulo de elevação do satélite maior que 42°, considerados inaptos para análise espectral, devido à baixa luminosidade solar e pela distorção do tamanho do pixel muito fora do nadir.

Uma outra rotina gera automaticamente o terceiro produto referente as composições máximas dos índices de vegetação a partir de cada imagem. As composições máximas são úteis para minimizar os efeitos de sombras e do ângulo de insolação, atenuando também os efeitos da atmosfera (HOLBEN, 1986). Após a definição de um determinado período que pode ser semanal, decenal, 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.

Além dos arquivos com informação espectral, ao final são geradas figuras no formato JPEG, sobrepostas com a malha política do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e com informações cartográficas: composição colorida RGB-121, máscara de nuvens, NDVI, NDMI e as composições máximas de NDVI e NDMI, estas últimas num período escolhido. Nas figuras relacionadas aos índices de vegetação pode ser feito um escalonamento dos valores de 0 a 255 e aplicada uma paleta de cores para melhorar a visualização da imagem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Das 84 imagens processadas, 69 deram origem a produtos com precisão geométrica dentro de um pixel. Os resultados mostraram que, quando livres de ruídos provenientes da recepção e da presença maciça de nuvens, as imagens puderam ser processadas automaticamente, gerando produtos calibrados e georreferenciados precisamente, 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 automação do processamento. A análise dos deslocamentos mostrou um erro médio de 0,8 pixel (menos de 1 km), considerado aceitável para estudos terrestres.

As figuras a seguir representam o conjunto de imagens JPEG do dia 26 de março de 2004, produzidas pelo sistema. As informações do número do satélite, data e hora de aquisição da imagem foram inseridas automaticamente, assim como a malha do IBGE e as informações

cartográficas. A Figura 2 mostra a composição colorida RGB-121 que facilita a observação visual de nuvens e também auxilia na verificação da acurácia da máscara de nuvens apresentada na Figura 3. 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 de recepção 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 alguns pixels no lado oeste do Paraná não se referem à presença de nuvens, mas sim ao solo exposto das áreas de soja recém colhida. 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 dos índices de vegetação, 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 as áreas de tonalidade mais escura representam valores mais altos de NDVI e as áreas de tonalidade mais clara, valores mais baixos, explicado pela presença da cultura da soja em seu estágio de maior crescimento vegetativo na região oeste do Paraná.

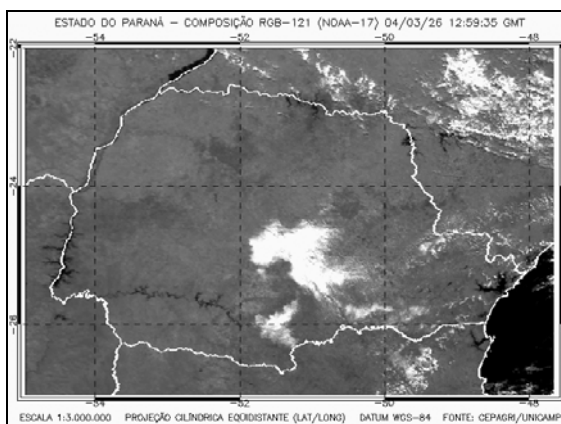


Figura 2: Composição RGB-121.

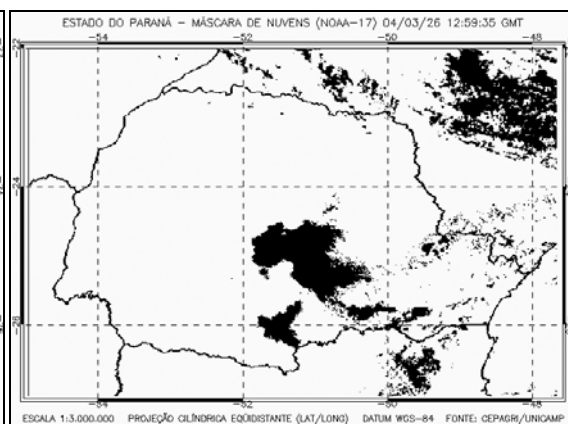


Figura 3: Máscara de Nuvens.

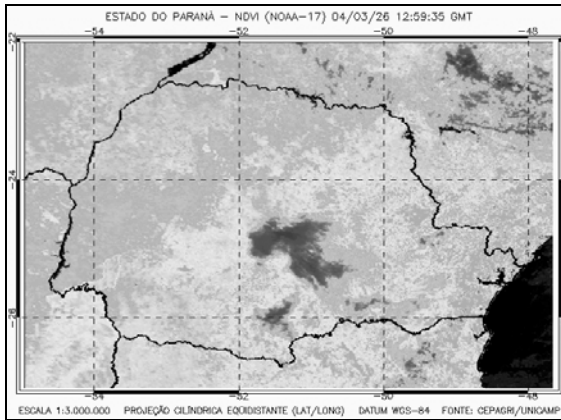


Figura 4: NDVI.

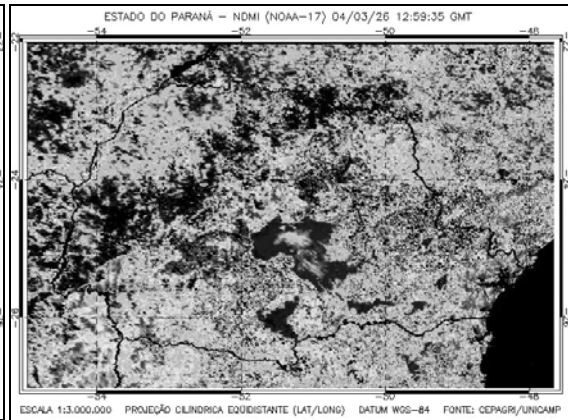


Figura 5: NDMI.

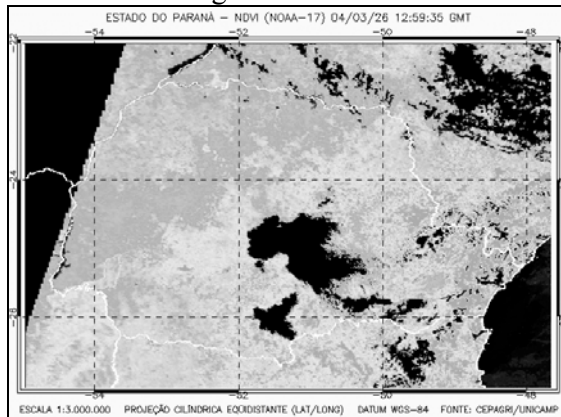


Figura 6: NDVI com pixels inaptos.

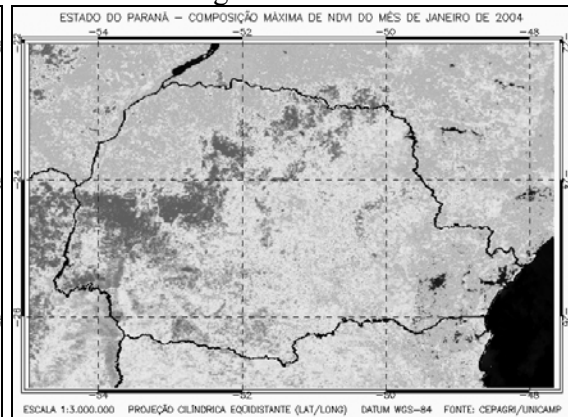


Figura 7: Composição Máxima do NDVI.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um sistema de processamento de imagens AVHRR-NOAA. O sistema mostrou ser automático, sem qualquer intervenção humana, agilizando trabalhos que fazem uso de grandes séries multitemporais de dados, por aliar precisão e automação no processo de georreferenciamento das imagens

O georreferenciamento 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 para trabalhos de monitoramento agrícola.

O sistema é aberto e pode ser aperfeiçoado para a geração de outros produtos de interesse.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Colorado Center for Astrodynamics Research nas pessoas dos Doutores Daniel G. Baldwin e William J. Emery por repassarem a tecnologia para conversão de formato, calibração radiométrica e georreferenciamento preciso das imagens AVHRR-NOAA.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOWEN, M.; EMERY, W. J.; WILKING, J. L.; TILDESLEY, P. C.; BARTON, I. J.; KNEWTSON, R. Extracting multiyear surface currents from sequential thermal imagery using the Maximum Cross-Correlation Technique. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 19, n. 10, 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.; KINIRY, 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.

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, n. 6, p. 1697-1705, 1995.

GOODRUM, G.; KIDWELL, K.; WINSTON, W. (Eds.) **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.; TUCKER, C. J.; CHENG-JENG, F. Spectral assessment of soyabean 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., **Proceedings...** Washington, D. C.: NASA, v. 1, p. 309-317, 1973.

WILSON, E. H.; SADER, S. A. Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, n. 3, p. 385-396, 2002.