

Navegação de imagens NOAA/AVHRR e estimativas de temperatura de superfície

Flavio Deppe¹
Paulo Henrique Caramori²
Rodrigo Tsukahara³
Leonardo Calvetti¹
Marciel Lohmann¹
Romário Trentin¹

¹ Instituto Tecnológico SIMEPAR
Caixa Postal 19.100 – 81531-980 - Curitiba - PR, Brasil
{deppe, calvetti, marciel, romario}@simepar.br

² Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR)
Caixa Postal 481 - 86047-902 - Londrina – PR, Brasil
caramori@iapar.br

³ Fundação ABC – Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário
Caixa Postal 1003 - 84165-700 - Castro – PR, Brasil
rodrigo@fundacaoabc.org.br

Abstract: Water balance projects carried out in a regional basis, as opposite to local studies (i.e., considering the single locations of weather stations), need Land Surface Temperature (LST) as well as NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) data in a pixel base frame. Images capture by NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) satellite polar series, which have on board AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) sensors, represent a suitable image data set. However, for a pixel base frame scheme geometric accuracy is need in very high level (up to a maximum of 0,5 pixel RMS error). Also considering the amount of image data involved, automatic procedures are needed to produce the output without human interference. This study describes the implementation of a system, called NavSat (Navigation Satellite), able to generate LST, NDVI, and other products using a set of routines which navigate the NOAA/AVHRR images, and therefore solving image geometry problems due to the dislocation of the platforms (i.e., NOAA satellites). The system also has automatic routines for radiometric and geometric calibrations. When compare land surface temperature (generated with NOAA/AVHRR images), with air temperature (acquired in a weather station), the values area compatible and the correlations acceptable. Water balance project can benefit from the use NOAA/AVHRR land surface temperature and NDVI. Future studies should include the evaluation of NavSat outputs compared with long period weather station air temperature data sets.

Palavras-chave: Remote Sensing,, regional water balance, land surface temperature, Sensoriamento Remoto, balanço hídrico regional, temperatura de superfície.

1. Introdução

Imagens obtidas através de sensores a bordo de satélites orbitais representam uma fonte importante de dados para estudos agrometeorológicos e ambientais em nível regional. Isto por possibilitarem a geração de imagens com alta resolução temporal (cobertura e revisita diária) e visão sinótica da superfície da Terra. Destaca-se aqui o sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), a bordo dos satélites da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), principalmente pela disponibilidade de grandes acervos históricos de imagens de todo o globo (Goodrum et al., 2004).

Este trabalho aborda metodologias adotadas para o pré processamento, e processamento digital das imagens NOAA/AVHRR, bem como metodologias adotadas para a geração das imagens de reflectância, temperatura de brilho e temperatura de superfície (TS). As atividades desenvolvidas fazem parte do escopo de um projeto financiado pela FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), denominado “Regionalização do Balanço Hídrico no Paraná utilizando

Sensoriamento Remoto e Informações da Rede de Pluviômetros”, convênio número 0106119500.

Para a geração de estimativas de evapotranspiração regional, ao contrário da evapotranspiração pontual a partir de uma estação meteorológica, uma das principais variáveis se refere a estimativas de temperatura de superfície gerada a partir das imagens NOAA/AVHRR. Sendo assim, dados de temperatura de superfície são gerados e espacializados em superfície contínua (por pixel), com resolução espacial de 1 km. As demais variáveis são obtidas de maneira pontual a partir de estações meteorológicas automáticas.

No entanto, a necessidade e a disponibilidade de imagens diárias capturadas pelos sensores AVHRR, torna as atividades de pré-processamento, processamento e geração de produtos, extremamente trabalhosa se considerarmos a não automatização, mas intervenções humanas. Salienta-se a necessidade da obtenção de produtos, como por exemplo, imagens de IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e temperatura de superfície, com elevada acurácia geométrica, ou com o menor erro (RMS) possível. Para tanto, a correção geométrica das imagens com tal nível de acurácia, não pode ser obtida através de softwares atualmente disponíveis e incorporados nos sistemas de recepção de imagens NOAA/AVHRR.

Em função destas demandas e necessidade de gerar produtos com qualidade e de forma automática sem a intervenção de operadores, o presente trabalho aborda a utilização de um sistema para o processamento das imagens NOAA/AVHRR de maneira automática. Destaca-se aqui o componente de navegação das imagens.

2. Metodologia de Trabalho

Para a navegação das Imagens, é utilizado o aplicativo e programa NavSat (Navegação de Satélites), o qual se refere a uma versão do NAVPRO. O NavSat foi instalado e customizado no Instituto tecnológico SIMEPAR (em plataforma Linux), e a principal funcionalidade se refere a geração de imagens NOAA/AVHRR em bandas de reflectância, temperatura de brilho, IVDN e temperatura de superfície livres de distorções geométricas. São implementadas as correções provocadas por deslocamentos das plataformas dos satélites e correção da geometria das imagens causadas pela rotação e formato da Terra.

O NAVPRO se refere a versão automatizada do NAV, e foi compilado e desenvolvido através de esforços da FEAGRI, CEPAGRI, UNICAMP e EMBRAPA (Informática Agropecuária), (ver Antunes et al., 2005 e 2009). O pacote NAV foi desenvolvido pelo Colorado Center for Astrodynamics Research (CCAR), da Universidade do Colorado (University of Colorado at Boulder), e é composto por uma série de programas executados via linha de comando, envolvendo conversão de formatos brutos, correção de linhas da imagem, calibração radiométrica, georeferenciamento, etc, (ver Rosborough, et al., 1994).

As principais funcionalidades do NavSat são:

- Busca automática de pontos de controle através da Máxima Correlação Cruzada (MCC), para a geração de vetores e conseqüente correção de atitude do satélite (correção de deslocamentos);
- Definição dos erros das imagens NOAA/AVHRR (em ângulos), oriundos de erros de atitude dos satélites (erros de Yaw (eixo vertical), Roll (eixo longitudinal) e Pitch (eixo transversal));
- Correção de deslocamentos das imagens NOAA/AVHRR oriundos de erros de atitude dos satélites (erros de Yaw (eixo vertical), Roll (eixo longitudinal) e Pitch (eixo transversal));
- Calibração e correção radiométrica via coeficientes de pré lançamento, pós lançamento e coeficientes gerados diariamente (a partir de Dias Julianos);
- Georeferenciamento das imagens NOAA/AVHRR (acurácia menor do que 0,5 pixel);
- Automação parcial das operações;

As imagens de entrada para a operacionalização do NAVSat e geração dos produtos se referem a imagens NOAA/AVHRR em padrão Level1b. Para as imagens necessárias como base para a extração dos pontos de controle e correção geométrica, optou-se por imagens TERRA/MODIS. Foram selecionadas 04 imagens MODIS livres de nuvens e coletadas em datas representativas das 4 estações do ano.

Dentre os principais produtos do NAVSat, destacam-se:

- Imagens de parâmetros físicos como: bandas 1, 2, 3a (reflectância aparente (%)) no topo da atmosfera e bandas 3b, 4, 5 (temperatura de brilho, °K);
- Imagens de emissividade livres de deslocamentos e interferência de nuvens;
- Imagens de índice de vegetação, IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), livres de deslocamentos e interferência de nuvens;
- Imagens de máscara de nuvens livres de deslocamentos;
- Arquivos em formato JPEG;

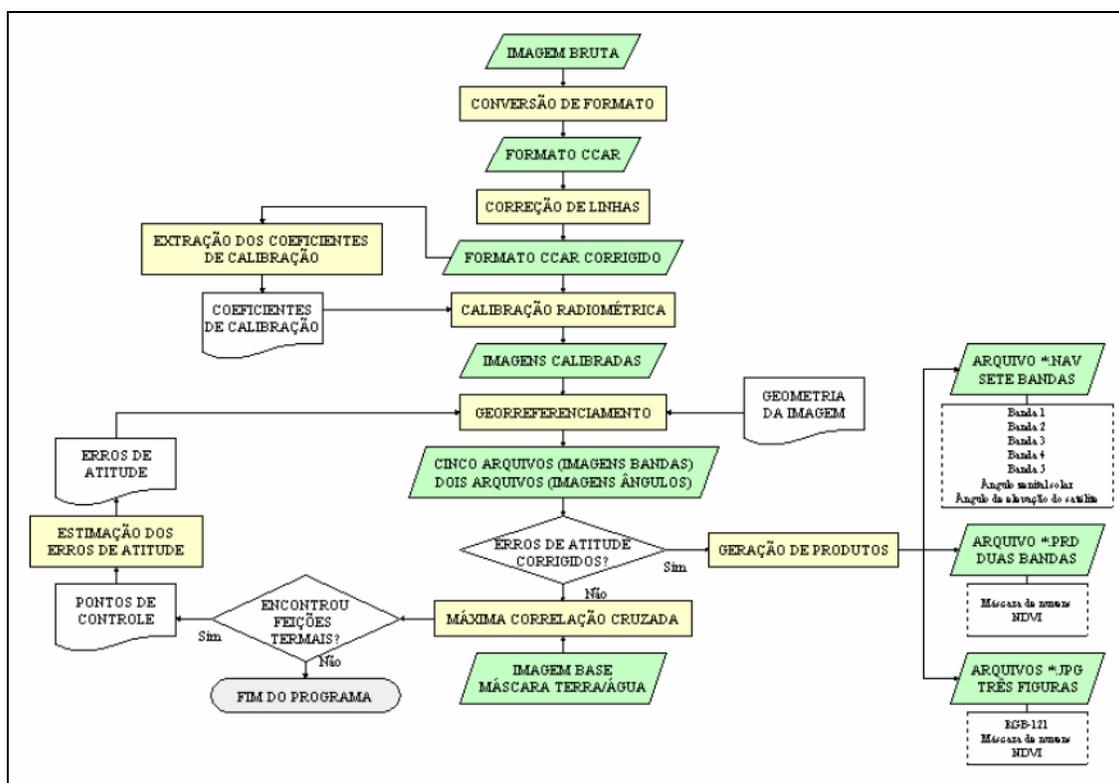


Figura 1. Fluxograma do Aplicativo de Navegação de Imagens (Fonte: Antunes et al., 2005)

No caso da utilização de tecnologias de Sensoriamento Remoto, devem ser considerados alguns aspectos inerentes, tais como os problemas resultantes dos efeitos de absorção atmosférica e da emissividade da superfície. Isto deve ser considerado para cada pixel das imagens. Sendo assim, são vários os métodos para a correção e/ou minimização destes efeitos, possibilitando assim, a geração de imagens de temperatura de superfície com valores próximos do real. Estudos demonstram que a emissividade pode ser a maior fonte de erros quando do cálculo da temperatura de superfície.

Alternativas para a obtenção de valores de emissividades, incluem a utilização de imagens de IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada). Ou seja, utilização da emissividade determinada em função de IVDNs, pode gerar valores de temperatura de superfície muito próximos aqueles observados em campo.

Estudos incluindo Becker (1987) e Quaidrari et al. (2002), demonstram que a emissividade da superfície representa a maior fonte de erros no cálculo de temperatura da superfície (TS). A situação atual demonstra a carência de uma metodologia e métodos plenamente testados e satisfatórios para a geração de temperatura da superfície (TS).

Uma metodologia amplamente adotada se refere ao método Split Window, o qual utiliza valores de temperatura de brilho das bandas 4 e 5 dos sensores NOAA/AVHRR. O método se baseia na diferença da atenuação atmosférica que ocorre nas referidas bandas (Quaidrari et al., 2002). Ou seja, a atenuação que ocorre na banda espectral centrada em 12,0 μm , é maior do que aquela que ocorre na banda centrada em 11,0 μm .

Vários são os algoritmos que poderão ser testados. Os métodos Split Windows, ou então “janela dividida local”, proporcionam uma razoável acurácia nas estimativas de temperatura de superfície (TS). No entanto, a emissividade da superfície deve ser conhecida e separada em duas bandas adjacentes (por exemplo, bandas 4 e 5 dos sensores AVHRR). A emissividade da superfície terrestre é um parâmetro crítico nos métodos Split Window para a determinação da temperatura de superfície. Vegetação densa apresenta alta emissividade, em torno de 0,98, enquanto que solo exposto e rochas, apresentam emissividade em torno de 0,95. Índices de vegetação indicando a densidade da vegetação podem ser utilizados para estimar as emissividades.

O algoritmo utilizado para a obtenção da temperatura de superfície foi baseado no modelo de Sobrino et al. (2001) e modificado por Quaidrari et al. (2002), conforme abaixo.

$$TS = A + B \times T_4 + C(T_4 - T_5) + D(T_4 - T_5)^2 + (E \times TV + F)(1 - \epsilon) \quad (1)$$

Onde:

TS = Temperatura de superfície

A = 12.3626; B = 0.9549; C = 1.8474; D = 0.2038; E = 2.0049; F = 52.3183;

TV = Conteúdo de vapor de uma coluna de ar acima de cada pixel: 0 a 7 g.cm⁻²

A emissividade (ϵ) é calculada pelas equações abaixo:

$$\Delta \epsilon = 0.01019 + 0.0134 \ln(\text{IVDN}) \quad (2)$$

$$\epsilon_4 = 0.9897 + 0.0039 \ln(\text{IVDN}) \quad (3)$$

$$\epsilon_5 = \epsilon_4 - \Delta \epsilon \quad (4)$$

$$\epsilon = (\epsilon_4 + \epsilon_5)/2 \quad (5)$$

3. Resultados e Discussão

A Tabela 1 contém os valores de temperatura de superfície obtidos a partir da aplicação dos algoritmos adaptados de Quaidrari et al. (2002), e valores de temperatura média horária (13:00 horas) medidos a 2 metros de altura na estação meteorológica automática de Ponta Grossa (Latitude -25.2166, Longitude: -50.0166). A referida Tabela também inclui as diferenças absolutas entre as temperaturas. Os valores de temperatura de superfície foram obtidos a partir das imagens NOAA 17, cujos horários das passagens tiveram variações entre as 12:26 horas e 13:13 horas. Foram utilizados 26 eventos entre dezembro de 2007 e dezembro de 2008. O critério para a seleção das datas das imagens de temperatura de superfície utilizadas, considerou a menor interferência de nuvens na região de Ponta Grossa (local onde está instalada a estação meteorológica automática de Ponta Grossa).

Observa-se que a variação das diferenças absolutas -3.18 °C e 3.06 °C, sendo que em 15 eventos a TS foi sub estimada se comparada com as temperaturas medidas. As Figuras 2 e 3 contém gráficos com as respectivas temperaturas (TS e temperatura média).

A Figuras 4 ilustra alguns dos produtos de saída do sistema NavSat, os quais incluem além de imagens de bandas separadas e composição RGB, máscara de nuvens, IVDN e

temperatura de superfície. Já os arquivos de imagens são gerados em formato ENVI e formato tif/tfw.

Tabela 1. Temperatura de Superfície (TS) a partir de imagens NOAA/AVHRR e temperatura média medida em Estação Meteorológica Automática

<i>Data</i>	<i>Hora</i>	<i>TS (°C)</i>	<i>Temp. Média Estação (°C)</i>	<i>Diferença Absoluta (°C)</i>
16-dez-07	13:13	29,51	27,1	2,41
21-dez-07	12:57	23,62	23,3	0,32
22-dez-07	12:34	26,14	26,9	-0,76
25-dez-07	13:05	27,02	23,6	3,42
29-dez-07	13:05	29,42	29,9	-0,48
30-dez-07	12:49	26,92	30,1	-3,18
08-jan-08	12:42	29,16	26,1	3,06
16-jan-08	12:56	25,56	26,2	-0,64
03-fev-08	12:41	27,37	26,0	1,37
06-fev-08	13:10	25,34	23,9	1,44
25-fev-08	12:32	25,86	23,4	2,46
08-mar-08	12:53	27,35	28,0	-0,65
21-mar-08	12:52	23,25	25,3	-2,05
11-abr-08	13:05	27,7	28,1	-0,4
24-abr-08	13:04	22,96	23,6	-0,64
25-abr-07	12:41	20,69	22,7	-2,01
07-mai-08	13:03	17,83	19,1	-1,27
20-mai-08	13:02	23,22	25,8	-2,58
21-mai-08	12:28	21,1	25,3	-4,2
06-jun-08	13:08	22,76	23,6	-0,84
10-jun-08	13:16	13,84	13,8	0,04
29-jun-08	12:35	18,17	20,1	-1,93
06-jul-07	13:13	17,54	19,4	-1,86
08-jul-08	12:26	19,19	22,6	-3,41
15-jul-08	13:04	15,66	16,6	-0,94
05-dez-08	12:47	25,54	22,8	2,74

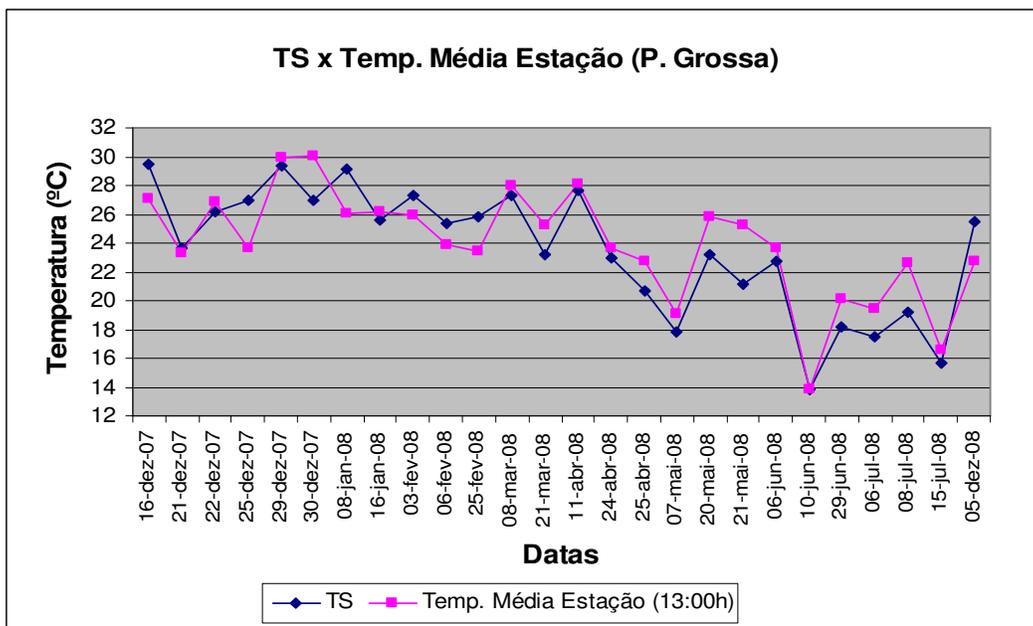


Figura 2. Temperatura de Superfície (TS) a partir de imagens NOAA/AVHRR e temperatura média medida em Estação Meteorológica Automática

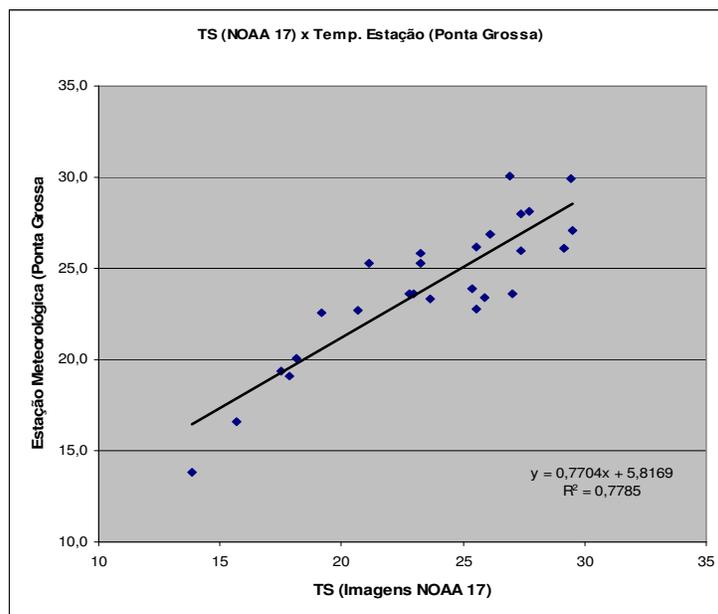


Figura 3. Dispersão de Temperatura de Superfície (TS) a partir de imagens NOAA/AVHRR e temperatura média medida em Estação Meteorológica Automática

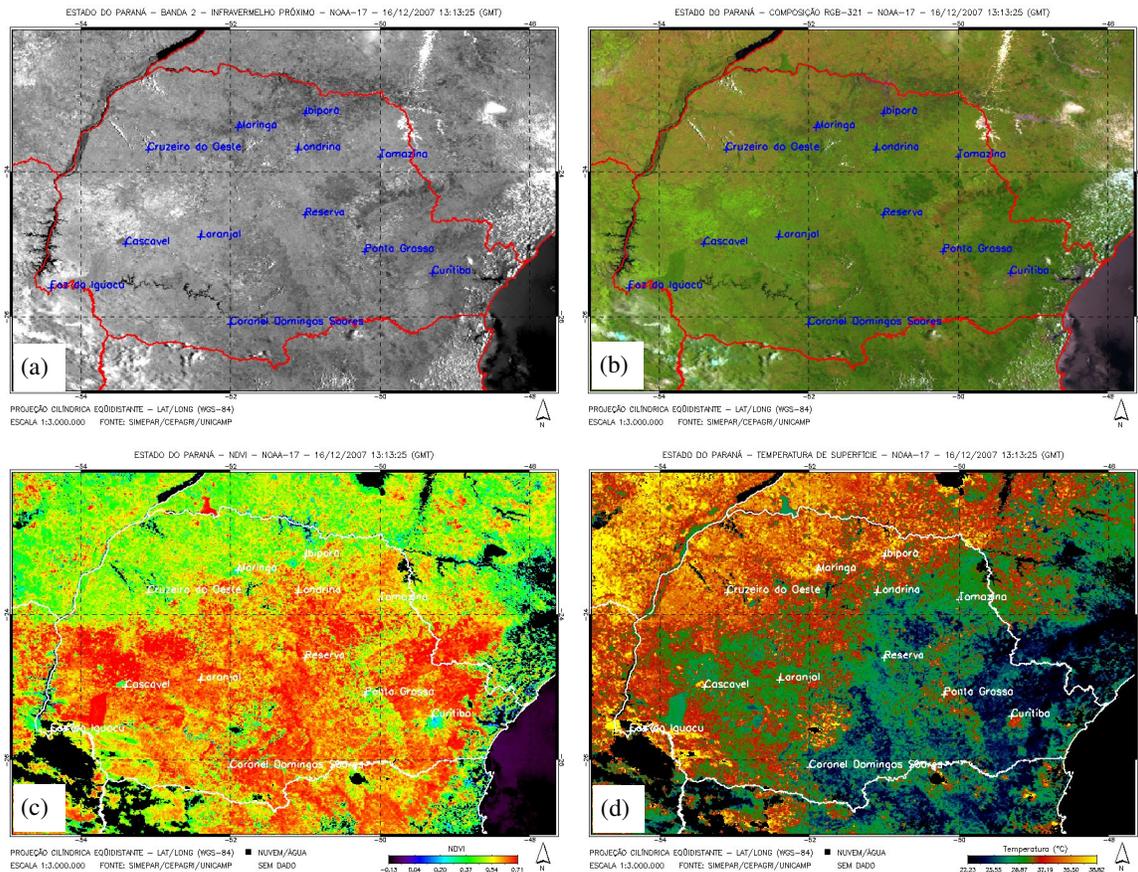


Figura 4. Exemplos dos produtos NavSat incluindo: (a) Banda 2, (b) Composição RGB, (c) IVDN, (d) Temperatura de Superfície (TS)

4. Conclusões

Dentre as principais conclusões destacam-se as seguintes:

- O software NavSat demonstrou resolver os erros de georreferenciamento das imagens NOAA/AVHRR, em função de suas funcionalidades de navegação de imagens;
- Os erros (RMS) de georreferenciamento menores do que 0,5 pixel são adequados e aceitáveis para a espacialização dos principais dados, ou seja, temperatura de superfície (TS) e IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), diretamente utilizados para a geração dos parâmetros de balanço hídrico;
- As rotinas de calibração radiométrica automatizadas e incorporadas no NavSat, além de facilitar a operacionalização proporcionam a utilização de coeficientes atualizados;
- A máscara de nuvens demonstrou ser de extrema utilidade em função de eliminar a contaminação atmosférica dos dados. Outro aspecto se refere a possibilidade de implementação de ajustes e calibrações nos parâmetros utilizados para a geração da máscara;
- Os valores de temperatura de superfície (TS) obtidos a partir das imagens NOAA/AVHRR apresentam compatibilidade com valores de temperatura medidos;

Para os trabalhos futuros visando o aprimoramento da metodologia utilizada, destacam-se os seguintes:

- Avaliação e verificação da possibilidade em aumentar o ângulo de elevação, limitado a 42°, para assim possibilitar a utilização de um número maior de imagens;

- Avaliação e testes para a implementação de outros índices de vegetação, n no sentido de amenizar possíveis impactos causados pelo saturação do IVDN;
- Utilização de imagens base e/ou de referência MODIS mensais para incorporar mudanças sazonais e modificações de corpos de água, utilizados na MCC (Máxima Correlação Cruzada);
- Utilização de uma série longa de dados de temperatura de superfície (TS) e ferramentas estatísticas para estabelecer erros e correlações com valores de temperatura medidos;

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a EMBRAPA Informática Agropecuária, e os pesquisadores João Antunes e Júlio Esquerdo por disponibilizarem o software NAV e auxiliarem para a customização do mesmo no SIMEPAR. Também ao Dr. Daniel G. Baldwin pelo auxílio. A DAS/INPE pela disponibilização algumas imagens NOAA/AVHRR para compor a base de imagens do SIMEPAR. A FINEP pelo financiamento do projeto.

6. Referências Bibliográficas

Antunes, J. F. G., Esquerdo, J. C. M.. Monitoramento agrícola usando análise harmônica de séries temporais de dados NDVI/AVHRR-NOAA. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia. Anais... p. 49-55. São José dos Campos: INPE, 2009.

Antunes, J.F.G., Esquerdo, J.C.D.M., Zullo, J. Desenvolvimento de um sistema automático para a geração de produtos derivados de imagens AVHRR-NOAA. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE. P. 3975-3981, 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 março, 2004.

Quaidrari, H.; Goward, S. N.; Czajkowski, K.P.; Sobrino, J.A.; Vermote, E. Land surface temperature estimation from AVHRR thermal infrared measurements (An assessment for the AVHRR Land Pathfinder II data set). Remote Sensing of Environment, v.81, p.114-128, 2002.

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.

Sobrino, J.A.; Raissouni, N.; Li, Z.-L. A comparative study of land surface emissivity retrieval from NOAA data. Remote Sensing of Environment, v.75, p.256-266, 2001.