

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN (on line): 1981-0997; (impresso): 1981-1160

v.5, n.2, p.256-264, abr.-jun., 2010

Recife - PE, Brasil, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

DOI 10.5039/agraria.v5i2a530

Protocolo 530 - 20/03/2009 • Aprovado em 01/02/2010

Cristina R. Nascimento²

Jurandir Zullo Júnior²

Impacto da correção atmosférica de imagens AVHRR/NOAA-17 no cálculo do índice de vegetação NDVI

RESUMO

Para obter a refletância real da superfície, nas bandas 1 e 2 do sensor AVHRR, foi realizada a correção atmosférica, baseada na entrada dos parâmetros atmosféricos fornecidos pelo sensor MODIS/Terra. A utilização de dados do MODIS está diretamente relacionada à obtenção das informações, necessárias para a correção atmosférica, considerando-se a variabilidade dos parâmetros no tempo e no espaço. Utilizando-se o aplicativo SCORADIS, baseado no modelo de transferência radiativa 5S, foi proposta uma adaptação que possibilitasse a entrada das imagens correspondentes aos planos atmosféricos, através da utilização de metodologias distintas de correção atmosférica. As análises indicaram que as correções apresentaram resultados coerentes com eliminação dos efeitos de espalhamento e de absorção atmosférica. Foi avaliada a magnitude desses efeitos sobre o índice de vegetação NDVI, muito utilizado em estudos agrometeorológicos. A diferença percentual entre as imagens com e sem correção chegou a ser de aproximadamente 60 a 80% para as datas analisadas, ressaltando a importância da correção atmosférica dessas imagens.

Palavras-chave: efeitos atmosféricos, SCORADIS, MODIS

Impact of atmospheric correction in AVHRR/NOAA-17 images for calculation of NDVI vegetation index

ABSTRACT

In order to obtain true surface reflectance in bands 1 and 2 of the AVHRR sensor, atmospheric correction was performed based on input provided by the atmospheric parameters from MODIS sensor. The use of MODIS data is directly related to obtaining the needed information for atmospheric correction, considering the variability of parameters in time and space. Using the SCORADIS algorithm, which is based on the 5S radioactive transfer model, it was proposed an adjustment viewing to allow the entry of atmospheric images corresponding to the plans through the use of different methodologies for atmospheric correction. These analyses indicated that the performed corrections had results consistent with the elimination of the effects of atmospheric scattering and absorption. We tested the magnitude of these effects on the NDVI vegetation index that is widely used in agrometeorological studies. The percentage difference between the images with and without correction lasted up to approximately 60 to 80% for the analyzed dates, emphasizing the importance of atmospheric correction of images.

Key words: atmospheric effects, SCORADIS, MODIS

² Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Engenharia Agrícola, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Distrito de Barão Geraldo, CEP13083-970, Campinas-SP, Brasil. Fone/fax: (19) 3521-1127. E-mail: cristina@cpa.unicamp.br; jurandir@cpa.unicamp.br

¹ Parte da dissertação apresentada pelo primeiro autor a Universidade Estadual de Campinas.

INTRODUÇÃO

Cada vez mais, modelos são utilizados para estimativas de safras de culturas agrícolas. Entre eles podem-se citar modelos que integram informações agrometeorológicas e espectrais da vegetação obtidas a partir de sensores remotos (Liu & Kogan, 2002; Melo et al; 2003; Rizzi, 2005). Esses modelos, chamados de agrometeorológicos-espectrais permitem realizar tanto estimativas da previsão do rendimento da vegetação, como o monitoramento nos seus diferentes estágios fenológicos, informando a ocorrência de problemas durante seu crescimento e desenvolvimento que possam influenciar na sua produtividade (Motta et al., 2003).

A radiação detectada pelos sensores orbitais é função das propriedades espectrais dos objetos imageados, bem como da interferência da atmosfera. À medida que ocorrem alterações morfofisiológicas no dossel, as frações absorvida, transmitida e refletida da radiação eletromagnética apresentam variações, sendo que a análise e a quantificação destas variações é o que possibilita a integração dos dados espectrais com modelos matemáticos de produção vegetal. Segundo Fonseca (2007), para este tipo de estudo a refletância da vegetação medida em diferentes faixas do espectro eletromagnético é preferida devido à sua medição remota operacional feita pelos sensores orbitais.

Normalmente as regiões espectrais do visível e do infravermelho próximo são as mais utilizadas nestas estimativas, porém são afetadas diretamente pelos efeitos atmosféricos de espalhamento, provocados pelos aerossóis atmosféricos e absorção ocasionada pelo vapor d'água e ozônio. Juntos, estes efeitos promovem a diminuição dos valores possíveis que seriam registrados pelo sensor, diminuição do contraste entre superfícies adjacentes e alteração do brilho em cada ponto da imagem (Zullo Jr., 1994). A correção atmosférica torna-se um processo imprescindível, visto que permite a remoção ou diminuição das influências atmosféricas representando uma das fases mais importantes dentro do processamento digital de imagens de satélites (Rosa, 2007).

Para realização das correções, é necessário o conhecimento das condições da atmosfera no momento da aquisição das imagens. Somente assim é possível recuperar, com modelos matemáticos, o percurso da radiação e reconstruir as características espectrais da superfície terrestre. Com o lançamento dos satélites TERRA, em dezembro de 1999, e AQUA em maio de 2002, a obtenção dos dados atmosféricos, que até então representavam uma grande dificuldade, tornou-se mais factível. A bordo destes satélites, o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) possibilita os monitoramentos atmosféricos, oceânico e continental. Através do monitoramento atmosférico é possível adquirir informações que podem ser utilizadas nos processos de correção atmosférica (Vermote, 2002).

O enfoque do presente trabalho foi o de avaliar o potencial do sensor MODIS quanto à utilização dos produtos atmosféricos por ele gerados, para correção atmosférica das imagens do sensor AVHRR/NOAA-17. Os produtos atmosféricos por sua vez servirão como dados de entrada no modelo de transferência radiativa 5S (*Simulation du Signal Satellitaire*

dans le Spectre Solaire), desenvolvido por Tanré (1990), através do aplicativo SCORADIS (Sistema de Correção Radiométrica de Imagens de Satélite), proposto por Zullo Jr (1994), que foi modificado para gerar imagens corrigidas (refletância da superfície), partindo-se das imagens sem correção (refletância aparente). As imagens corrigidas possibilitaram a obtenção de informações mais confiáveis e, conseqüentemente, um melhor embasamento físico em estudos que visem, principalmente à caracterização de superfícies vegetais através dos chamados índices de vegetação, entre eles o NDVI, muito utilizado em estudos que correlacionam informações espectrais com parâmetros agrometeorológicos das culturas agrícolas.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo utilizada neste trabalho está localizada entre as coordenadas 13° 22' 6,48" a 16° 57' 3,08" de latitude Sul e 47° 5' 1,54" a 51° 44' 58,49" de longitude Oeste, englobando parte dos Estados do Piauí, Maranhão, Tocantins, Goiás, Minas Gerais e Bahia, apresentando dimensão de 1024 linhas e 1024 colunas. As imagens do sensor AVHRR/NOAA-17 dos dias 14/07/2004 e 30/08/2005 que passaram pelo processo de correção foram obtidas do banco de imagens do centro de pesquisas meteorológicas e climáticas aplicadas à agricultura (CEPAGRI/Unicamp).

A seleção destas imagens está diretamente relacionada à data de passagem do satélite TERRA, sobre o local acima especificado, às 10:30 h da manhã em sua órbita descendente. Nas Figuras 1 e 2 são apresentadas as imagens brutas (nível 1B) do sensor AVHRR, para as datas acima relacionadas, nas regiões espectrais do vermelho (banda 1) e do infravermelho próximo (banda 2). Como estas imagens são disponibilizadas em formato HRPT (*High Resolution Picture Transmission*) – Telonics, foi necessário convertê-las para um formato compatível com o ENVI (*Environment for visualizing image*), software utilizado para o processamento das imagens. Além da conversão para o formato NAVPro (Esquerdo et al., 2006), foi realizada a calibração radiométrica (que consistiu na conversão dos números digitais de 10 bits para 8 bits, ou seja, para variação dos níveis de cinza de 0 a 255, considerando erro máximo de 1 pixel (Antunes, 2005).

As imagens contendo os parâmetros atmosféricos: espessura óptica dos aerossóis a 550nm (produto MOD04), coluna integrada de vapor d'água obtida na banda do infravermelho – IR Infrared (produto MOD05) e coluna integrada de ozônio (produto MOD07), do sensor MODIS foram obtidas do site de distribuição dos produtos atmosféricos o MODIS *Atmosphere* (2007) para as datas consideradas na presente análise. Estas imagens apresentam a vantagem de representar espacialmente a variabilidade dos parâmetros atmosféricos na área de estudo, no momento da passagem do satélite. Todos os produtos, acima relacionados foram obtidos a partir de arquivos de radiação já navegados ou, segundo terminologia utilizada pelo *Goddard Space Flight Center* (GSFC/NASA) - nível L2; ou seja, dados de radiação processados por algoritmos específicos para obtenção de diversos parâmetros ge-

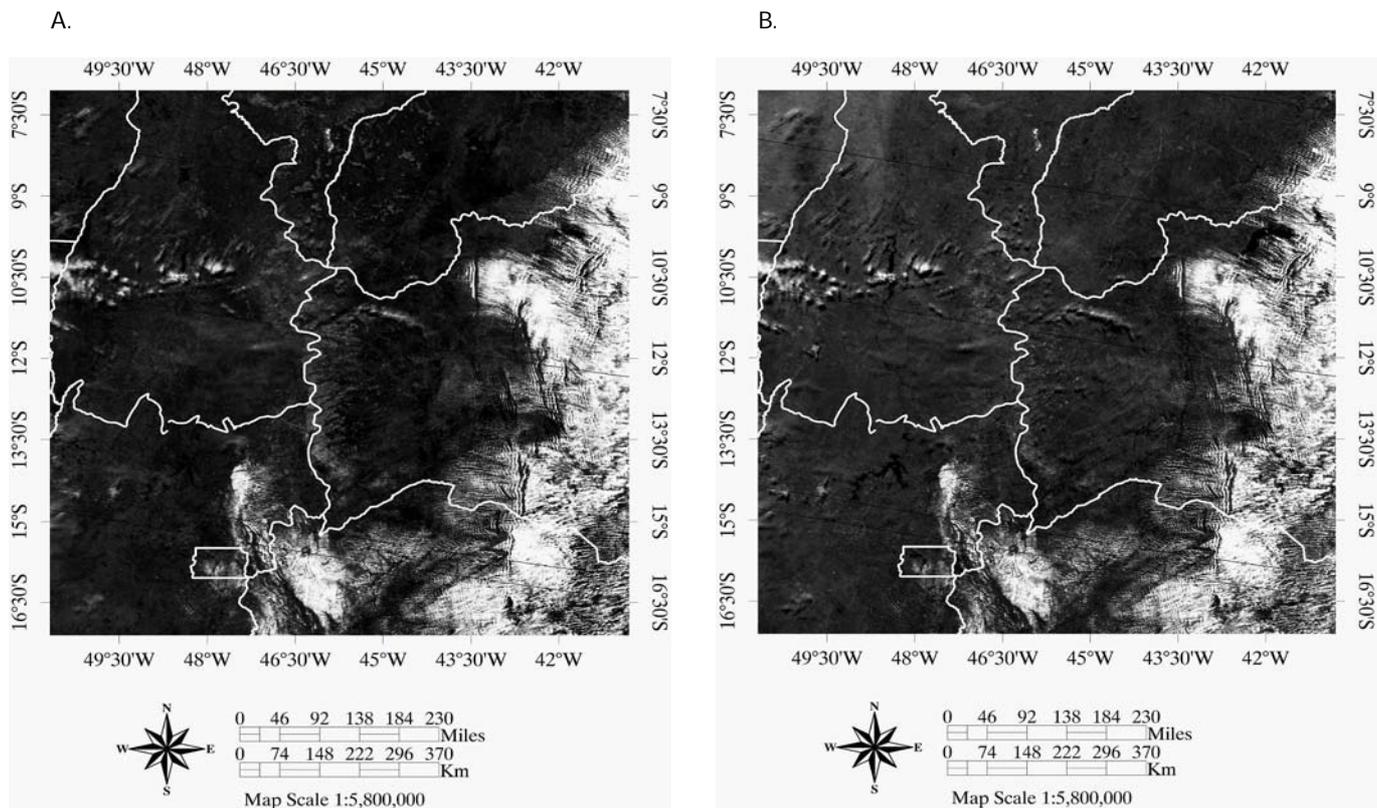


Figura 1. Imagens AVHRR originais (Nível 1B) em nível de cinza do dia 14/07/2004, representando respectivamente a região do vermelho – Banda 1 (A) e infravermelho próximo - Banda 2 (B)

Figure 1. Original AVHRR images (Level 1B) in DN of the day 14/07/2004, representing respectively the red - Band 1 (A) and the near infrared - Band 2 (B)

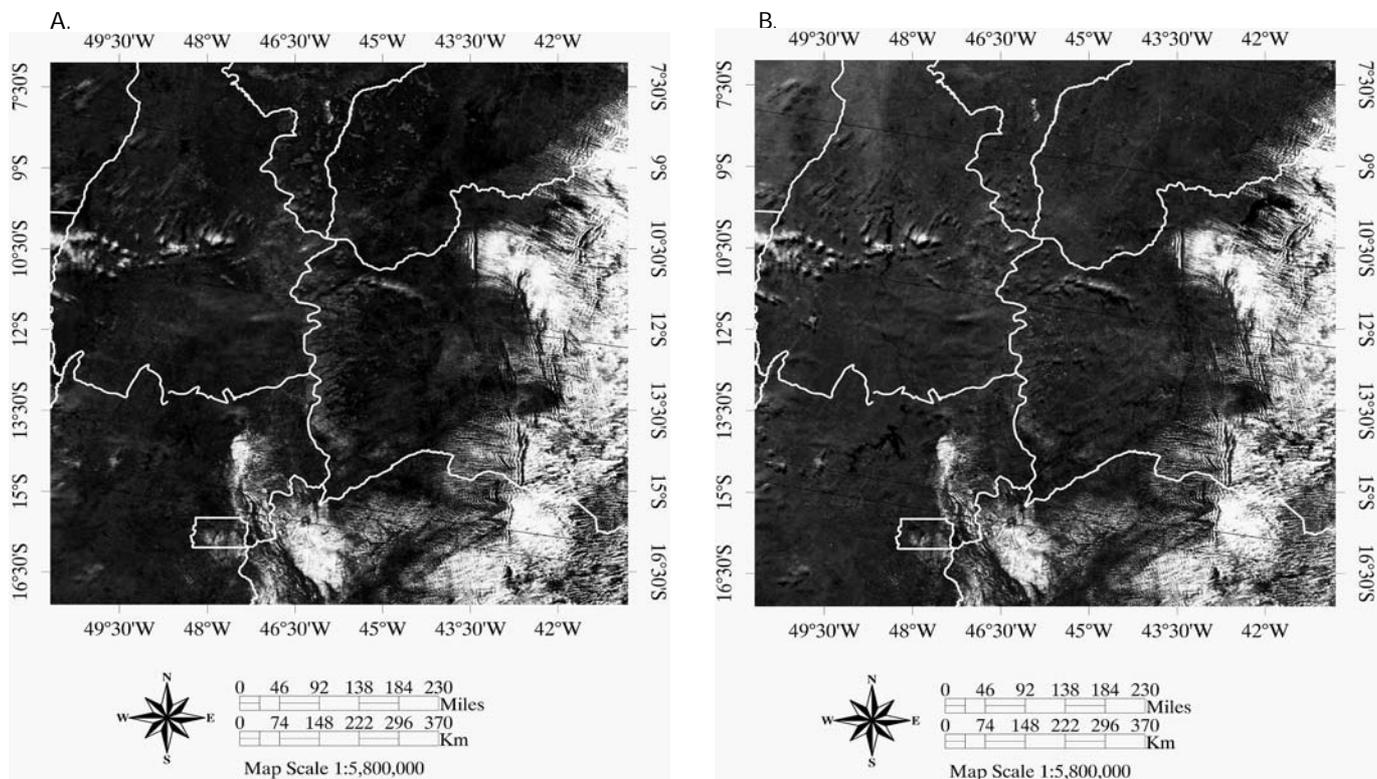


Figura 2. Imagens AVHRR originais (Nível 1B) em nível de cinza do dia 30/08/2005, representando respectivamente a região do vermelho – Banda 1 (A) e infravermelho próximo - Banda 2 (B)

Figure 2. Original AVHRR images (Level 1B) in DN of the day 30/08/2005, representing respectively the red - Band 1 (A) and the near infrared - Band 2 (B)

ópticos, posteriormente distribuídos na forma de produtos MODIS.

O algoritmo de estimativa para geração das imagens aerossol continental, com resolução espacial de 10 x 10km, utiliza os canais espectrais nos comprimentos de ondas 470, 650 e 2,110nm, onde o último é utilizado na determinação da refletância da superfície. A partir de modelos sazonais de distribuição média dos aerossóis construídos para toda a superfície terrestre e utilizando a razão entre os FRBs (Fator de refletância bidirecional da superfície) provenientes do aerossol nas bandas do azul e do vermelho nas condições de aquisição específicas da imagem, o algoritmo define um tipo de aerossol. Segundo o tipo de aerossol, o algoritmo seleciona um modelo apropriado, que consiste na tabulação de propriedades importantes para o cálculo das influências do aerossol em função do espalhamento (Correia, 2007).

Já os algoritmos que estimam o vapor d'água e o ozônio apresentam resolução espacial de 5 x 5 km. Para geração das imagens do vapor d'água atmosférico os algoritmos usam as proporções das bandas de absorção de vapor (0,94µm), com bandas onde estão localizadas as janelas atmosféricas (0,86µm e 1,24µm). As proporções removem parcialmente os efeitos da variação da refletância da superfície em função de um comprimento de onda e resultam na transmitância do vapor d'água atmosférico. No caso do ozônio os algoritmos empregados fazem uma regressão estatística utilizando 12 bandas do infravermelho com comprimento de onda entre 4,47µm (banda 24) e 14,24µm (banda 36). Uma série de dados contendo mais de 8400 perfis obtidos por radiosondagens é utilizada para obter os coeficientes de regressão, que são aplicados às medidas do MODIS para obter a estimativa dos perfis atmosféricos (Vermote, 2002). Nas Figuras 3 e 4 é apresentada a caracterização atmosférica para os dias 14/07/2004 e 30/08/

2005, respectivamente. Com as imagens a serem corrigidas e os parâmetros atmosféricos necessários para a correção, foi utilizando o aplicativo SCORADIS, desenvolvido por Zullo Jr. (1994), que está baseado na teoria e nos parâmetros atmosféricos calculados pelo modelo de transferência radiativa 5S.

O modelo foi adaptado para a correção de imagens com condições atmosféricas diferentes. A adaptação do programa equivale, de acordo com a terminologia utilizada pelo sistema, à transformação do sinal aparente (\bar{n}_{SAT}) para o valor de refletância realmente refletido pela superfície terrestre (\bar{n}_{REAL}). Os itens abaixo apresentam as Equações para determinação das refletâncias aparente e real das imagens AVHRR.

1º) Os cálculos das imagens de refletância aparente (ρ_{SAT}) ao nível do satélite são expressos nas Equações 1 e 2.

$$\rho_{SAT} = 255 * NC_{SAT} = \frac{255 * \pi * (NC(R_{SAT}) - Offset)}{A * I_0} \quad (1)$$

$$= 255 * \left(\frac{(NC(R_{SAT}) - Offset)}{K} \right)$$

Sendo,

$$K = \frac{A * I_0}{\pi} \quad (2)$$

onde A é o fator de conversão da energia R_{SAT} recebida pela banda temática do satélite, em valores inteiros variando de 0 a 255, ou seja, é o valor numérico da imagem por unidade de radiância. *Offset* é o valor digital correspondente à radiância mínima registrada pelo satélite, e I_0 é a irradiância solar exoatmosférica.

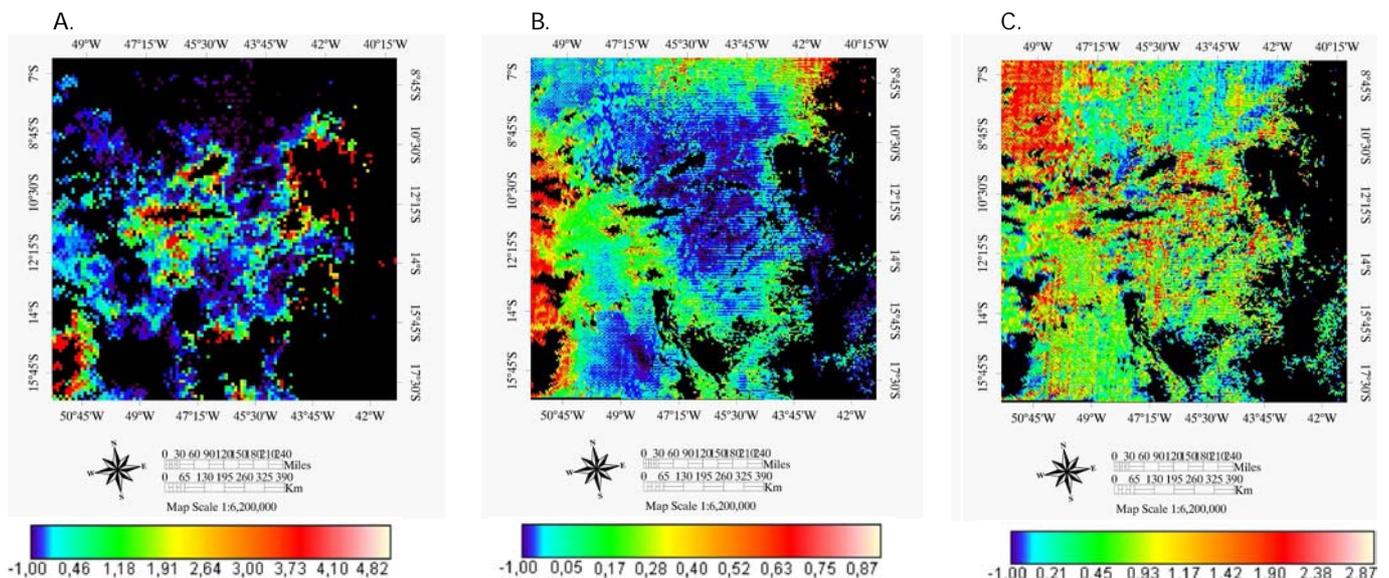


Figura 3. Imagens dos produtos atmosféricos obtidos através do sensor MODIS em 14/07/2004. As imagens contêm, respectivamente, dados relativos aos aerossóis (A), vapor d'água em g/cm^2 (B) e ozônio em unidades Dobson-DU (C)

Figure 3. Atmospheric images of products obtained by the MODIS sensor on 14/07/2004. The images contain, respectively, data on aerosol (A), water vapor in g/cm^2 (B) and ozone in Dobson unit - DU (C)

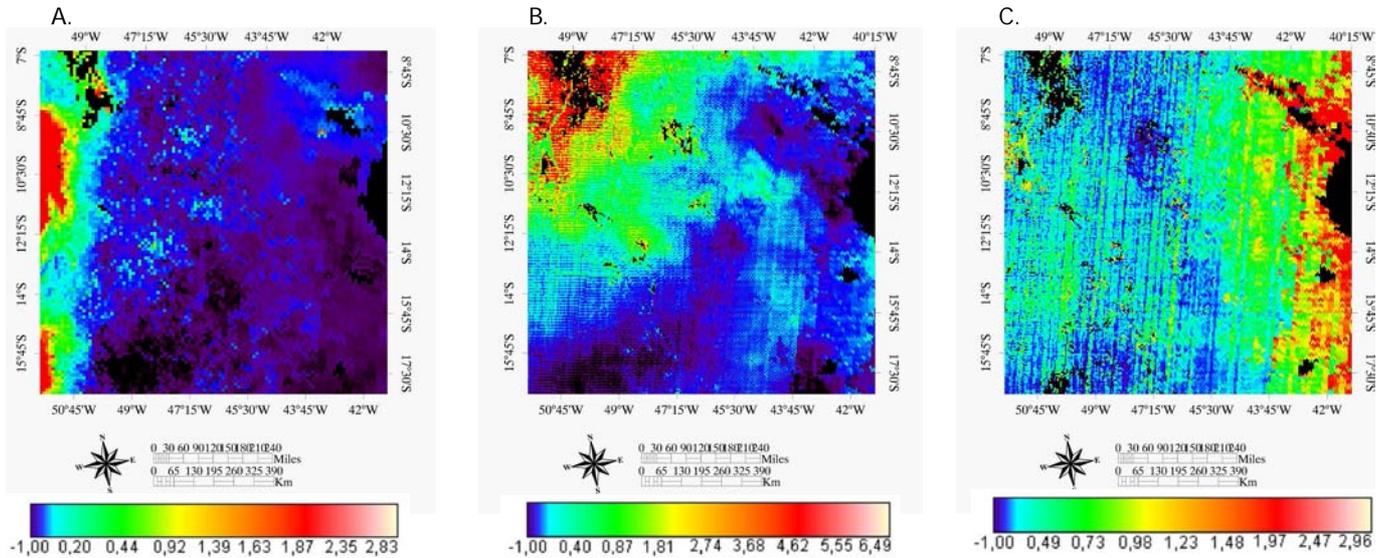


Figura 4. Imagens dos produtos atmosféricos obtidos através do sensor MODIS em 30/08/2005. As imagens contêm, respectivamente, dados relativos aos aerossóis (A), vapor d’água em g/cm² (B) e ozônio em unidades Dobson-DU (C)

Figure 4. Atmospheric images of products obtained through MODIS sensor on 30/08/2005. The images contain, respectively, data on aerosol (A), water vapor in g/cm² (B) and ozone in Dobson unit - DU (C)

2º) Os cálculos das imagens de refletância real (ρ_{REAL}) ao nível do satélite são expressos nas Equações 3 e 4.

$$\rho_{REAL} = 255 * \left(\frac{(NC(R_{SAT}^1) - Offset) - K * t_g * \rho_{atm}}{((NC(R_{SAT}^1) - Offset) - K * t_g * \rho_{atm})S + K * t_g * T(\theta_s) * T(\theta_v)} \right) \quad (3)$$

onde,

t_g é a transmitância gasosa;

ρ_{atm} é a refletância atmosférica;

$T(\theta_s)$ é a transmitância total da radiação solar na atmosfera difusora, para o ângulo zenital solar (θ_s) obtido das imagens MODIS;

$T(\theta_v)$ é a transmitância total da radiação solar na atmosfera difusora, para o ângulo zenital solar (θ_v) obtido das imagens MODIS;

$NC(R_{SAT}^1)$ é o nível de cinza original após a remoção dos efeitos provocados pela heterogeneidade da superfície terrestre, sendo formulado como:

$$NC(R_{SAT}^1) = NC(R_{SAT}) + \frac{t_{dif}(\theta_v)}{T(\theta_v)} [NC(R_{SAT}) - \left(\frac{F(\bar{r})}{\sum_{r \leq r} F^1(r)} \right) * \sum_{r \leq r} (NC(R_{SAT})F^1(r) + NC(R_{VIZ}) * (1 - F(\bar{r})))] \quad (4)$$

onde,

$F(r)$ é a função atmosférica devida aos gases e aerossóis;

(r) é a distância de um ponto qualquer ao centro da imagem;

(\bar{r}) é o raio da vizinhança heterogênea situada ao redor do pixel de interesse;

$NC(R_{VIZ})$ é o nível de cinza médio da vizinhança homogênea, situa além da vizinhança heterogênea do pixel de interesse;

$t_{dif}(\theta_v)$ é o fator total de transmissão difusa na atmosfera para o ângulo zenital (θ_v) do satélite.

O cálculo da refletância real (ρ_{REAL}) ao nível do solo corresponde à remoção dos efeitos de espalhamento e absorção atmosféricos, devidos aos gases e aerossóis, e também, à remoção dos efeitos provocados pela heterogeneidade espacial das superfícies terrestres. Para obtenção da correção atmosférica “pixel a pixel”, as imagens do AVHRR e a do MODIS necessitam estar num mesmo plano, ou seja, apresentarem a mesma resolução espacial e radiométrica, estarem georreferenciadas e possuírem números iguais de linhas e colunas. A uniformização tanto das imagens do AVHRR como do MODIS incluiu seis passos essenciais:

- 1- Conversão das imagens para a projeção UTM datum WGS-84;
- 2- Conversão das diferentes resoluções espaciais para 1,1km;
- 3- Recorte da área de interesse com resolução de 1024 x 1024 pixels;
- 4- Substituição dos dados faltantes (áreas das imagens não estimadas pelo sensor) pela média aritmética de 10% dos pixels, distribuídos aleatoriamente na imagem descartando-se os pixels contaminados com nuvens;
- 5- Transformação dos valores dos parâmetros atmosféricos em nível de cinza (NC);
- 6- Formatação das imagens para o formato (*.bil - bandas interpoladas por linhas), com 1byte/pixel.

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios obtidos após a seleção dos pontos amostrados. Estes valores foram

Tabela 1. Médias dos pontos amostrados nas imagens correspondentes aos produtos atmosféricos fornecidos pelo sensor MODIS**Table 1.** Average of the sampled points in the images corresponding to the products supplied by atmospheric sensor MODIS

Datas	Valor médio dos parâmetros atmosféricos		
	Aerossol	Vapor d'água (g/cm ²)	Ozônio(cm atm)
14/07/2004	0,161	2,731	0,266
30/08/2005	0,292	2,387	0,268

substituídos nas áreas cujas informações atmosféricas não foram registradas e/ou captadas pelo sensor. As áreas sem informação são apresentadas em preto nas Figuras 3 e 4. Pode-se notar que a estimativa feita pelo sensor está diretamente relacionada à presença e/ou ausência de nuvens.

No caso da espessura óptica dos aerossóis, a estimativa pode também não ser realizada devido ao impacto da contaminação ocasionado por nuvens baixas. Com a substituição dos valores faltantes nas imagens dos planos atmosféricos, foi necessário realizar a conversão, dessa informação para nível de cinza (Equação 5). A transformação baseou-se na relação entre os valores máximos e mínimos da cena e da resolução radiométrica de 8 bits das imagens do AVHRR/NOAA-17 (Nascimento, 2006).

$$NC(pixel) = \frac{255}{V_{m\acute{a}x} - V_{m\acute{i}n}} \times (x - V_{m\acute{i}n}) \quad (5)$$

onde,

NC (pixel) = Nível de cinza associado ao parâmetro atmosférico;

$V_{m\acute{a}x}$ = Maior valor do parâmetro atmosférico na cena;

$V_{m\acute{i}n}$ = Menor valor do parâmetro atmosférico na cena;

x = Valor do parâmetro atmosférico.

A partir da padronização das imagens MODIS, para nível de cinza, foram propostas quatro diferentes metodologias de

Tabela 2. Valores médios dos níveis de cinza presentes nas imagens MODIS correspondentes aos parâmetros atmosféricos**Table 2.** Average DN in the scene in the MODIS images corresponding to the atmospheric parameters

Parâmetro	Datas	Média do NC
Aerossol (MOD04)	14/07/2004	45
	30/08/2005	18
Vapor d'água (MOD05)	14/07/2004	141
	30/08/2005	67
Ozônio (MOD07)	14/07/2004	42
	30/08/2005	109

Tabela 3. Valores médios dos níveis de cinza do "pixel" selecionado para a metodologia-3**Table 3.** Average DN of the selected "pixel" for the methodology-3

Prod.	Data	Col.	Lin.	Lat.	Long.	NC
Aerossol	14/07/04	464	547	12° 0'5,79"S	45° 4' 3,27"W	101
	30/08/05	33	353	10° 21' 2,96"S	50° 0'6,89"W	93
Vapor d'água	14/07/04	464	547	12° 0'5,79"S	45° 4' 3,27"W	127
	30/08/05	33	353	10° 21' 2,96"S	50° 0'6,89"W	128
Ozônio	14/07/04	464	547	12° 0'5,79"S	45° 4' 3,27"W	56
	30/08/05	33	353	10° 21' 2,96"S	50° 0'6,89"W	101

entrada desses dados no SCORADIS, a fim de avaliar o impacto da correção para toda a imagem. A metodologia-1 consistiu na entrada de dados considerando a variabilidade dos parâmetros atmosféricos na cena. Na metodologia-2 foi considerada a média dos níveis de cinza presentes na cena. Na Tabela 2 são mostrados os valores utilizados nas substituições. Neste caso, foram geradas novas imagens aerossol, vapor d'água e ozônio, onde todos os pixels dentro da dimensão de 1024 linhas por 1024 colunas foram substituídos pelo valor médio considerado.

Na metodologia-3 foi sorteado um pixel dentro da cena, para cada data. O pixel selecionado está localizado no município de Barreiras (BA). O objetivo principal da seleção deste pixel foi avaliar o quanto a correção atmosférica, utilizando dados detalhados, se diferencia das correções que consideram um único valor representando toda a cena. Na Tabela 3 é apresentada a localização geográfica e o valor do nível de cinza do pixel selecionado nas diferentes datas.

A última metodologia de entrada de dados (metodologia-4), no modelo foi realizada considerando a imagem aerossol da metodologia-1 e as imagens de vapor d'água e ozônio da metodologia-2. O intuito é avaliar o impacto da utilização de imagens detalhadas dos aerossóis, que é o parâmetro atmosférico principal no processo de correção atmosférica. Para avaliar a influência da correção atmosférica nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo do sensor AVHRR, foi calculado o índice de vegetação NDVI (Equação 6). O enfoque é quantificar o impacto da correção em imagens de baixa resolução espacial com dados atmosféricos detalhados, demonstrando a influência real da atmosfera em aplicações de real interesse prático, comparando-se os resultados do índice obtido a partir de imagens corrigidas, daqueles obtidos de imagens sem correção atmosférica.

$$NDVI = \frac{\rho(\text{Infravermelho}) - \rho(\text{Vermelho})}{\rho(\text{Infravermelho}) + \rho(\text{Vermelho})} \quad (6)$$

onde,

$\rho_{\text{Infravermelho}}$ = refletância no canal do infravermelho próximo (Banda 2)

ρ_{Vermelho} = refletância no canal do vermelho (Banda 1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas comparações entre as imagens corrigidas através das diferentes metodologias e as imagens não corrigidas para os efeitos atmosféricos, através dos seus valores

Tabela 4. Parâmetros estatísticos: Média, Desvio Padrão (DP) e Coeficiente de variação (C.V.), para o dia 14/07/2004, com mascaramento das nuvens

Table 4. Statistical parameters: mean, standard deviation (SD) and coefficient of variation (CV) for the day 14/07/2004, with masking of clouds

Banda	Parâmetro	ρ_{SAT}	$\rho_{REAL\ 1}$	$\rho_{REAL\ 2}$	$\rho_{REAL\ 3}$	$\rho_{REAL\ 4}$
1	Média	0,067	0,043873	0,043691	0,043760	0,043877
	D.P.	0,018	0,023476	0,023462	0,023283	0,023507
	C.V.	27,31	53,50	53,69	53,20	53,57
2	Média	0,128939	0,159033	0,159231	0,159128	0,155456
	D.P.	0,019298	0,025797	0,025806	0,025743	0,025215
	C.V.	14,96	16,22	16,22	16,17	16,22

Tabela 5. Parâmetros estatísticos: Média, Desvio Padrão (DP) e Coeficiente de variação (C.V.), para o dia 30/08/2005, com mascaramento das nuvens

Table 5. Statistical parameters: mean, standard deviation (SD) and coefficient of variation (CV) for the day 30/08/2005, with masking of clouds

Banda	Parâmetro	ρ_{SAT}	$\rho_{REAL\ 1}$	$\rho_{REAL\ 2}$	$\rho_{REAL\ 3}$	$\rho_{REAL\ 4}$
1	Média	0,054927	0,032701	0,033138	0,034233	0,032780
	D.P.	0,016945	0,019202	0,019909	0,019767	0,021363
	C.V.	30,85	58,87	60,07	57,77	65,10
2	Média	0,061406	0,064700	0,064734	0,065073	0,064822
	D.P.	0,013500	0,018255	0,017950	0,017658	0,017779
	C.V.	21,98	28,21	27,84	27,13	27,42

extremos (máximos e mínimos), média, desvio padrão e coeficiente de variação. Esta análise foi realizada para toda a cena, mascarando-se os “pixels” contaminados por nuvens. Nas Tabelas 4 e 5 é apresentada a variação dos valores obtidos para os dias 14/07/2004 e 30/08/2005, respectivamente, para as bandas espectrais do vermelho (banda 1) e infravermelho próximo (banda 2). A diminuição dos valores de refletância da superfície na banda 1 e o aumento na banda 2 indicam a eliminação dos efeitos do espalhamento ocasionado principalmente pelos aerossóis e dos efeitos de absorção atmosférica provocados pelo vapor d’água e ozônio.

É possível observar a magnitude entre os valores de refletância real (ρ_{REAL}) e refletância aparente (ρ_{SAT}), entre os

diferentes tratamentos. A presença real da atmosfera em imagens de satélite altera os valores possíveis que deveriam ser registrados pelo sensor. Esta alteração está diretamente relacionada com a atuação dos efeitos de espalhamento e absorção, ocasionados por sua vez pelos aerossóis, vapor d’água e ozônio. Para a banda 1, a correção realizada pelas quatro propostas de entrada de dados resultou em valores de refletância real menores em relação à refletância aparente. Esta variação é função da contribuição aditiva do efeito de espalhamento ocasionados pelos aerossóis atmosféricos. O contrário ocorreu em relação à absorção que afeta a banda 2; neste caso a atmosfera faz com que o efeito seja subtrativo.

As imagens corrigidas apresentaram um aumento no desvio padrão e no coeficiente de variação, o que está diretamente relacionado ao aumento do contraste e qualidade. Não houve diferença significativa entre as diferentes metodologias, quando aplicado o ANOVA e o teste Tukey de médias (Minitab®) com 95% de confiança.

Os resultados são apresentados nas Figuras 5 e 6 e concordam com aqueles encontrados por Cachorro et al. (2000), confirmando que o detalhamento atmosférico não é relevante para o nível de precisão que as imagens do AVHRR requerem, o que está diretamente relacionado também com a resolução espacial de 1,1Km. Isto pode ter acontecido, também, devido aos valores dos parâmetros atmosféricos registrados nas datas consideradas (14/07/2004 e 30/08/2005). Eles podem não ter sido elevados o suficiente para provocar diferenças significativas entre as metodologias mais simples (2 e 3) e as sofisticadas (1) e (4) de entrada de dados atmosféricos. Por outro lado, por se tratar de uma região utilizada na calibração do satélite CBERS, a possibilidade de utilização de métodos mais simples de definição dos parâmetros atmosféricos e a menor magnitude deles, mesmo na época seca, podem ser de grande aplicação prática.

Na Tabela 6 é apresentada a variação percentual do NDVI para o dia 14/07/2004 calculada a partir das imagens corrigidas e não corrigidas para os efeitos atmosféricos. É possível

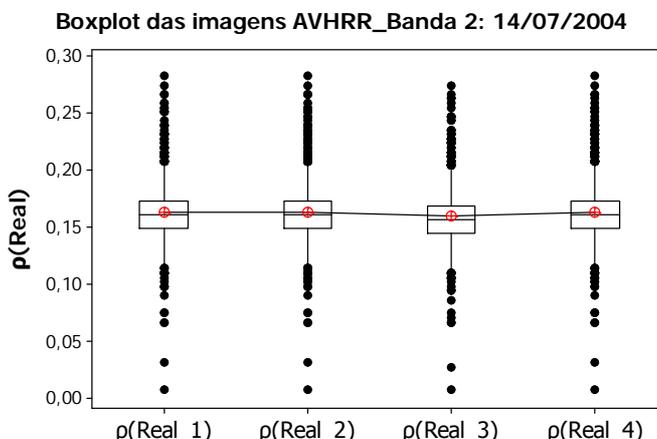
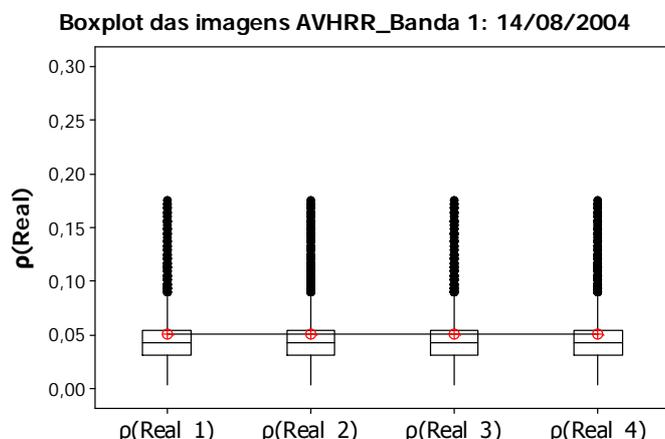


Figura 5. Boxplot das imagens do sensor AVHRR, representando a refletância real da superfície para as quatro diferentes metodologias aqui utilizadas, nas bandas 1 e 2

Figure 5. Boxplot of the images of the AVHRR sensor, representing the real reflectance of the surface in four different methodologies, in bands 1 and 2

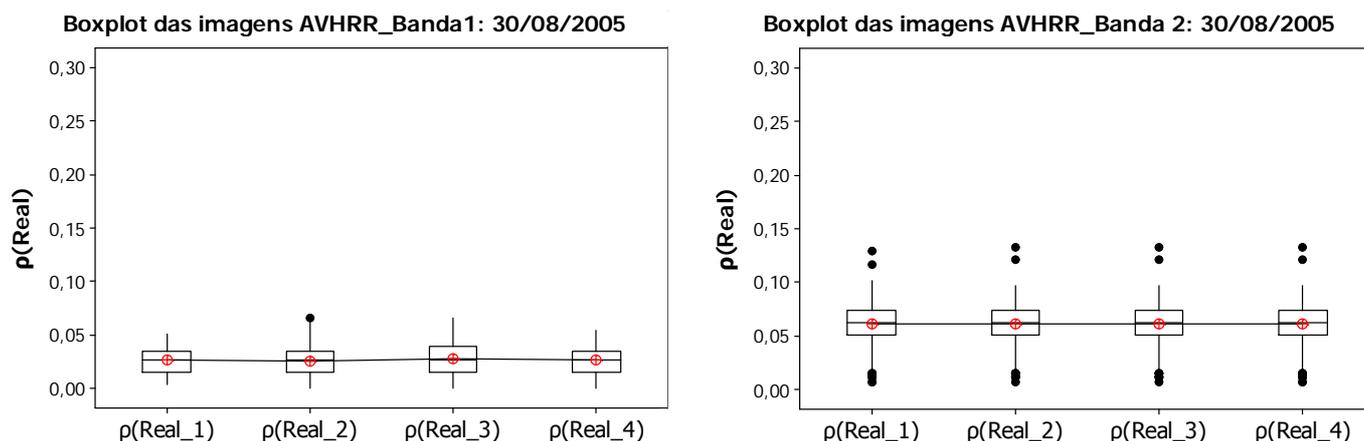


Figura 6. Boxplot das imagens do sensor AVHRR, representando a refletância real da superfície para as quatro diferentes metodologias aqui utilizadas, nas bandas 1 e 2

Figure 6. Boxplot of the images of the AVHRR sensor, representing the real reflectance of the surface in four different methodologies, in bands 1 and 2

observar que a presença da atmosfera fez com que os valores de NDVI obtidos de imagens sem correção sejam subestimados em relação ao NDVI obtido de imagens que passaram pelo processo de correção atmosférica. Esta característica fica nítida através da diferença em porcentagem, entre as imagens NDVI em refletância aparente e real, em todas as metodologias propostas de correção atmosférica, apresentando diferenças superiores a 80%. Assim como nas imagens de NDVI do dia 14/07/2004, foi observada a mesma tendência no dia 30/08/2005, ou seja, a atmosfera reduziu os valores do NDVI quando este foi obtido de imagens sem correção. Neste caso, a diferença em porcentagem foi superior a 50%, em todos os casos (Tabela 7). Estes resultados reforçam a importância da correção atmosférica, em estudos que visem o acompanhamento do desenvolvimento da vegetação, através de estudos agrometeorológicos.

Assim como nos casos anteriores, não foram observadas diferenças significativas entre as metodologias utilizadas de entrada de dados atmosféricos para as duas datas consideradas.

Tabela 6. Análise do NDVI entre as imagens corrigidas e sem correção, para o dia 14/07/2004

Table 6. Analysis of NDVI between images corrected and without correction for the day 14/07/2004

NDVI _{SAT}	-	NDVI ₁	NDVI ₂	NDVI ₃	NDVI ₄
0,319892	NDVI	0,584542	0,584638	0,575967	0,584928
	V.P.	82,72%	82,76%	80%	82,85%

Tabela 7. Análise do NDVI entre as imagens corrigidas e sem correção, para o dia 30/08/2005

Table 7. Analysis of NDVI between images corrected and without correction

NDVI _{SAT}	-	NDVI ₁	NDVI ₂	NDVI ₃	NDVI ₄
0,274653	NDVI	0,438559	0,448303	0,419175	0,439042
	V.P.	59,67%	63,22%	52,60%	59,85%

CONCLUSÃO

As correções atmosféricas apresentaram resultados coerentes com o esperado após a eliminação dos efeitos de espalhamento e absorção atmosférica nas bandas 1 e 2;

Não houve diferença significativa entre as metodologias de entrada de dados, devido possivelmente à magnitude dos valores utilizados;

O índice NDVI obtido de imagens sem correções apresentaram uma variação percentual da ordem de 80% e 60%, respectivamente, para os dias 14/07/2005 e 30/08/2005, demonstrando a importância da correção, principalmente para estudos que visem o acompanhamento do desenvolvimento da vegetação.

LITERATURA CITADA

- Antunes, J. F. G. Aplicação de lógica *fuzzy* para estimativa de área plantada da cultura de soja utilizando imagens AVHRR/NOAA. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2005. 105 p. Dissertação Mestrado.
- Cachorro, V.E., Durán, P., Vergaz, R., De Frutos, A. M. Estudio de la influencia de los aerosolos sobre la reflectancia de los canales 1 y 2 del sensor AVHRR NOAA y El NDVI. Revista de Teledetección, n.13, p.1-13, 2000.
- Correia, A.; Castanho, A. D. A.; Martins, J. V.; Longo, K.; Yamasoe, M.; Artaxo, P. O produto de aerossóis do MODIS. <http://satellite.cptec.inpe.br/pesquisa/fulltexts/Correia-et-al-aerossóis-livro-modis.pdf>. 09 Fev. 2007.
- Esquerdo, J. C. D. M.; Antunes, J. F. G.; Emery, W.; Baldwin, D. G.; Zullo Junior, J. An Automatic System for AVHRR Land Surface Product Generation. International Journal of Remote Sensing, v.27, n.18, p. 3925 - 3942, 2006.
- Fonseca, E. L., Ponzoni, F. J., Formaggio, A. R. Modelo agrometeorológico-espectral para estimativa da disponibilidade de forragem no bioma Campos Sulinos. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 15, n. 3, p. 241-249, 2007.

- 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. 1161-1179, 2002.
- Melo, R. W. Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa do rendimento da soja para o estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 88p. Dissertação Mestrado.
- Modis *Atmosphere* – Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System. <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>. 23 Set. 2007.
- Motta, J. L. G., Fontana, D.C., Weber, E. Evolução temporal do NDVI/NOAA em áreas cobertas por pixels com proporções variáveis de soja. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.11, n.2, p.353-360, 2003.
- Nascimento, C. R. Correção atmosférica de imagens do sensor AVHRR/NOAA utilizando produtos atmosféricos do sensor MODIS/Terra. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2006. 108 p. Dissertação Mestrado.
- Rizzi, R. Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul. 2005. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005. 121p. Tese Doutorado.
- Rosa, R. Introdução ao Sensoriamento Remoto. 6.ed. Uberlândia: Editora da Universidade Federal de Uberlândia, 2007. 248p.
- Tanré, D., Deroo, C., Duhaut, P. Description of a computer code to simulate the satellite signal in the solar spectrum: The 5S code. *International Journal of Remote Sensing*, v.11, n.4, p.659-668, 1990.
- Vermote, E.F., El Saleous, N. Z., Justice, C.O. Atmospheric correction of MODIS data in the visible to middle infrared: first results. *Remote Sensing of Environment*, v.83, n.1-2, p. 97-111, 2002.
- Zullo Junior, J. Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1994. 189p. Tese Doutorado.