

Utilização de Produtos Atmosféricos do Sensor MODIS/TERRA, na Correção Atmosférica de Imagens do Sensor AVHRR/NOAA

Cristina Rodrigues Nascimento¹
Jurandir Zullo Júnior²

¹ Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/FEAGRI
Cidade Universitária Zeferino Vaz – Barão Geraldo
Cep: 13084-470 Campinas – SP, Brasil
cristina@cpa.unicamp.br

² Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura - CEPAGRI
Cidade Universitária Zeferino Vaz – Barão Geraldo
Cep: 13084-470 Campinas – SP, Brasil
jurandir@cpa.unicamp.br

ABSTRATC: In the attempt to obtain the real reflectance of ground surface, in channels 1 and 2 of AVHRR sensor, was performed the atmospheric correction of two NOAA images, based on atmospheric data supplied by the MODIS sensor, considering the spatial and temporal variability of these parameters. The system SCORADIS, based on the radiative transfer model called 5S, was adapted to read images having values of aerosols optical thickness, water vapor content and ozone contents corresponding spatially to each pixel of a AVHRR/NOAA image. Four distinct methodologies were used to define the images of atmospheric parameters. Coherent results were obtained using atmospheric data from MODIS, indicating that the scattering and absorption effects were correctly eliminated from the NOAA images in the two dates considered. The difference between the NDVI calculated with corrected and non-corrected images was up to 80%, showing the importance of using corrected images in applications based on multitemporal images.

PALAVRAS-CHAVE: Atmospheric correction, 5S model, NDVI, correção atmosférica, modelo 5S, NDVI.

1. Introdução

Imagens geradas a partir de sensores remotos constituem-se do produto da interação da radiação eletromagnética (REM) com a atmosfera e a superfície. A principal fonte de REM, é o Sol, e a radiação proveniente desta fonte, que é refletida pela superfície e detectada pelo sensor orbital, passa duas vezes pela atmosfera. Em razão disso, o sinal medido no sensor é modificado conforme os efeitos de espalhamento e absorção. Juntos, estes efeitos promovem a diminuição dos valores possíveis que seriam registrados pelo sensor, diminuição do contraste entre superfícies adjacentes e alteração do brilho de 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, 2001).

Para realização das correções, é necessário o conhecimento das condições da atmosfera durante a aquisição de cada elemento da imagem (pixel). Atualmente, existe uma série de modelos matemáticos que permitem a realização de correções com a utilização de parâmetros da atmosfera local, como os modelos de transferência radiativa que, por consequência, fornecem um melhor embasamento físico. Entre os vários modelos, o 5S (*Simulation du Signal Satellitaire dans le Spectre Solarie*), desenvolvido pelo Laboratório de Óptica Atmosférica de Lille na França (Tanré et al., 1986), possibilita estimar o sinal recebido pelos satélites no espectro óptico solar (0,25µm a 4,0µm) na ausência de nuvens e tem sido

bastante utilizado (Zullo Jr.,1994). Com o lançamento do satélites TERRA, em dezembro de 1999, 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 (imagens) que podem ser utilizadas nos processos de correção atmosférica, por exemplo.

caracterização dos componentes atmosféricos que influenciam o sinal da radiação (aerossóis, vapor d'água e ozônio) é de grande importância para correção atmosférica das imagens fornecidas pelo sensor AVHRR (*Advanced Very High Radiometer*) presente na série de satélites da NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), uma vez que as imagens geradas pelo AVHRR, canais 1 e 2, são bastante utilizadas para estudos multitemporais da vegetação, embora sejam diretamente afetadas pelos efeitos atmosféricos.

O objetivo principal do trabalho é avaliar o potencial do sensor MODIS quanto à utilização dos produtos atmosféricos em sistemas de correção atmosférica. Estes produtos por sua vez servirão como entrada de dados no modelo de transferência radiativa 5S, através do aplicativo SCORADIS (Sistema de correção radiométrica de imagens de satélite), com a finalidade de gerar imagens corrigidas (Reflectância da Superfície), partindo-se das imagens sem correção (Reflectância 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 “índice de vegetação”.

2. Material e Métodos

A área de estudo utilizada no 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 NOAA-17/AVHRR dos dias 14/07/2004 e 30/08/2005 que passaram pelo processo de correção, respectivamente **Figuras 1 e 2**, foram obtidas do banco de imagens do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI). A seleção destas imagens está diretamente relacionada à passagem do satélite TERRA, sobre o local acima especificado.

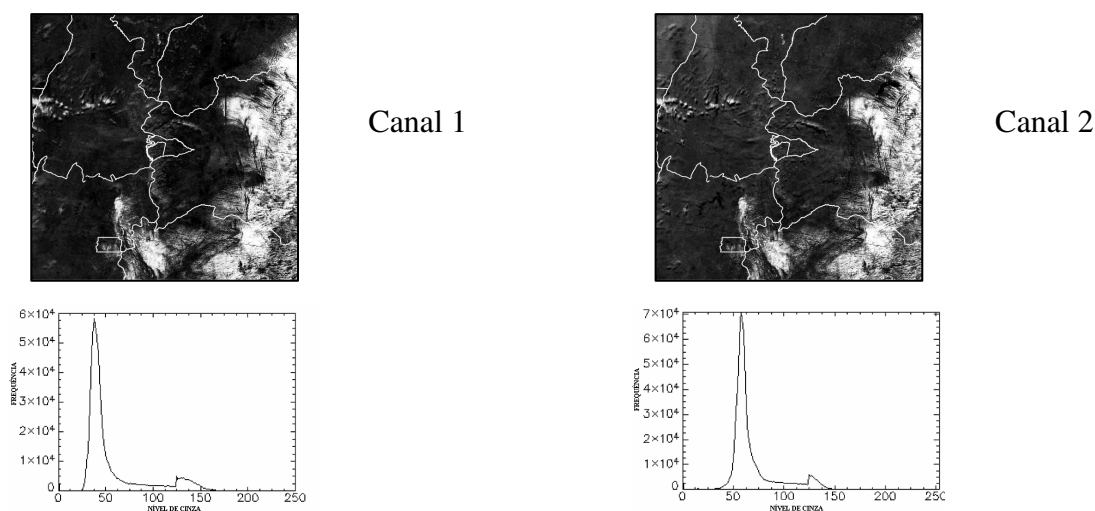


Figura 1. Imagens AVHRR original e histograma do dia 14/07/2004, representando respectivamente a região do vermelho (canal 1) e infravermelho próximo (canal 2).

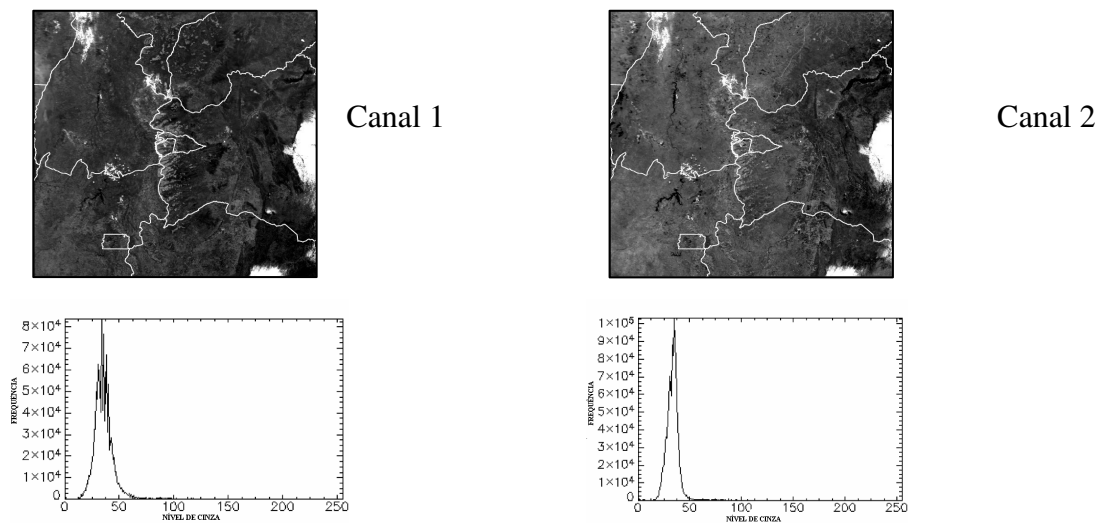


Figura 2. Imagens AVHRR original e histograma do dia 30/08/2005, representando respectivamente a região do vermelho (canal 1) e infravermelho próximo (canal 2).

As imagens contendo os parâmetros atmosféricos tais como espessura óptica dos aerossóis a 550nm (produto MOD04), vapor d'água (produto MOD05) e ozônio (produto MOD07), do sensor MODIS foram obtidas do site de distribuição GDAAC (*Goddard Distributed Active Archive Center* (2004), para a mesma data. 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 5S, adaptando-o 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 (ρ_{Sat}) para o valor de reflectância realmente refletida pela superfície terrestre (ρ). Assim os valores digitais da imagem corrigida podem representar a Reflectância da superfície terrestre Zullo Jr (1994).

Neste método, as imagens 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 das imagens, realizados no ENVI (*Environmet for Visualizing images*) incluiu: Conversão dos data: North América 1927 para UTM/WGS-84 fuso 23 S, Conversão das resoluções espaciais: adotou-se como padrão a resolução espacial de 1,1Km das imagens AVHRR/NOAA, convertendo-se assim as resoluções espacial dos dados de aerossóis, vapor d'água e ozônio, respectivamente de 10Km e 5Km e finalmente a conversão dos valores presentes na imagem em nível de cinza (NC) em formato bruto, isto é, "bil" (Bandas interpoladas por linhas), com 1 byte/pixel.

Após o processamento, foram selecionados 10% dos pixels, aleatoriamente na imagem descartando os pixels contaminados com nuvens, com a finalidade de obter uma média aritmética, para substituir os dados faltantes, ou seja, onde não ocorreu à estimativa do ponto nas imagens do MODIS. A **Tabela 1** apresenta os valores médios obtidos, após a seleção dos pontos. As **Figuras 3 e 4** apresentam as imagens dos planos atmosféricos após a substituição dos dados não estimados pelo sensor.

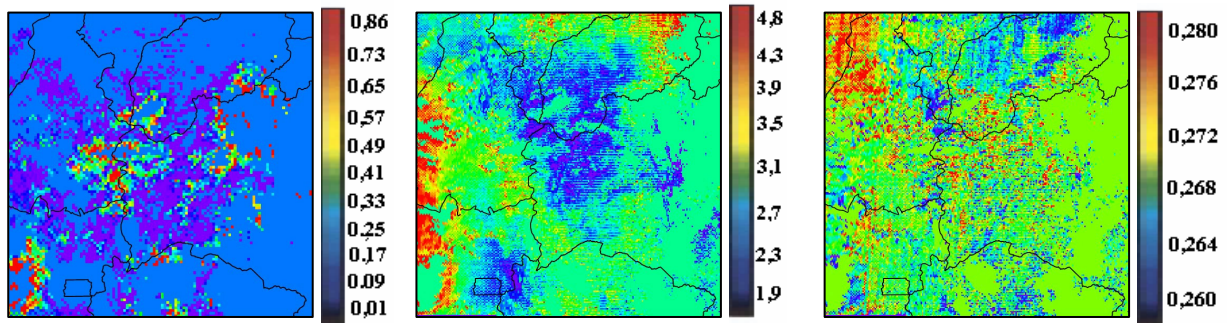


Figura 3. Imagens correspondentes aos planos atmosféricos de aerossol, vapor d'água (g/cm^2) e ozônio (cm.atm), respectivamente, após a substituição dos dados faltantes, dia 14/07/2004.

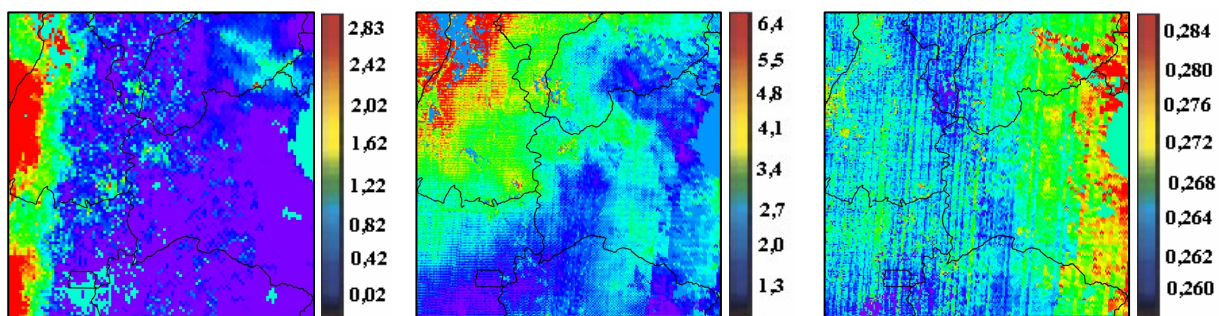


Figura 4. Imagens correspondentes aos planos atmosféricos de aerossol, vapor d'água (g/cm^2) e ozônio (cm.atm), respectivamente, após a substituição dos dados faltantes, dia 30/08/2005.

Tabela 1. Média dos pontos amostrados nas imagens correspondentes aos produtos atmosféricos fornecidos pelo sensor MODIS.

Data	Valor médio da amostragem		
	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

O passo final do processamento das imagens correspondentes aos parâmetros atmosféricos, consistiu na transformação dos valores dos pixels em NC, uma vez que as imagens do AVHRR, apresentam-se com resolução radiométrica de 8 bits. A transformação baseou-se na relação entre os valores máximos e mínimos da cena e da resolução radiométrica, dada pela Equação (1).

$$\text{NC}(X) = \frac{255}{V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}}} * (X - V_{\text{mín}}), \text{onde} \quad (1)$$

NC (X) = Nível de cinza associado ao parâmetro atmosférico.

$V_{\text{máx}}$ = Maior valor do parâmetro atmosférico na cena.

$V_{\text{mín}}$ = Menor valor do parâmetro atmosférico na cena.

X = Valor do parâmetro atmosférico.

Partindo das imagens AVHRR em nível de cinza, foram propostas quatro diferentes metodologias de entrada dos dados atmosféricos no SCORADIS, afim 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 (**Figuras 3 e 4**) a metodologia 2 foi baseada na entrada de dados considerando a média dos níveis de cinza presentes na cena (**Tabela 2**).

Tabela 2. Valores médios dos níveis de cinza presentes na cena.

Parâmetro	Datas	Média do Nível de cinza
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

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

Tabela 3. Valores médios dos níveis de cinza do 'Pixel' selecionado para a metodologia 3.

Parâmetro	Datas	Coluna	Linha	Latitude	Longitude	Nível de cinza
Aerossol	14/07/2004	464	547	12° 0' 5,79'' S	45° 4' 3,27'' W	101
	30/08/2005	33	353	10° 21' 2,96'' S	50° 0' 6,89'' W	93
Vapor d'água	14/07/2004	464	547	12° 0' 5,79'' S	45° 4' 3,27'' W	127
	30/08/2005	33	353	10° 21' 2,96'' S	50° 0' 6,89'' W	128
Ozônio	14/07/2004	464	547	12° 0' 5,79'' S	45° 4' 3,27'' W	56
	30/08/2005	33	353	10° 21' 2,96'' S	50° 0' 6,89'' W	101

A quarta e última metodologia de entrada de dados no modelo foi realizada considerando a imagem aerossol da metodologia 1 (imagem detalhada) e as imagens de vapor d'água e ozônio da metodologia 2 (média dos valores). Esta metodologia pretendeu avaliar qual o impacto da utilização de imagens detalhadas dos aerossóis, que é o parâmetro atmosférico principal em uma correção atmosférica.

Após a correção atmosférica das imagens do canal 1 e 2, foi gerado imagens de índice de vegetação com a finalidade de avaliar o impacto das correções de imagem de baixa resolução espacial com dados atmosféricos detalhados. O NDVI, índice utilizado, foi calculado para a imagem corrigida (Reflectância da Superfície) e para a imagem sem correção atmosférica (Reflectância Aparente)

3. Resultados e Discussões

Foram feitas comparações entre a cena corrigida, canais 1 e 2, em Reflectância da Superfície (ρ) através das diferentes metodologias e a cena não corrigida para os efeitos

atmosféricos, representada pelas imagens em Reflectância Aparente (ρ_{sat}), através dos seus valores extremos (máximos e mínimos), média, desvio padrão e coeficiente de variação. Esta análise foi realizada para a cena toda, mascarando-se os “pixels” contendo nuvens. Os resultados são apresentados nas **Tabelas 4 e 5**.

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

Banda	Parâmetro	ρ_{sat}	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4
1	Média	0,067167	0,043873	0,043691	0,043760	0,043877
	D.P.	0,018350	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.

Banda	Parâmetro	ρ_{sat}	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_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

É possível observar a diferença entre os valores de Reflectância obtidos a partir de imagens com correção e sem correção atmosférica (Reflectância da Superfície e Reflectância Aparente). A presença real da atmosfera em imagens de satélite altera os valores possíveis que deveriam ser registrados pelo sensor. Esta alteração está diretamente relacionado com a atuação dos efeitos de espalhamento e absorção, ocasionados por sua vez pelos aerossóis, vapor d’água e ozônio bem como a influência ou atuação desses elementos em cada canal.

Para o canal 1, que representa a região espectral do vermelho, a correção realizada pelas quatro propostas de entrada de dados resultou em valores de Reflectância da Superfície menores em relação à Reflectância Aparente. Esta variação é clássica em processos de correção deste canal e é função da contribuição aditiva do efeito de espalhamento. O contrário ocorreu em relação à absorção que afeta o canal 2, correspondente a região espectral do infravermelho próximo, ou seja, neste caso a atmosfera, faz com que o efeito seja subtrativo.

As imagens corrigidas apresentaram, também, um aumento no desvio padrão, e no coeficiente de variação, representando um aumento no contraste delas. Pode-se notar que os valores médios das imagens obtidas de entrada de dados atmosféricos metodologias (2, 3 e 4) não diferiram de forma significativa da metodologia mais sofisticada (1). Este resultado concorda com o que foi apresentado por Cachorro et al (2000) que afirma que o detalhamento atmosférico não é relevante para o nível de precisão que as imagens do AVHRR requerem.

Com as imagens corrigidas e as imagens sem correção foi calculado o NDVI (índice de vegetação da diferença normalizada). Os resultados são apresentados nas **Tabelas 6 e 7**.

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

	NDVI _{SAT}	NDVI ₁	NDVI ₂	NDVI ₃	NDVI ₄
NDVI	0,319892	0,584542	0,584638	0,575967	0,584928
Variação Percentual		82,72%	82,76%	80%	82,85%

É possível 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 Reflectância Aparente e da Superfície, em todas as diferentes metodologias (propostas) de correção atmosférica, que apresentara valores superiores a 80%.

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

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

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. É interessante observar que, em 30/08/2005, houve uma menor variação percentual, entre o NDVI, ocorreu quando foi considerada uma situação de atmosfera homogênea (metodologia 3), indicando uma menor possibilidade de detecção de mudanças deste método em relação aos demais, como também ao maior detalhamento das imagens de entrada para correção atmosférica nos canais 1 e 2. Nota-se que o NDVI obtido a partir da metodologia 2, onde a correção é realizada utilizando-se a média dos “pixels” presentes nas imagens, apresentou uma diferença percentual superior às demais.

4. Conclusões

1. As análises realizadas com os dados do MODIS indicaram que as correções atmosféricas apresentaram resultados coerentes com o esperado após a eliminação dos efeitos de espalhamento e absorção atmosférica nos canais 1 e 2 do NOAA-17, nas datas consideradas.

2. Não se percebeu diferença entre as metodologias de entrada de dados nas correções atmosféricas propostas para os canais 1 e 2, nas datas consideradas. Este resultado concorda com o que foi apresentado por Cachorro et al (2000), que afirmam que o detalhamento do aerossol não é relevante para o nível de precisão as imagens do AVHRR requerem.

3. Os resultados obtidos através da comparação entre o NDVI obtido de imagens sem correções apresentaram uma variação percentual 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.

4. 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, pode ser de grande aplicação prática.

5. Referências

Antunes, J.F.G., Esquerdo, J.C., Zullo Jr. J. Desenvolvimento de um sistema de automático de geração de produtos derivados de imagens NOAA-AVHRR. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, INPE, 16/04/2005, CD-ROM.

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, Espanha, n.13,p.1-13,jun.,2000.

Ponzoni, F.J., Zullo Jr, J. Lamparelli, R.A.C. Calibração da câmara CCD/CBERS-2, XII Simpósio de Sensoriamento Remoto, Goiânia, 16/04/2005, CD-ROM.

Rosa, Roberto. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**.4ed. Urbelândia. edufu.2001.

Tanré, D., Derro, C., P., Herman, M., Morcrette, J.J., Perbos, J., Dechamps, P.Y. Simulation of the SatelliteSignal in the Solar Spectrum. User's Guide, L.O.A., Lille, 264p,1986.

Zullo Junior, Jurandir. **Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações**. 189p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.