

Revista Brasileira de Cartografia (2012) N^o 64/4: 531-539
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

CORREÇÃO ATMOSFÉRICA DE IMAGENS ALOS/AVNIR-2 UTILIZANDO O MODELO 6S

ALOS/AVNIR-2 Sensor Images Atmospheric Correction Using the 6S Model

**Mauro Antonio Homem Antunes¹, Paula Debiasi¹, Aliny Ribeiro da Costa¹
& José Marinaldo Gleriani³**

¹Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ

Instituto de Tecnologia – Departamento de Engenharia

Br 465, km 7, Seropédica – RJ

mauroantunes@ufrj.br , paula@ufrj.br , alinyrib@hotmail.com

²Universidade Federal de Viçosa – UFV

Departamento de Engenharia Florestal

Avenida P. H. Rolfs s/n - Campus UFV - Viçosa - MG

gleriani@gmail.com

Recebido em 07 de Maio, 2011/ Aceito em 29 Julho, 2012

Received on May 07, 2011/ Accepted on July 29, 2012

RESUMO

As imagens geradas por sensores remotos são afetadas pela atmosfera, causando problemas na extração de informações da superfície terrestre. A correção atmosférica por modelos de transferência radiativa é uma maneira de eliminar ou minimizar este problema. O objetivo deste artigo é avaliar a correção atmosférica através do modelo 6S (*Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum*) para imagens do sensor AVNIR-2 a bordo do satélite ALOS. A função de resposta do sensor e os dados de calibração foram implementados no modelo 6S e uma imagem do sensor AVNIR-2 foi corrigida para os efeitos da atmosfera. Amostras coletadas na imagem sem correção e na imagem corrigida de quatro alvos diferentes foram utilizadas para a avaliação da correção atmosférica, comparando a reflectância bidirecional da superfície (corrigida) com a reflectância bidirecional ao nível de satélite (não corrigida). Os resultados mostraram que os valores de reflectância da superfície gerados pelo modelo assemelham-se à assinatura espectral de cada alvo, diferentemente daqueles valores oriundos da imagem sem correção. Com base nos resultados obtidos conclui-se que a correção atmosférica das imagens AVNIR-2 possibilitou a obtenção da reflectância bidirecional da superfície. Esta correção é necessária especialmente quando as imagens serão utilizadas para a estimativa de parâmetros da superfície a partir das características espectrais dos alvos. O modelo 6S adaptado se mostrou adequado para a correção atmosférica das imagens ALOS/AVNIR-2.

Palavras chaves: reflectância bidirecional da superfície, transferência radiativa na atmosfera, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Remotely sensed images are affected by the atmosphere, thus influencing the extraction of surface information from the images. Atmospheric correction by means of radiative transfer models is a way of eliminating or minimizing this problem. The objective of this paper is to evaluate the atmospheric correction of an image of the ALOS/AVNIR-2 sensor using the 6S (*Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum*) model. The sensor filter function and the calibration

coefficients were implemented in the 6S model. Then an AVNIR-2 image was corrected for atmospheric effects. Samples were collected in the non-corrected and corrected images to evaluate the atmospheric correction by comparing the surface bidirectional reflectance (corrected) with bidirectional reflectance at satellite level (non-corrected). The results show that surface bidirectional reflectance values corrected by the model are similar to the spectral signatures of each target, while the bidirectional reflectance values from uncorrected image were not similar to expected target spectral response. It is concluded that the atmospheric correction of AVNIR-2 enabled the calculation of surface bidirectional reflectance. This correction is necessary especially when the images will be used to estimate surface parameters through target spectral characteristics. The adapted 6S model is suitable for the atmospheric correction of ALOS/AVNIR-2 images.

Keywords: surface bidirectional reflectance, atmospheric radiative transfer, remote sensing.

1 INTRODUÇÃO

Dependendo do objetivo final, o processo de interpretação de dados orbitais pode ser dividido em quatro ações: mapeamento temático, detecção de mudança da cobertura, geração de métricas da paisagem e na modelagem direta e inversa para obtenção de parâmetros biofísicos de dosséis (CHUVIECO e HUETE, 2010). Para essa última aplicação, dados calibrados e com mínima interferência atmosférica são desejados. Deve-se lembrar que os dados orbitais são, simplesmente, a radiação eletromagnética refletida e/ou emitida detectada a centenas de quilômetros e, em cujos dados existe muita expectativa quanto à informação a ser obtida, como a quantificação de sequestro de carbono, produtividade agrícola, entre outras (VERSTRATE *et al.*, 1996). A interação da radiação com os alvos terrestres é complexa e os efeitos atmosféricos no trajeto da mesma até o sensor dificultam a extração de informações e interpretação dos dados da superfície.

Na faixa do espectro solar, que vai aproximadamente de 0,25 μm a 4 μm , a radiação sofre os efeitos da atmosfera através das interações com os gases e aerossóis (KAUFMAN, 1985). Parte da radiação refletida pela superfície em direção ao sensor é espalhada ou absorvida e o fluxo que chega ao sensor contém radiação adicionada ou subtraída pelo espalhamento ou absorção. De um modo geral o alvo de interesse encontra-se localizado ou posicionado na superfície terrestre e a interferência atmosférica afeta a qualidade das imagens dificultando a extração de informações. Os efeitos diretos devido à absorção e ao espalhamento pela atmosfera ocasionam a alteração do brilho da cena e a diminuição de contraste entre os alvos (KAUFMAN e FRASER, 1984; SONG *et al.*, 2001).

Para a extração de informações confiáveis sobre os alvos em estudo deve-se obter a

reflectância da superfície, uma vez que esta é uma propriedade do alvo e representa a situação em que estava o alvo no momento da tomada da imagem. A reflectância da superfície é mais adequada de ser trabalhada em relação ao número digital original ou a reflectância aparente (também chamada de exoatmosférica) da imagem. A reflectância da superfície é uma propriedade específica do alvo, ao passo que a aparente tem os efeitos da atmosfera e varia em função das condições da atmosfera, geometria de iluminação, visada e época do ano.

Os principais alvos como água, vegetação e solo têm suas propriedades espectrais bem conhecidas na literatura (por exemplo para solos: STONER e BAUMGARDNER, 1981; BOWKER *et al.*, 1985; BELLINASSO *et al.*, 2010; GALVÃO *et al.*, 2008; DEMATTÊ *et al.*, 2007; GALVÃO *et al.*, 2001, para água: NOVO *et al.*, 2004; GALVÃO *et al.*, 2003), o que permite comparar os dados de satélite com e sem correção atmosférica com aquelas da literatura.

As duas principais abordagens para as correções atmosféricas das imagens dos sensores remotos envolvem transformações empíricas e modelos de transferência radiativa. A abordagem empírica utiliza uma metodologia baseada em informações coletadas na própria imagem, como a subtração de um valor obtido do objeto mais escuro da imagem (CHAVEZ, 1988). No entanto, apesar da simplicidade e facilidade na sua aplicação, esta metodologia é a menos acurada para a correção atmosférica de imagens (MORAN *et al.*, 1992). A abordagem fundamentada na transferência radiativa através da atmosfera considera as características atmosféricas no momento de obtenção da imagem para o cálculo dos fluxos necessários para a obtenção da reflectância bidirecional da superfície. Por isso é considerada uma metodologia fisicamente consistente.

O modelo 6S (*Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum*) foi desenvolvido por Vermote *et al.*, (1997) e originalmente implementado para a simulação da radiação que chega nos sensores em bandas dentro do espectro solar, entre 0,25 µm a 4,00 µm, podendo assim ser utilizado para estabelecer as características de sensores. A partir de uma reflectância do alvo e da irradiância direta e difusa que chegam à superfície obtém-se a radiação que sai do alvo na direção do sensor. Através da transferência radiativa é obtida a radiação que chega ao sensor e assim pode-se também obter a reflectância aparente com base na irradiância que chega ao topo da atmosfera. O modelo 6S em sua implementação original permite também simular a reflectância da superfície para diferentes alvos e, a partir deste valor, obter a reflectância aparente e a radiação que chega ao nível do sensor.

A utilização do 6S no sentido inverso consiste em utilizar a radiação que chega ao sensor para o cálculo da radiação que sai da superfície, através da consideração dos efeitos da atmosfera. Com esta radiação e a irradiância na superfície, obtida através da transferência radiativa do topo da atmosfera até superfície, é calculada a reflectância bidirecional (RB) (NICODEMUS *et al.*, 1977; SCHAEPMAN-STRUB *et al.*, 2006; MILTON *et al.*, 2009) da superfície. O termo bidirecional é utilizado porque sob condições de ausência de nuvens, a maior quantidade de radiação incidente na superfície vem direta do sol e a radiação medida pelo sensor é confinada em um ângulo sólido pequeno, dado pelo campo de visada instantâneo (SCHOWENGERDT, 2007) que é da ordem de miliradianos.

O objetivo deste artigo é avaliar a correção atmosférica através do modelo 6S para imagens do

sensor AVNIR-2 a bordo do satélite ALOS. Para isso foram coletados os valores de reflectância bidirecional da superfície e da reflectância bidirecional aparente de amostras de alvos respectivamente na imagem corrigida e não corrigida. Sendo posteriormente estes valores comparados com a resposta esperada dos alvos conforme publicado na literatura.

2-IMPLEMENTAÇÃO DA CORREÇÃO ATMOSFÉRICA DO AVNIR-2 NO 6S

O satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) foi lançado em 24 de janeiro de 2006 pela Agência Espacial Japonesa (JAXA) com três sensores imageadores: PRISM, PALSAR e AVNIR-2. As características orbitais do satélite estão na Tabela 1.

O radiômetro multiespectral AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near Infrared Radiometer - type 2*) opera nas regiões do visível e infravermelho próximo, foi desenvolvido para mapeamentos temáticos com ênfase em uso e cobertura dos solos. As características do sensor AVNIR-2 do ALOS estão na Tabela 2.

Para a correção atmosférica através do modelo 6S a parte do modelo original utilizada para a simulação da reflectância bidirecional da superfície foi retirada, uma vez que o objetivo foi a determinação da reflectância da superfície a partir das imagens geradas pelo sensor. Além disso, como o modelo original realizava os cálculos para apenas um ponto (pixel), o código foi alterado de modo a ler imagens binárias de 8 bits e gravar as imagens corrigidas também em 8 bits, sendo a reflectância da superfície entre 0 e 1 escalonada entre 0 e 255 para a gravação da imagem binária. Para cada banda foi implementada a função de filtro do sensor de

Tabela 1 – características orbitais do satélite ALOS (JAXA, 2008).

Tipo de órbita	Heliossíncrona
Passagem pelo Equador	10:30 ± 15 minutos
Altitude	691,65 km (no Equador)
Inclinação	98,16 graus
Período da órbita	98 minutos
Órbitas por dia	14+27/46
Período de recobrimento	46 dias

Tabela2 – Características do sensor AVNIR-2 do ALOS (JAXA, 2008).

Bandas Espectrais	1: 0,42 - 0,50 μm (azul)
	2: 0,52 - 0,60 μm (verde)
	3: 0,61 - 0,69 μm (vermelho)
	4: 0,76 - 0,89 μm (IVP)
Resolução Espacial	1 m (nadir)
Largura da Faixa	70 km (nadir)
Relação Sinal/Ruído	> 200
Número de Detectores	7000 por banda
Limite de Inclinação Lateral da Visada	+/- 44° (direita / esquerda)
Resolução Radiométrica	8 bits

0,25 μm a 4,00 μm com intervalos de 0,0025 μm , possibilitando o cálculo da correção atmosférica espectral que era então integrada para a banda toda. Utilizando a calibração do sensor era então calculada a radiância a nível de satélite à qual era aplicada a correção atmosférica para a obtenção da radiância a nível da superfície.

A reflectância bidirecional da superfície ($\tilde{\rho}_{\text{sup}}$) é calculada como:

$$\rho_{\text{sup}} = \frac{\Pi * L_{\text{sup}}}{E_{\text{sup}}} \quad (1)$$

Onde L_{sup} é a radiância refletida pela superfície ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{m}^{-1}$), E_{sup} é a irradiância solar na superfície ($\text{Wm}^{-2}\text{m}^{-1}$) para a banda em consideração. Nesta equação Π tem unidades de esferoradiano (NICODEMUS *et al.*, 1977) e tem a função de transformar de radiância direcional para a exitância ($\text{Wm}^{-2}\text{m}^{-1}$), a fim de permitir a divisão pela irradiância. A implementação do modelo 6S consistiu em modificar o código fonte, de modo a inserir a função de filtro do sensor e os coeficientes de calibração que determinam a transformação dos níveis de cinza (NC) da imagem em radiância (THOME *et al.*, 1987). Esta transformação de níveis de cinza em radiância (L_e) para uma dada banda de uma imagem é dada pela equação (2):

$$L_{\lambda} = \frac{L_{\text{max}} - L_{\text{min}}}{NC_{\text{max}} - NC_{\text{min}}} \cdot (NC - NC_{\text{min}}) \quad (2)$$

Onde L_{max} e L_{min} são a radiância máxima e mínima expressas em ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\text{m}^{-1}$) para o sensor e banda em questão e NC_{max} e NC_{min} são o nível de cinza máximo e mínimo utilizados na conversão

analogico-digital. Para imagens de 8 bits estes são geralmente 255 e 0, respectivamente. Para as imagens do AVNIR-2 esta expressão é simplificada como apresentado na equação (3) (TADONO *et al.*, 2009):

$$L_{\lambda} = \text{Ganho} \cdot \text{NC} + \text{Offset} \quad (3)$$

Os coeficientes de calibração do sensor AVNIR-2 foram obtidos através de calibrações em órbita através de calibração cruzada com imagens do sensor MODIS (TADONO *et al.*, 2009; MURAKAMI *et al.*, 2009; SAUNIER *et al.*, 2010).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Como objeto para este estudo foi utilizada uma imagem ALOS do sensor AVNIR-2 com nível de correção L1B2G, obtida em 14 de Abril de 2007 referente à região de Anápolis – GO. Foram utilizadas as quatro bandas espectrais, cujas faixas de domínio foram anteriormente apresentadas de acordo com a Tabela 2.

Para que o modelo de correção 6S opere de forma adequada, cabe ao usuário dispor de algumas propriedades importantes acerca da imagem, de modo que com estas propriedades seja gerado um arquivo de entrada de dados, conforme listado na Tabela 3.

Dentre os parâmetros listados na Tabela 3, foi utilizado um modelo “Tropical” para a atmosfera gasosa (opção 1), para os aerossóis foi utilizado o modelo “Continental” (opção 1). A escolha do parâmetro de visibilidade horizontal (CHENG e TSAI, 2000), foi estabelecida após a análise visual da imagem, levando em conta as características

Tabela 3 - Parâmetros de entrada no modelo para a correção atmosférica.

Parâmetros	Valores utilizados
Tipo de sensor	9 (AVNIR-2)
Mês, dia, hora decimal, longitude decimal, latitude decimal	04 14 13.6125 -49.0365362 -15.9311722
Tipo de modelo de atmosfera gasosa	1 (Tropical)
Tipo de modelo de aerossóis	1 (Continental)
Visibilidade em km (concentração de aerossóis)	19
Altitude média do alvo em km (valor em negativo)	-0.89104
Marcador para altitude do sensor (-1000 para satélite)	-1000
Marcador para banda do sensor	68 a 71
Ganho e Offset	(Valor diferente para cada banda)
Marcador para tipo de dado	4 (Núm. Digital)
Marcador para tipo de saída e marcador para aplicação de contraste linear	10 (RB sem contraste)
Número de bytes da imagem (igual ao número de pixels)	71400475

locais, bem como a época do ano. A altitude média da área da imagem foi obtida através do Modelo Digital de Elevação (MDE) do SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), com resolução espacial de 3 arcos de segundos (aproximadamente 90 metros). Este modelo foi importado no *software* SPRING, sendo realizado um mosaico e recorte da área, para desta forma equivaler à área da imagem e possibilitar a obtenção do valor médio de altitude.

Uma vez executado o programa 6S foi gerada uma imagem de saída corrigida para os efeitos da atmosfera com combinação de bandas RGB 432 para a escolha das amostras com base nos elementos de fotointerpretação cor, forma, padrão e textura (LILLESAND e KIEFER, 1994). Na imagem foram escolhidas áreas de água, cultivo agrícola, vegetação natural e solo exposto. Foram obtidas quatro amostras de quatro pixels cada para o cálculo de uma média simples. Para cada banda espectral os dados entre 0 a 255 foram transformados para RB em porcentagem. Os gráficos de RB foram comparados com a resposta esperada destes alvos de acordo com a literatura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A curva da resposta espectral da água é apresentada na Fig. 1, que tem a característica de refletir muito pouca da radiação incidente. A curva da imagem não corrigida para a atmosfera decresce expressivamente por todas as quatro bandas, iniciando com valores acima de 16%. Para a imagem corrigida dos efeitos da atmosfera os valores de RB

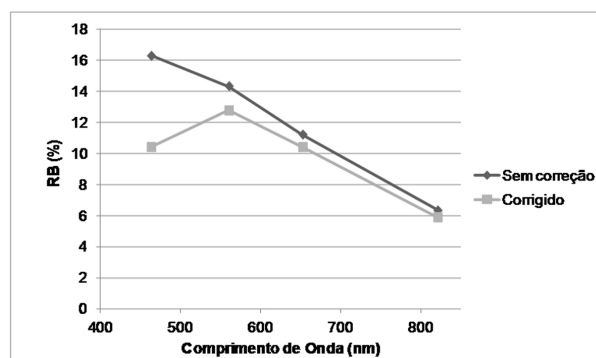


Fig. 1 - Reflectância bidirecional (RB, em %) da água versus o comprimento de onda central da banda, sem correção e corrigida pelo modelo 6S. Média de quatro amostras.

são mais baixos, com um pequeno aumento na faixa do verde, mostrando uma característica de quando há a presença de algas com aumento de reflectância na faixa do verde (MAO *et al.*, 2010). Esse efeito não foi evidente na imagem sem correção para a atmosfera, reforçando a necessidade da correção atmosférica para obtenção de dados da superfície quando se trabalha com água. A influência atmosférica causou valores de RB altos na faixa do azul devido ao espalhamento *Rayleigh*, que é proporcional ao inverso da quarta potência do comprimento de onda e portanto é maior na faixa azul do espectro.

A Fig.2 mostra a RB para as áreas de cultivo agrícola. A curva da imagem sem correção atmosférica mostra que os valores de RB decrescem da banda 1 para a banda 3, e cresce consideravelmente da banda 3 para a banda 4. Entretanto, os valores de RB na região do visível estão muito altos para um alvo agrícola, este comportamento espectral não é característico do alvo analisado. Para a imagem corrigida dos efeitos da atmosfera observa-se que o comportamento enquadra-se melhor ao esperado para um alvo agrícola, onde os valores de RB são baixos no visível e altos no infravermelho próximo. A maior resposta no visível aconteceu na faixa do vermelho, e isso pode ser atribuído a uma contribuição não só do solo mas também de palha e restos das culturas (RAO *et al.*, 1979; DAUGHTRY *et al.*, 1995; BIARD e BARET, 1997; DAUGHTRY, 2001; DAUGHTRY *et al.*, 2004), principalmente porque a data da imagem é da época em que a resposta espectral de áreas agrícolas é uma composição de folhas verdes, folhas em senescência, palhas e solo exposto.

Para a área de vegetação natural (Fig. 3) a resposta espectral na imagem corrigida mostra um leve aumento da RB na faixa do verde (banda 1 para a banda 2), devido à contribuição da clorofila existente nas folhas. Ocorre um decréscimo para a banda 3 onde existe uma absorção maior pelo dossel devido aos pigmentos presentes nas folhas, na banda do infravermelho próximo observa-se um aumento da RB devido à alta reflectância das folhas nesta faixa causada pela estrutura celular. Na imagem não corrigida para a atmosfera, a reflectância decresce na faixa do visível do azul até o vermelho, o que mostra uma resposta inconsistente com o que se espera de uma vegetação natural. No infravermelho próximo a imagem corrigida mostra uma maior

resposta do que a não corrigida porque nesta faixa a atmosfera absorve mais do que espalha devido principalmente às moléculas de água. Consequentemente, a correção atmosférica tende a aumentar o valor da RB para esta faixa espectral. A Fig. 4 refere-se a uma amostra de solo exposto, onde de um modo geral a RB tende a aumentar da

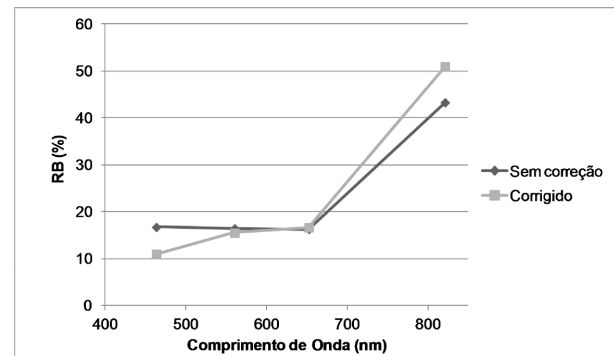


Fig.2-Reflectância bidirecional (RB, em %) de área de cultivo agrícola versus o comprimento de onda central da banda (em nm), sem correção e corrigida pelo modelo 6S. Média de quatro amostras.

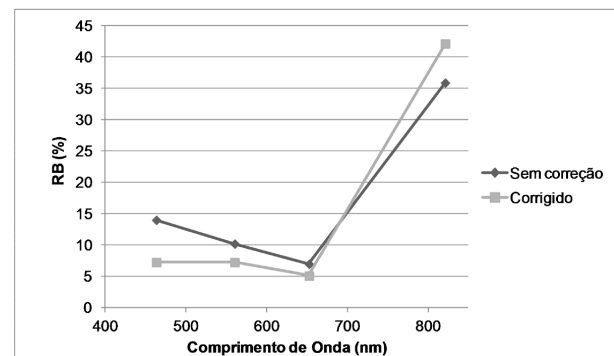


Fig. 3-Reflectância bidirecional (RB, em %) da vegetação natural versus o comprimento de onda central da banda (em nm), sem correção e corrigida pelo modelo 6S. Média de quatro amostras.

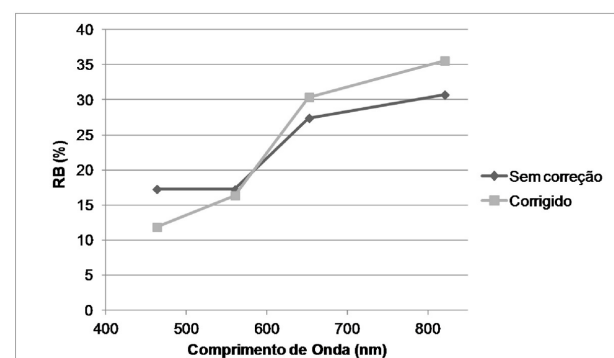


Fig.4-Reflectância bidirecional (RB, em %) solo exposto versus o comprimento de onda central da banda (em nm), sem correção e corrigida pelo modelo 6S. Média de quatro amostras.

faixa do azul até o infravermelho próximo. No entanto, verifica-se que apenas a imagem corrigida apresenta este padrão de resposta, enquanto que para a imagem não corrigida ocorre uma diminuição do azul para o verde e aumento do verde para o vermelho.

Estes resultados evidenciam a necessidade de se aplicar o modelo de correção atmosférica em imagens de satélites. Conforme o esperado o modelo de transferência radiativa levou à geração de dados mais representativos dos alvos em questão. Embora a visibilidade horizontal seja o parâmetro do modelo mais difícil de ser obtido das imagens, a sua estimativa, ainda que aproximada, permitiu uma correção com a melhoria nos dados de sensoriamento remoto.

A análise estatística através do teste t pareado mostrou que as diferenças entre as médias dos valores de RB corrigido para atmosfera e sem correção foram significativas ao nível de 5% de significância para a banda 1 na faixa do azul (Tabela 4). Ao utilizar o nível de significância de 1% a banda no verde também passa a ter diferença significativa.

CONCLUSÕES

O presente trabalho avaliou os resultados da correção atmosférica de uma imagem do sensor AVNIR-2 do satélite ALOS através do modelo 6S adaptado, sendo comparados os valores de reflectância bidirecional (RB) da imagem corrigida e daquela não corrigida. Amostras de água, área agrícola vegetada, vegetação natural e solo exposto foram utilizadas nesta comparação. As médias das amostras foram então comparadas com base na resposta esperada dos alvos amostrados.

Observou-se uma diferença significativa entre as respostas de RB nas duas imagens, principalmente para as bandas do visível, sendo maiores as diferenças na banda do azul e menores no infravermelho próximo. Entretanto, os efeitos aditivos na faixa do visível, em especial no azul, são muito maiores do que os efeitos subtrativos (absorção). Como consequência a correção atmosférica no visível diminuiu os valores da reflectância. No infravermelho próximo a situação se inverteu: devido à absorção pela atmosfera ser mais significativa do que o espalhamento, a correção atmosférica levou a um aumento no valor da reflectância, principalmente porque o espalhamento por aerossóis era baixo (visibilidade relativamente alta). Estas diferenças de correções entre visível e infravermelho próximo mostram que a abordagem empírica, com a subtração do valor de nível de cinza mais escuro da imagem (CHAVEZ, 1988), não seria o indicado.

Embora para esta imagem o teste estatístico tenha mostrado diferença apenas para a banda no azul (a 5%) e também no verde (a 1%), a correção atmosférica é sempre recomendada. Esta recomendação se baseia no fato de que para cada imagem um resultado diferente poderá ocorrer devido à diferenças nas condições atmosféricas e na geometria de iluminação e visada. Assim, a correção atmosférica vai permitir a obtenção da resposta espectral dos alvos sem a interferência atmosférica.

Conforme os resultados obtidos, recomenda-se a aplicação da correção atmosférica quando se necessita obter informações dos alvos através da reflectância bidirecional, uma vez que os efeitos atmosféricos modificam a reflectância bidirecional obtida a nível de satélite. O modelo 6S adaptado para

Tabela 4 – Análise estatística dos resultados.

	Banda				
	Azul	Verde	Vermelho	IVP	Todas
5% de significância					
$t_{\alpha,gl}$	3,182	3,182	3,182	3,182	2,131
t_{cal}	21,005	3,0962	0,0431	-2,5354	0,775
p valor	0,0002	0,0535	0,9683	0,085	0,4504
1% de significância					
$t_{\alpha,gl}$	2,353	2,353	2,353	2,353	1,753
t_{cal}	21,0051	3,0962	0,0431	-2,5354	0,775
p valor	0,0002	0,0534	0,9683	0,085	0,4504

a correção atmosférica das imagens de sensoriamento remotomostrou-se adequado para as correções do ALOS/AVNIR-2.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELLINASSO, H., DEMATTÊ, J. A. M., ROMEIRO, S.A., SoilSpectral Library and its use in SoilClassification, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 861-870, Jun. 2010.
- BIARD, F., BARET, F., Crop Residue Estimation Using Multiband Reflectance, **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n.3, p. 530-536, Mar. 1997.
- BOWKER, D.E., DAVIS, R.E., MYRICK, D.L., STACY, K., JONES, W.T. **Spectral Reflectances of Natural Targets for Use in Remote Sensing Studies**, NASA Reference Publication 1139, 1985. 181 p.
- CHAVEZ, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data, **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 3, p. 459-479, Apr. 1988.
- CHENG, M.T., TSAI, Y.I. Characterization of visibility and atmospheric aerosols in urban, suburban, and remote areas, **The Science of The Total Environment**, v. 263, n. 1-3, p. 101-114, Dec. 2000.
- CHUVIECO, E.; HUETE, A. **Fundamentals of Satellite Remote Sensing** 1 Ed. CRC Editora. Boca Raton 2010, 436p.
- DAUGHTRY, C.S.T., McMURTREY III, J.E., CHAPPELLE, E. W., DULANEY, W. P., IRONS, J. R., SATTERWHITE, M. B. Potential for discriminating crop residues from soil by reflectance and fluorescence. **Agronomy Journal**, v. 87, n. 2, p. 165-171, Mar. 1995.
- DAUGHTRY, C.S.T., Discriminating Crop Residues from Soil by Shortwave Infrared Reflectance, **Agronomy Journal**, v. 93, n. 1, p. 125-131, Jan. 2001.
- DAUGHTRY, C.S.T., HUNT Jr., E. R., McMURTREY III, J.E., Assessing crop residue cover using shortwave infrared reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, n. 1, p. 126-134, Mar. 2004.
- DEMATTÊ, J.A.M., NANNI, M.R., FORMAGGIO, A.R., EPIPHANIO, J.C.N., Spectral reflectance for the mineralogical evaluation of Brazilian low clay activity soils. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 20, p. 4537-4559, 2007.
- GALVÃO, L.S., PIZARRO, M.A., EPIPHANIO, J.C.N., Variations in reflectance of tropical soils: spectral-chemical composition relationships from AVIRIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 75, n. 2, p. 245-255, Feb. 2001.
- GALVÃO, L.S., PEREIRA FILHO, W, ABDON, M. M., NOVO, E.M.L.M., SILVA, J.S.V., PONZONI, F.J., Spectral reflectance characterization of shallow lakes from the Brazilian Pantanal wetlands with field and airborne hyperspectral data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 21, p. 4093-4112, 2003.
- GALVÃO, L.S., FORMAGGIO, A.R., COUTO, E.G, ROBERTS, D.A., Relationships between the Mineralogical and Chemical Composition of Tropical Soils and Topography from Hyperspectral Remote Sensing Data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 63, n. 2, p. 259-271, Mar. 2008.
- JAXA, (2008), ALOS Data Users Handbook: Revision C. Disponível em: <http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/doc/fdata/ALOS_HB_RevC_EN.pdf> Acessado em 1º de agosto de 2012. 158 p.
- KAUFMAN, Y.J., FRASER, R.S., Atmospheric Effect on Classification of Finite Fields, **Remote Sensing of Environment**, v. 15, n. 2, p. 95-118, Mar. 1984.
- KAUFMAN, Y.J., The Atmospheric Effect on the Separability of Field Classes Measured from Satellites, **Remote Sensing of Environment**, v. 18, n. 1, p. 21-34, Aug. 1985.
- LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W., **Remote Sensing and Image Interpretation**, 3ª Ed., New York : Wiley & Sons, 1994. 750 p.
- MAO, Z., STUART, V., PAN, D., CHEN, J., GONG, F., HUANG, H., ZHU, Q., Effects of phytoplankton species composition on absorption spectra and modeled hyperspectral reflectance,

- Ecological Informatics**, v. 5, n. 5, p. 359–366, Sept. 2010.
- MILTON, E.J., SCHAEPMAN, M.E., ANDERSON, K., KNEUBÜHLER, M., FOX, N., Progress in field spectroscopy, **Remote Sensing of Environment**, v. 113, sup. 1, p. S92–S109, Sep. 2009.
- MORAN, M.S., JACKSON, R.D., SLATER, P.N., TEILLET, P. M., Evaluation of Simplified Procedures for Retrieval of Land Surface Reflectance Factors from Satellite Sensor Output, **Remote Sensing of Environment**, v. 41, n. 1-2, p. 169-184, Aug.-Sep. 1992.
- MURAKAMI, H., TADONO, T., IMAI, H., NIEKE, J., SHIMADA, M., Improvement of AVNIR-2 Radiometric Calibration by Comparison of Cross-Calibration and Onboard Lamp Calibration, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 47, n. 12, p. 4051-4059, Dec. 2009.
- NICODEMUS, F.E., RICHMOND, J.C., HSIA, J.J., GINSBERG, I.W., LIMPERS, T., **Geometrical Considerations and Nomenclature for Reflectance**. Washington, DC, U.S. Department of Commerce.(NBS Monograph 160).52 p.
- NOVO, E.M.L.M., PEREIRA FILHO, W., MELACK, J.M., Assessing the utility of spectral band operators to reduce the influence of total suspended solids on the relationship between chlorophyll concentration and the bidirectional reflectance factor in Amazon waters. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 22, p. 5105-5116, 2004.
- RAO, V.R., BRACH, E.J., MACK, A.R., Bidirectional Reflectance of Crops and the Soft Contribution, **Remote Sensing of Environment**, v. 8, n. 2, p. 115-125, May 1979.
- SAUNIER, D., GORYL, P., CHANDER, G., SANTER, R., BOUVET, M., COLLET, B., MAMBIMBA, A., AKSAKAL, S. K., Radiometric, Geometric, and Image Quality Assessment of ALOS AVNIR-2 and PRISM Sensors, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 48, n. 10, p. 3855-3866, Oct. 2010.
- SCHAEPMAN-STRUB, G., SCHAEPMAN, M.E., PAINTER, T.H., DANGEL, S., MARTONCHIK, J.V., Reflectance quantities in optical remote sensing—definitions and case studies, **Remote Sensing of Environment**, v. 103, n. 1, p. 27-42, Jul. 2006.
- SCHOWENGERDT, R.A., **Remote Sensing: Models, and Methods for Image Processing**, 3^a Ed., Academic Press, 2007. 515 p.
- SONG, C., WOODCOCK, C.E., SETO, K.C., LENNEY, M.P., MACOMBER, S.A., Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects?, **Remote Sensing of Environment**, v. 75, n. 2, p. 230-244, Feb. 2001.
- STONER, E.R., BAUMGARDNER, M.F., Characteristic variations in reflectance of surface soils, **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, n. 6, p. 1161-1165, Nov. 1981.
- TADONO, T., SHIMADA, M., MURAKAMI, H., TAKAKU, J., Calibration of PRISM and AVNIR-2 Onboard ALOS “Daichi”, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 47, n. 12, p. 4042-4050, Dec. 2009.
- THOME, K., MARKHAM, B., BARKER, J., SLATER, P., BIGGAR, S., Radiometric Calibration of Landsat, **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 63, n. 7, p. 853-858, Jul. 1987.
- VERMOTE, E.F.; TANRÉ, D., DEUZÉ, J.L., HERMAN, M., MORCRETTE, J.J., Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v 35, n. 3, p. 675- 686, May 1997.
- VERSTRAETE, M.M., PINTY, B., MYNENI, R.B., Potential and limitations of information extraction on the terrestrial biosphere from satellite remote sensing. **Remote sensing of Environment**. v. 58, n. 2, p 201-214, Nov. 1996.