

Avaliação da concordância entre a reflectância estimada pelo sensor MODIS/Terra e a obtida *in situ*

Egídio Arai¹
Gabriel Pereira¹
Luís Gonçalves Longo de Oliveira¹
Elisabete Caria Moraes¹
Yosio Edemir Shimabukuro¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{egidio, gabriel, luis, bete, yosio}@ltid.inpe.br

Abstract. This work presents an evaluation of the apparent and surface reflectance for the MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) onboard the EOS Terra platform. For evaluating the data, the transformed MODIS image was confronted with the ground measurements performed in the field using two FieldSpec Pro FR spectroradiometers for the ground observation and one FieldSpec Hand Held for measurements in the water. In general, the estimated MODIS reflectance data show a good agreement with *in situ* measurements.

Palavras-chave: Surface reflectance, satellite images, MODIS, reflectância de superfície, imagens de satélites.

1. Introdução

Com a rápida evolução nas técnicas de obtenção de informações terrestres através de sensores orbitais, o sensoriamento remoto se firmou como uma ciência capaz de dar suporte ao estudo de diversas variáveis ambientais face à sua natureza de aplicabilidade nas ciências físicas, biológicas e sociais. O uso de dados ambientais adquiridos pelas plataformas orbitais permite estudos com uma maior profundidade de investigação e, principalmente, com uma maior confiabilidade.

Entre os produtos gerados pelos satélites está a reflectância, propriedade intrínseca do alvo, definida por suas características físicas, químicas e biológicas. A reflectância é uma propriedade espectral, ou seja, varia de acordo com o comprimento de onda da radiação eletromagnética incidente no alvo. A partir das informações extraídas dos dados de satélites podem-se obter dados de reflectância planetária (reflectância aparente) e de reflectância de superfície. A reflectância aparente é resultante apenas da conversão dos números digitais (ND) da imagem em valores de reflectância, sem aplicação de correção atmosférica, enquanto que a reflectância da superfície é estimada eliminando-se a contribuição da atmosfera em cada “pixel”, através da modelagem da interação da REM com os gases atmosféricos radiativamente ativos (Slater, 1980).

Em muitas aplicações que utilizam as imagens de satélite, a acurácia de posicionamento e a acurácia radiométrica surgem como aspectos de fundamental relevância, alterando os resultados obtidos. Röder et al. (2005) e Teillet (1997) enumeram características do sensor, topografia, iluminação, sombra, direções de visada e contribuições atmosféricas como parâmetros que influenciam a qualidade radiométrica e, portanto, devem ser definidas para que o usuário possa atingir quantidades físicas mais precisas.

A assimilação de dados de sensoriamento remoto da atmosfera e de dados radiométricos da superfície permite a melhoria na previsão numérica de tempo e clima dos grandes centros mundiais. Nos últimos anos o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE) tem investido na implementação do modelo de transferência radiativa de Chou e Suarez (1999), baseado em parametrizações de processos

de transferência radiativa sofisticados e eficientes computacionalmente. Um dos parâmetros necessários para o bom desempenho deste modelo é a caracterização das reflectâncias *multi-band* para cada ponto de grade do modelo. Os produtos de satélites de recursos ambientais possibilitam a aquisição dessas informações com um detalhamento espacial muito superior à rede mundial de observação.

A medida da reflectância de um objeto terrestre, quando realizada em condições de campo, almeja manter as mesmas configurações de iluminação e observação do nível orbital, para que esta medida possa representar com mais fidelidade às características apresentadas nas imagens de satélite. Porém, devido às dificuldades técnicas de se obter medidas de reflectância espectral do objeto terrestre, obtêm-se medida equivalente, denominada fator de reflectância. O fator de reflectância de um objeto é dado pela razão entre a medida de radiância do objeto e a radiância de uma superfície lambertiana ideal, sendo estas radiâncias obtidas nas mesmas condições de iluminação e observação (Milton, 1987).

Nesse contexto, o presente trabalho visa estimar a reflectância de superfície a partir das imagens adquiridas pelo sensor MODIS/Terra e confrontá-las com os dados de verdade de campo medidos com o espectrorradiômetro FieldSpec PRO FR e FieldSpec *Hand Held* no momento da passagem do satélite pelas regiões de estudo. O escopo do trabalho consistirá na estimativa e na análise das reflectâncias de superfície referente às bandas do respectivo sensor localizadas na faixa do sensoriamento remoto óptico.

2. Materiais e Métodos

2.1 Caracterização e localização da área de estudo

Foram realizadas medidas em campo em duas regiões distintas, ambas no Estado de São Paulo. Uma na represa de Paraibuna no dia 09/06/2006, localizada entre as coordenadas 45°40'54''W e 23°16'43''S, e 45°18'54''W e 23°37'08''S, e outra no dia 06/08/2006 no município de Cachoeira Paulista, situando-se entre as coordenadas 44°52'56''W e 22°33'38''S, e 45°07'57''W e 22°51'15''S, no campus INPE-Cachoeira Paulista (**Figura 1**).

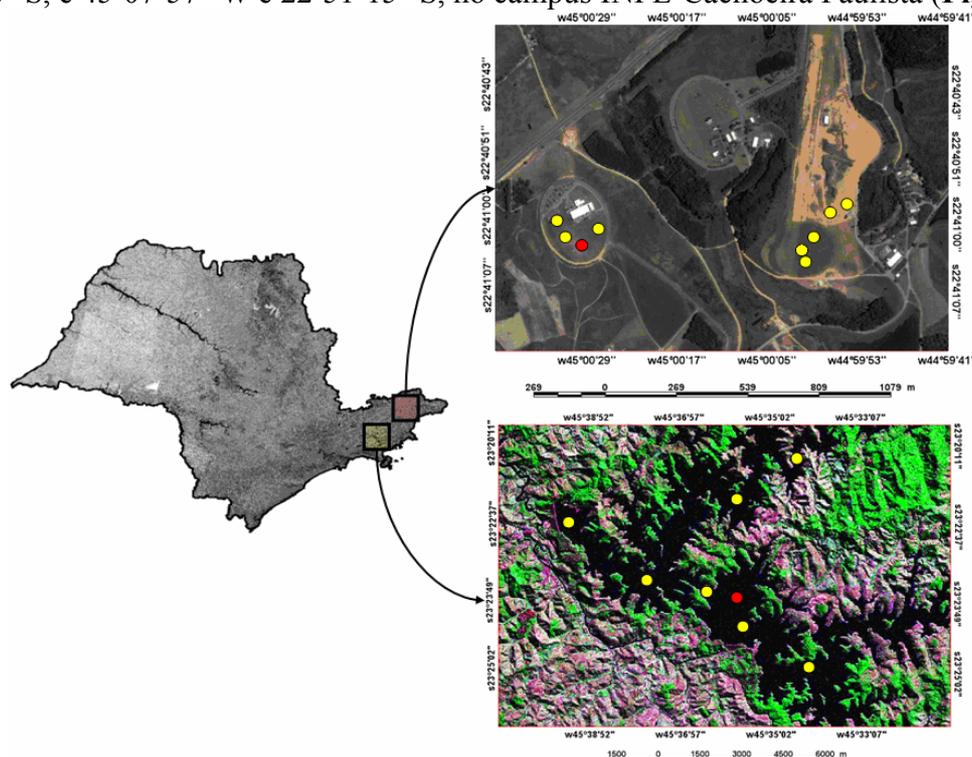


Figura 1 – Área de estudo com os pontos coletados e em vermelho os pontos utilizados.

Os pontos em vermelho indicam as amostras que foram utilizadas para a comparação entre a reflectância obtida *in situ* e a estimada pelo satélite MODIS/Terra. Já os pontos amarelos foram descartados por se localizarem próximos às bordas de pixels, ou por caracterizarem amostras pouco representativas pela constatação de grande heterogeneidade de cobertura na composição do pixel.

2.1 Equipamentos e tratamento das medidas

Para as medidas na represa de Paraibuna, utilizou-se o espectrorradiômetro FieldSpec Hand Held, que apresenta campo de visada entre 5° e 15°, resolução espectral de 3 nm e intervalo espectral de 350 a 1100 nm. Para a aquisição das informações, realizaram-se medições no campus do INPE-Cachoeira Paulista, utilizando-se dois espectrorradiômetros FieldSpec Pro FR, fabricados pela empresa Analytical Spectral Devices. Tais espectrorradiômetros possuem campo de visada de 25°, intervalo espectral de 350 a 2500 nm, resolução espectral variando de 3 a 10nm e tempo para aquisição de dados de aproximadamente 1/10 de segundo por espectro.

O fator de reflectância foi obtido utilizando-se como superfície lambertiana a placa *Spectralon* 11, que apresentou reflectância espectral de aproximadamente 100% em todo o espectro solar. O controle, registro e processamento dos dados medidos em campo foram feitos com o auxílio de um microcomputador portátil.

Para a comparação dos dados de fator de reflectância medidos em campo nos dias 09/06/2006 (represa Paraibuna) e 07/08/2006 (campus INPE-Cachoeira Paulista), com os dados provenientes do MODIS/Terra, utilizaram-se as bandas descritas na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Faixa espectral das bandas do MODIS/Terra

MODIS/Terra
459-479 nm (banda 3)
545-565 nm (banda 4)
620-670 nm (banda 1)
841-876 nm (banda 2)
1230-1250 nm (banda 5)
1628-1652 nm (banda 6)
2105-2155 nm (banda 7)

O sensor MODIS possui resolução temporal quase que diária e grande parte de seus produtos são disponibilizados gratuitamente na internet. Neste estudo foram utilizadas as reflectâncias obtidas pelo sensor MODIS no topo da atmosfera e na superfície terrestre, a radiância calibrada e os dados de geolocalização.

Os produtos de radiância calibrada (MOD 02), disponibilizados na forma de “varredura”, foram processados juntamente com os dados de geolocalização (MOD 03) utilizando o software “*Modis Reprojection Tool Swath*”. A radiância calibrada resultante deste processamento está representada na projeção UTM/WGS Zona 23 Sul. Como as bandas espectrais do MODIS apresentam resoluções espaciais diferentes, cinco bandas que apresentavam resolução de 500 metros (bandas 3, 4, 5, 6 e 7) foram interpoladas para 250 metros utilizando o método do vizinho mais próximo. Desse modo, todas as bandas utilizadas estavam espacializadas com resolução de 250m.

De acordo com Ahmad et al. (2002) os valores de reflectância aparente para cada banda (i) podem ser obtidos através da seguinte equação:

$$\rho_i = a_i (ND_i - b_i) \quad (1)$$

A **Tabela 2** apresenta as informações de *ganho* (a_i) e de deslocamento “*offset*” (b_i), obtidas do metadado que acompanha a imagem. Os valores de número digital (ND_i) são extraídos da imagem analisada. Esses valores foram integrados ao banco de dados geográficos para uma etapa posterior de processamento.

Tabela 2 – Valores de *ganho* e *offset* para a imagem

Bandas	Resolução espacial (m)	Largura de Banda (nm)	Ganho	Deslocamento
1	250	620-670	$5,26152 \cdot 10^{-5}$	0
2	250	841-875	$3,29113 \cdot 10^{-5}$	0
3	500	459-479	$3,55273 \cdot 10^{-5}$	0
4	500	545-565	$3,39858 \cdot 10^{-5}$	0
5	500	1230-1250	$3,78084 \cdot 10^{-5}$	0
6	500	1628-1652	$3,45399 \cdot 10^{-5}$	0
7	500	2105-2155	$2,81084 \cdot 10^{-5}$	0

Os produtos reflectância da superfície (MOD 09), diários e com resolução espacial de 250 metros, são disponibilizados no formato HDF na projeção sinusoidal. Utilizou-se o programa “*Modis Reprojection Tool*” (MRT) para a conversão do formato HDF para o formato geotiff e conversão da projeção sinusoidal para a projeção cartográfica UTM/WGS84 zona 23 Sul.

O algoritmo de correção atmosférica empregado no produto refletância de superfície (MOD 09) realiza a correção dos efeitos dos gases e aerossóis atmosféricos, relacionados à absorção e espalhamento. Através da função de distribuição de refletância bidirecional, os efeitos de adjacência da cobertura terrestre são corrigidos. Os dados utilizados na correção atmosférica são provenientes de “*look-up tables*”, que fornecem os valores de transmitância e da radiação proveniente da trajetória para uma grande variedade de geometrias de aquisição e os valores da concentração de aerossóis (Vermote, 1996).

Os dados digitais das imagens foram processados e espacializados no SPRING com grade retangular de 250 metros. Os pontos de aquisição das medidas em campo foram inseridos num plano de informação cadastral, permitindo a criação de uma tabela com os atributos espaciais. Cada ponto de coleta foi atualizado através da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), gerando, assim, uma tabela com todos os valores de reflectância estimados.

3. Resultados e Discussão

Em geral, os resultados estimados demonstram boa concordância com os dados de verdade terrestre. As medidas realizadas no campus INPE-Cachoeira Paulista demonstram que a área apresentada na **Figura 1** é composta principalmente por gramíneas. Porém, é notável nas observações de campo, a grande contribuição da resposta espectral do solo na composição do sinal adquirido. Como se visualiza na **Figura 2**, os valores estimados pelo MODIS e aqueles coletados em campo, apresentam-se ligeiramente diferentes, as bandas que estimaram os valores de reflectância mais contrastantes foram a banda 6 (1628 – 1652 nm) e a banda 7 (1230 – 1250 nm). Já as bandas 2 (841 – 876 nm), banda 4 (545 – 565 nm) e banda 5 (1230 – 1250 nm) mostraram valores muito semelhantes aos coletados em campo.

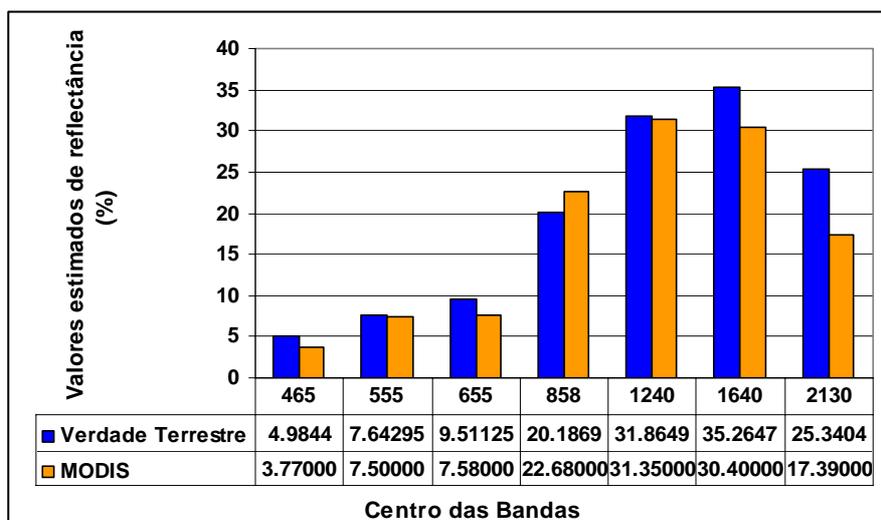


Figura 2 – Comparação entre as reflectâncias de superfície estimadas para cada banda do MODIS e sua respectiva verdade terrestre para os pontos do campus CPTEC/INPE.

A **Figura 3** apresenta para cada uma das bandas do satélite MODIS descritas na **Tabela 1**, a comparação entre a estimativa da reflectância da superfície pelo produto MOD09 e sua correspondente reflectância de superfície coletada com os espectrorradiômetros em cada ponto de observação (verdade terrestre) para o campus CPTEC/INPE. Os desvios em relação à verdade terrestre ficaram abaixo de 1% nas bandas centradas nos comprimentos de onda 465, 555 e 1240 nm. As bandas com pior desempenho foram as bandas centradas em 1640 e 2130 nm, com desvio de aproximadamente 5 e 8%, respectivamente. A banda centrada em 858 nm foi a única a subestimar a reflectância de superfície com desvio percentual inferior a 3%.

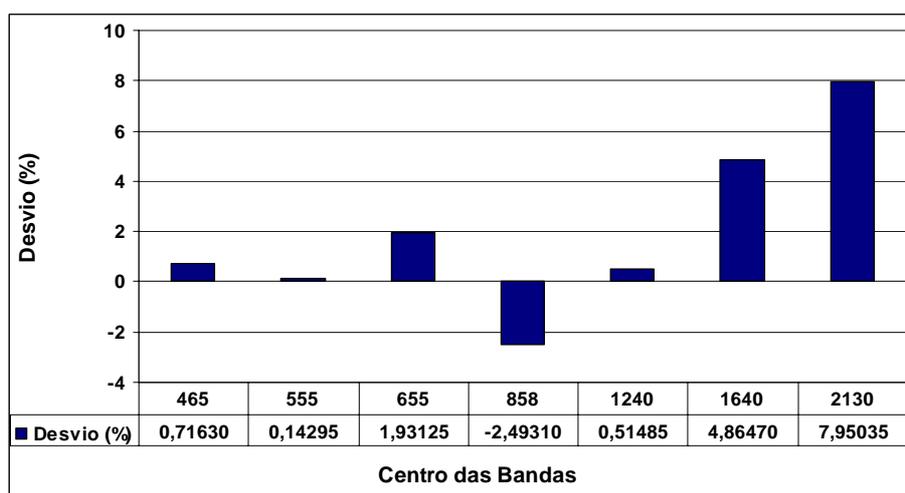


Figura 3 – Comparação entre as reflectâncias da superfície estimadas para cada banda do MODIS e sua respectiva verdade terrestre para a observação CPTEC/INPE.

Os dados coletados no dia 09/06/2006 demonstram que as respostas espectrais provenientes da represa de Paraibuna apresentam baixos valores de fator de reflectância. Estes valores são caracterizados por uma água onde a ocorrência de materiais em suspensão é muito pequena, predominando a absorção por fitoplâncton, principalmente pelos pigmentos da clorofila (Meneses, 2001).

Como mostra a **Figura 4**, os valores de reflectância da superfície, provenientes do sensor MODIS/Terra, apresentam superestimações em relação aos valores coletados *in situ*, com destaque para a banda 2 (com centro de banda em 858 nm). Enquanto que nas coletas feitas na represa atingem um valor máximo de 2.83%, os dados estimados pelo sensor MODIS atingem 3.92%. Estes valores apresentam-se pequenos absolutamente, porém, ao compará-los em relação a um referencial, neste caso as observações em campo, os valores relativos apresentam uma grande divergência.

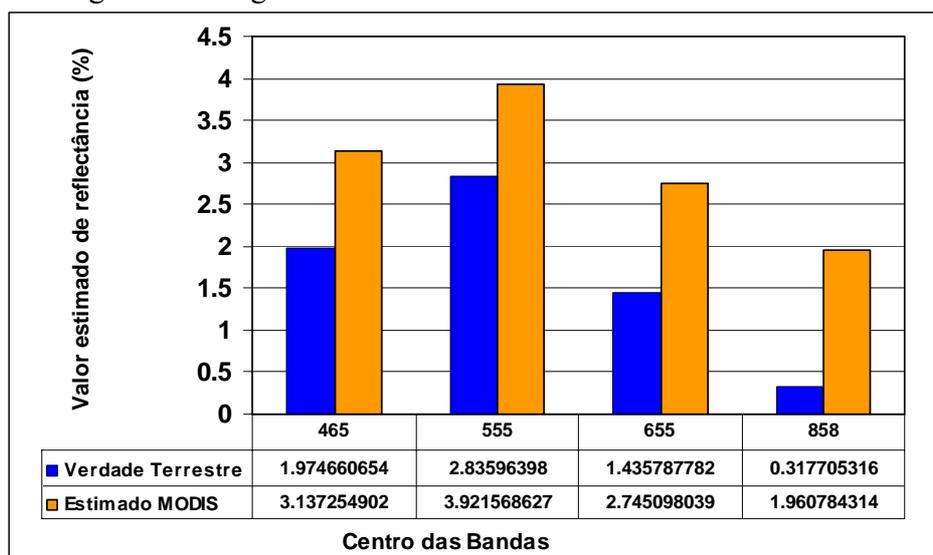


Figura 4 – Comparação entre as reflectâncias da superfície estimadas para cada banda do MODIS e sua respectiva verdade terrestre para os pontos da represa de Paraibuna.

Percebe-se, na **Figura 5**, que as maiores diferenças detectadas na estimação dos valores de reflectância da superfície estão presentes nas bandas na faixa espectral do vermelho (620 – 670 nm) e do infravermelho próximo (841 – 876 nm), nestas regiões os valores são superiores a 1.30%. Nas bandas do azul (459 – 479 nm) e do verde (545 – 565 nm) os valores são, em média, 1.00 a 1.16% maiores que os dados coletados em campo. Em média, quando compara-se os valores entre si, estes apresentam valores de 30 – 40% maiores que os coletados em campo.

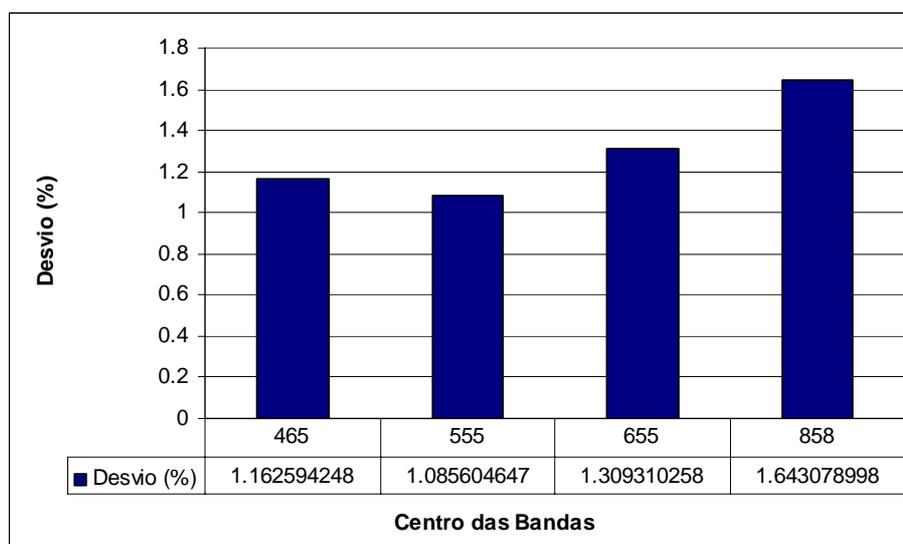


Figura 5 – Diferença entre o valor estimado pelo MODIS e o valor coletado em campo (Estimado- Medido).

As principais causas da superestimação dos valores estão na modelagem dos processos de transferência radiativa que ocorrem na atmosfera, causadas principalmente pelos gases radiativamente ativos, como por exemplo, o O₃, vapor d'água, CO₂ e O₂. A **Tabela 3** apresenta os valores da reflectância da superfície (ρ_s) medidos em campo, e as reflectâncias aparente (MOD 02) e da superfície (MOD 09) estimadas pelo sensor MODIS. É possível observar que o modelo de correção atmosférica aplicado à estimativa da reflectância de superfície tem melhor desempenho nas bandas do visível, onde a radiação eletromagnética sofre menor influência do vapor d'água. As diferenças encontradas nas bandas do infravermelho próximo e infravermelho médio poderiam ser minimizadas com uma melhor representação do perfil de vapor de água na atmosfera implementadas no modelo de correção atmosférica.

Tabela 3 – Reflectância medida na superfície (ρ_s medido) e Reflectâncias aparente e da superfície estimadas para o MODIS (ρ_a e ρ_s estimada).

Banda (nm)	465	555	655	858	1240	1640	2130
ρ_s medido	0,0498	0,0764	0,0951	0,2019	0,3186	0,3526	0,2534
ρ_a estimada	0,0781	0,0692	0,0558	0,1479	0,2069	0,1945	0,1061
ρ_s estimada	0,0377	0,0750	0,0758	0,2268	0,3135	0,3040	0,1739

4. Considerações Finais

Embora a resolução espacial nominal de 250m do sensor MODIS/Terra resulte numa grande contaminação por heterogeneidade dos padrões de cobertura do solo presentes, pode-se constatar razoável aproximação entre as estimativas de reflectância da superfície e o valor de verdade terrestre.

É necessário salientar que os resultados aqui obtidos estão intrinsecamente ligados às condições específicas de aquisição das imagens utilizadas. No período anterior ao experimento no campus INPE-Cachoeira Paulista, de 29/07/2006 a 03/08/2006 houve chuva intensa na região, como visto nos produtos de Tempo e Clima do CPTEC, que tornou a atmosfera muito limpa e seca. Para as coletas na represa de Paraibuna, ocorreu uma pequena precipitação nos dias 06/06/2006 a 08/06/2006. Sugere-se, portanto, a realização de um número maior de experimentos, a fim de diminuir tal especificidade.

Percebe-se que quanto menor o sinal recebido pelo sensor, maiores os erros nas estimativas de reflectância da superfície. Fatores como a modelagem dos processos radiativos, contaminação de pixels adjacentes e espalhamentos múltiplos ocorridos na atmosfera podem interferir nas estimativas da reflectância. Deve-se, então, tentar minimizar ao máximo a interferência destes fatores na formação do sinal coletado.

Agradecimentos

Agradecemos, em especial, ao professor Flávio Ponzoni pela ajuda prestada e pelas sugestões que, de alguma maneira, contribuíram com o trabalho.

Referências

Ahmad, S.P., Salomonson, V.V., Barnes, W.L., Xiong, X., Leptoukh, G.G., & Serafino, G.N. (2002). MODIS Radiances and Reflectances for Earth System Science Studies and Environmental Applications. *Proceedings of the 18th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology, Oceanography, and Hydrology, January 13-17, 2002, Orlando, Florida*, 188-192.

Chou, M.-D.; Suarez, M. J. A solar radiation parameterization for atmosphere studies (CLIRAD-SW). TR on **Global Modeling and Data Assimilation**. Greenbelt: GSFC/NASA, 1999, v. 15, 42 p. (NASA/TM-1999-10460).

Meneses, P. R.; Netto, J. D. S. M. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília, DF: UnB, Planaltina:Embrapa Cerrados, 2001. 262p. p.

Milton, E. J. Principles of field spectroscopy. *International Journal of Remote Sensing*, 1987, Vol. 8, nº. 12, 1807-1927.

Röder, A.; Kuemmerle, T.; Hill, J. Extension of retrospective datasets using multiple sensors. An approach to radiometric intercalibration of LANDSAT TM and MSS data. **Remote Sensing of Environment**, v.95, n.2, p.195-210, Mar. 2005.

Slater, P.N. **Remote sensing: optics and optical systems**. New York, Addison-Wesley, 1980. 515p.

Teillet, P. M. A status overview of earth observation calibration/validation for terrestrial applications. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 4, p. 291-298, Dec. 1997.

Vermote E.F., Atmospheric correction algorithm: Spectral Reflectances (MOD09), Version 3.0, **MODIS Algorithm Technical Background Document**, EOS ID #2015, November 1996.