

Avaliação de metodologias de estimativas do albedo da superfície terrestre a partir de imagens MODIS

José Carlos Mendonça¹
Elias Fernandes de Sousa¹
Ramon Morais de Freitas²
Pabrcio Marco Oliveira Lopes²
Romísio Geraldo Bouhid André¹
Bernardo Barbosa Silva³

¹**Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF**
Av. Alberto Lamego, 2000/CCTA/sl 209 - 28013-602
Campos dos Goytacazes, RJ – Brasil
{mendonça, efs, romisio}@uenf.br

²**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE**
Caixa Postal 515 – 12245-970 – São José dos Campos – SP, Brasil
{[ramon](mailto:ramon@dsr.inpe.br), [pabrcio](mailto:pabrcio@dsr.inpe.br)}@dsr.inpe.br

³**Universidade Federal de Campina Grande – UFCG**
Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó - 58.109-970 - Campina Grande, PB
bernardo@dca.ufcg.edu.br

Abstract: The product surface albedo (MOD43) it is integrated in a period of 16 days and in a resolution of 1km, needing powders processing for adjustments and final corrections. This product integrated in 16 days usually presents proceeding defects mainly for the presence of clouds in one or more days of the integrated period. In the estimate of the balance of energy in vegetated surfaces the defects observed in the products MOD43 can generate incorrectness in the results. The objective of this work was to compare the values of surface albedo estimate for the methodology proposed by Tasumi et al. (2005) with images GHK, for daily period and resolution of 500m, with the product MOD43B1 for to calculate the radiation balance for the algorithm "Surface Energy Balances Algorithms for Land - SEBAL". it was obtained a coefficient of correlation of 0,95 between the methodologies of estimate of albedo and 0,90 and 0,88 among the values of the radiation balance measured and dear for the two appraised methodologies, being ended that the both assist to the operational use for the estimate of the radiation balance, being reserved the option by that of presenting larger application simplicity and larger specificity with the proposed objectives.

Palavras-chave: Atmospheric correction, surface reflectance, radiation transfer model, energy balance, correção atmosférica, superfície de reflectância, modelo de transferência radiativa, balanço de energia

1. Introdução

A energia solar refletida pela superfície da terra e observada pelos satélites sofre influência dos efeitos da atenuação e do espalhamento atmosférico. Esses efeitos podem ser eliminados utilizando-se modelos de transferência radiativa. Aplicações de modelos como o MODTRAN e o 6S RTM são comuns em pesquisas aplicadas que requerem acurácia na determinação da superfície de reflectância e do albedo de superfície. Porém, esses modelos exigem a criação de tabelas para condições de padrões atmosféricos além de necessidade de conhecimento teórico específico para sua operacionalização. Em função dessas necessidades, os modelos empíricos de correção atmosférica têm sido desenvolvidos e frequentemente utilizados em processamentos de imagens orbitais.

No caso específico das imagens Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), os produtos albedo e superfície de reflectância já processados são distribuídos pela

National Aeronautics and Space Administration (NASA) gratuitamente. No entanto, o produto albedo da superfície terrestre (MOD43) é integrado num período de 16 dias e numa resolução de 1km, necessitando de pós-processamento para ajustes e correções. Esta integração em 16 dias geralmente apresenta defeitos oriundos principalmente pela presença de nuvens em um ou mais dias do período integrado. Apesar das limitações existentes no produto albedo MODIS, este vem sendo amplamente utilizado pela comunidade científica.

Na estimação do balanço de energia em superfícies vegetadas os defeitos observados nos produtos MODIS albedo podem gerar incorreções nos resultados. Buscando uma solução para o problema, Tasumi et al (2005) buscaram o desenvolvimento de uma metodologia para estimar o albedo de superfície a partir dos produtos MOD09-GHK e MYD09-GHK. O método reproduz o modelo de transferência radiativa baseado em correções atmosféricas que usa um formato de equação reduzida apresentado por Majumdar et al (1972) para transmitância atmosférica da radiação solar global apresentado no guia de padronização do cálculo de evapotranspiração de referência (Allen et al.,1998; EWRI,2005) e que foi adotada pela Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) e pela Environment and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers (EWRI). O objetivo desse trabalho foi o de comparar o saldo de radiação estimado pelo algoritmo “Surface Energy Balance Algorithm for Land – SEBAL” utilizando os valores de albedo de superfície estimados pela metodologia proposta por Tasumi et al.(2003) e pelo produto MOD43B1-16 dias.

2. Material e Métodos

Para a elaboração deste trabalho foram utilizados os produtos Reflectância da Superfície Terrestre (MOD09) e Temperatura de Superfície Terrestre (MOD11A1) processadas a partir de dados do sensor MODIS/Terra nos dias julianos 15, 36, 48, 79, 102, 139, 166, 189, 190 e 191 do ano de 2006 e referentes ao *tile* h14/v11, além do produto Albedo da Superfície Terrestre (MOD43B1) referentes aos dias julianos 1, 17, 33, 65, 81, 129, 161 e 177, do mesmo ano.

As imagens foram obtidas gratuitamente junto ao Land Processes Distributed Active Archive Center (LP-DAAC) através do site <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/> e foram tratadas e amostradas para a resolução espacial de 500 m utilizando-se a ferramenta MODIS Reprojection Tool (MRT).

Para os empilhamentos, as composições, os recortes e álgebras das imagens utilizou-se o software Erdas Image, Versão 8.6.

A área de estudo se encontra delimitada entre as coordenadas geográficas 21° 10' e -22° 25'S e -40° 45' e -42° 10'W e a altitude média de 11 m.

Os valores do saldo de radiação foram obtidos por saldo radiômetro NR Lite, da Kipp & Zonen montado numa estação micrometeorológica pertencente à Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF e instalada sobre uma área agrícola cultivada com cana-de-açúcar (coordenadas: -21° 43' 21.8" S e -41° 24' 21.8" W), estando o sensor posicionado a uma distância de 2m do dossel da cultura.

Os dados de temperatura do ar foram coletados por um sensor Vaisala HMP45C-L instalado no mesmo local.

O saldo de radiação, em cada pixel foi calculado pela seguinte equação:

$$R_n = (1-\alpha) RS_{\downarrow} + RL_{\downarrow} - RL_{\uparrow} - (1-\epsilon_0) RL_{\downarrow} \quad (1)$$

em que RS_{\downarrow} é a radiação de onda curta incidente; RL_{\downarrow} é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção da área estudada, ambos admitidos constantes em todo o recorte de cena; α , RL_{\downarrow} e ϵ_0 correspondem respectivamente ao albedo da superfície terrestre, a radiação de onda longa emitida e a emissividade de cada pixel da cena estudada;

O albedo da superfície terrestre (α) em cada pixel foi estimado segundo proposta de Tasumi, et al. (2005) e pelo produto MOD43B1, com ajustes segundo Schaaf et al. (2002).

A Radiação de onda curta incidente em cada pixel foi determinada pela equação:

$$RS\downarrow = S \cos Z d_r \tau_{sw} \quad (2)$$

em que S é a constante solar ($W.m^{-2}$); Z é o ângulo zenital solar; d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol na data de cada imagem e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica.

A Radiação de onda longa incidente em cada pixel foi determinada pela equação:

$$RL\downarrow = \epsilon_a \cdot \sigma \cdot Tar^4 \quad (3)$$

sendo ϵ_a é a emissividade da atmosfera; σ a constante de Stefan-Boltzman e Tar é a temperatura do ar ($^{\circ}K$) obtida no horário médio entre o início e o fim de cada imageamento existente do cabeçalho das imagens.

Para a obtenção das imagens albedo da superfície terrestre derivadas dos dados MODIS, utilizou-se a proposta de Schaaf et al.(2002) que sugere a interpolação entre os albedos *White-sky* e *Black-sky*. Essas duas componentes foram obtidas na versão 4 (V004) nível 2G, com resolução espacial de 1000 m, resolução radiométrica de 16 bits e 10 bandas espectrais. Nesse trabalho foram usadas as imagens albedos *Black-sky* (componente direta) e *White-sky* (componente difusa, respectivamente bandas 10.1 e 10.2 (0,25 a 4,0 μm) recortadas em relação a área de interesse e salvas com projeção WGS84 e formato GEOTIFF. Essas imagens são fornecidas em nível de cinza devendo ser multiplicadas por 0,001(<http://edcdaac.usgs.gov/modis/mod11a1v4.asp>) e então transformadas em imagens *Blue-sky* como uma interpolação entre as componentes direta e difusa em função da fração de luz difusa, o qual depende do ângulo zenital solar e da profundidade óptica da atmosfera. Esta correção é usada para minimizar os efeitos de atenuação atmosférica provocado por aerossóis, sendo então expressa por Schaaf et al. (2002) do seguinte modo:

$$\alpha(\theta, \lambda) = \{1 - S(\theta, \tau(\lambda))\} \alpha_{bs}(\theta, \lambda) + S(\theta, \tau(\lambda)) \alpha_{ws}(\theta, \lambda) \quad (4)$$

em que α é o albedo da superfície terrestre (*Blue-sky*), S é a fração da luz solar difusa, α_{bs} é a imagem de albedo *Black-sky* e α_{ws} a imagem de albedo *White-sky*.

A fração de luz solar difusa é obtida de tabelas look-up table disponíveis em pacotes computacionais do produto MOD43 (www-modis.bu.edu/brdf/userguide/val.html). Essas tabelas contêm valores de fração de luz difusa $S(\theta, \tau(\lambda))$ em função do tipo de aerossóis (continentais ou marinhos), profundidade óptica (0 a 1, variação 0,02) e ângulo zenital solar (0° a 89° , variação de um grau) corrigidas dos efeitos atmosféricos (código 6S).

Os albedos da superfície terrestre, seguindo proposição de Tasumi et al. (2005) foram calculadas pela seguinte equação:

$$\alpha_s = \sum_{b=1}^7 [\rho_{sb} \cdot w_b] \quad (5)$$

onde w_b é coeficiente de peso que representa a fração da radiação solar em direção a superfície que ocorre em cada comprimento de onda representado por uma banda espectral específica. Esse coeficiente é determinado pela seguinte relação:

$$W_b = \frac{\int_{LO_b}^{LU_b} R_{s\lambda} \cdot d\lambda}{\int_{0.3}^{4.0} R_{s\lambda} \cdot d\lambda} \quad (6)$$

sendo $R_{s\lambda}$ é a radiação solar hemisférica espectral em direção a superfície para um comprimento de onda λ (μm); UP_b e LO_b são os intervalos superiores e inferiores dos comprimentos de onda de cada uma das 7 bandas do sensor MODIS (μm).

3 – Resultados e Discussão

A **Figura 1** apresenta da área de estudo e o posicionamento da estação micrometeorológica e da cidade de Campos dos Goytacazes, RJ. Nela pode-se perceber o Rio Paraíba do Sul transpassando a região de noroeste para sudeste e tendo suas margens ocupadas predominantemente por cultivos de cana-de-açúcar. Na região norte da área pode-se observar o rio Muriaé e sua foz no rio Paraíba do Sul. Na região sudoeste da imagem pode-se observar a lagoa de Cima e seu defluente principal, o rio Ururaí.

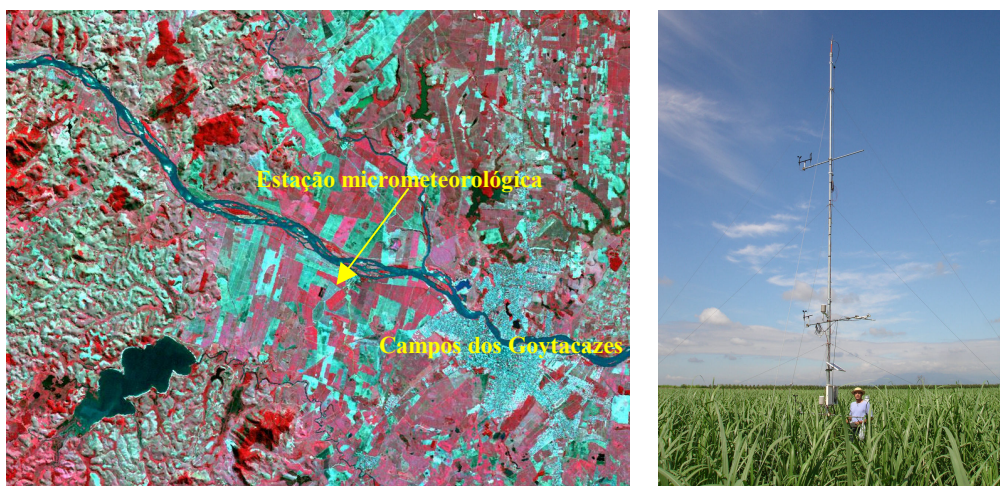


Figura 1: Localização da área de estudo e detalhe da estação micrometeorológica. Recorte de cena Landsat TM – P/O 216/75 -de 21/06/2006 - Composição RGB 4/3/2 .

A **Figura 2** apresenta as correlações entre os valores do saldo de radiação instantâneo medido pelo saldo radiômetro e estimados pelo algoritmo SEBAL utilizando o produto albedo-MODIS (MOD43) e pelo modelo de Tasumi et al. (2005) para estimativa do albedo da superfície terrestre. Observa-se que as duas metodologias apresentaram boa correlação com os valores medidos ($R^2 = 0,90$ e $0,88$). Percebe-se ainda que as duas metodologias superestimaram os valores medidos, principalmente quando os estes foram menores que 500 W.m^{-2} .

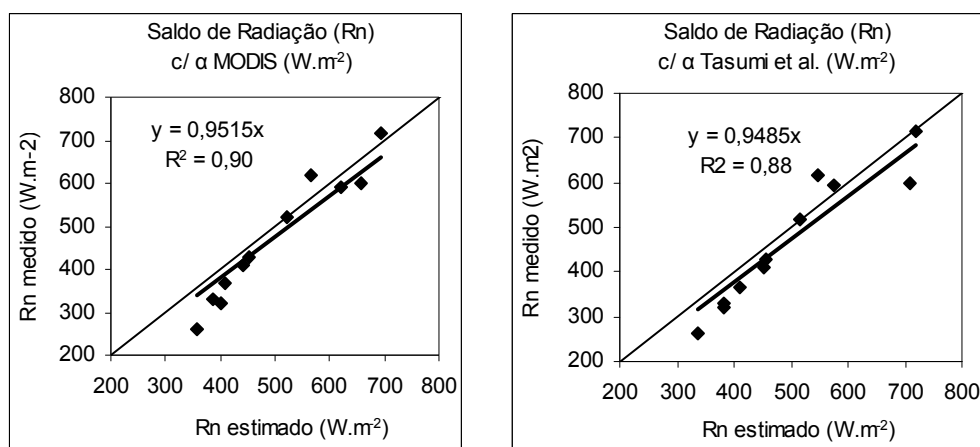


Figura 2: Correlação entre os valores do saldo de radiação medida e estimada, em W.m^{-2}

A **Figura 3** apresenta a correlação entre os valores do saldo de radiação estimados pelo algoritmo SEBAL utilizando as duas metodologias para estimação do albedo de superfície (A) e o comportamento temporal das estimativas em relação aos valores medidos (B) e nela pode-se perceber o bom ajustamento entre os métodos estimadores do albedo ($R^2 = 0,95$) indicando a excelente performance da metodologia proposta por Tasumi et al. (2003).

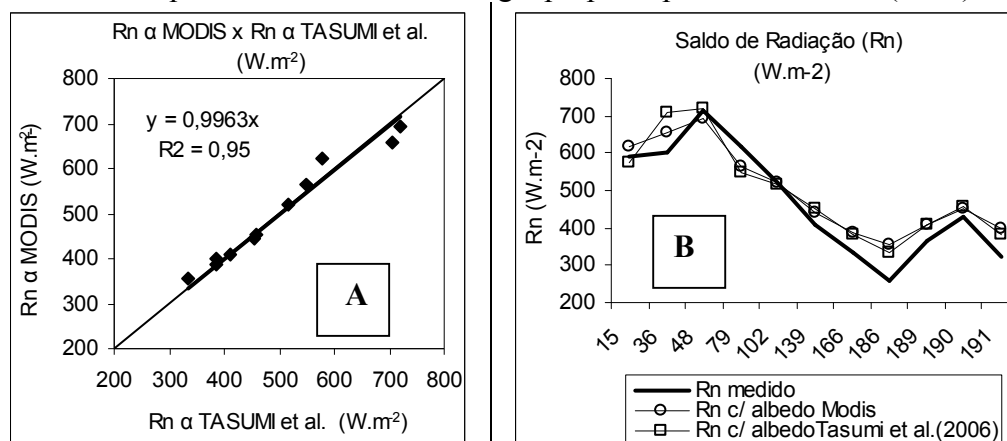


Figura 3: Correlação entre os valores do saldo de radiação estimado pelos dois modelos de albedo (A) e a variação temporal dos valores estimados, em $W.m^{-2}$.

Na Figura 3-B pode-se observar que apesar da boa correlação entre as metodologias avaliadas, há uma tendência de superestimativa dos valores do saldo de radiação preferencialmente nos meses de inverno, indicando necessidade de ajustamento no algoritmo SEBAL e/ou nas determinações dos coeficientes de ajustamento das cartas de albedo.

Esses resultados concordam com Tasumi et al. (2005) que, testando a metodologia proposta com dados de saldo de radiação de 49 localidades dos Estados Unidos da América observaram uma correlação média de 95 % entre os valores medidos e estimados pelas duas metodologias.

4. Conclusão

Os valores do saldo de radiação medidos e estimados com uso das duas metodologias avaliadas apresentaram uma excelente correlação permitindo o uso operacional de qualquer uma das duas, preferencialmente a de maior facilidade operacional e de maior especificidade com os objetivos propostos.

5. Referência bibliográfica

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. **Crop evapotranspiration. FAO: Irrigation and drainage paper 56.**Roma, Food and Agricultural Organization of the United Nations.1998. xp.

Schaaf, C., Gao, F., Strahler, A., Lucht, W., Li, X., Tsung, T., Strugnell, N., Zhang, X. Jin, Y., Muller, J.P., Lewis, P., Barnsley, M., Hobson, P., Disney M., Roberts, G., Dunderdale, M., Doll, C., d'Entremont, R., Hu,B., Liang, S., Previtte,J.,& Roy, D. First operational BRDF, albedo and nadir reflectance products from MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p.135-148, 2002.

EWRI (2005). The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Environment and Water Resources Institute (EWRI) of the American Society of Civil Engineers Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration Equation.

<http://www.kimberly.uidaho.edu/water/asceewri/>. Acesso em: 15 jun. 2006.

Majundar, N., C., Mathur, B. L., & Kaushik, S.,B. Prediction of direct solar radiation for low atmospheric turbidit. **Solar Energy** v.13, p.383-394, 1972.

Tasumi, M.; Allen, R.G.; Trezza, R (2005). At-Surface Reflectance and Albedo from satellite for Operational Calculation of Land Surface Energy Balance. **Journal Hydrologic Engineering** (submitted). 51 p.