

Validação do albedo da superfície terrestre obtido dos dados do sensor MODIS em regiões montanhosas

Pabrcio Marcos Oliveira Lopes¹
Dalton de Morisson Valeriano¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{pabrcio, dalton}@ltid.inpe.br

Abstract. The objective of this work is to validate Earth surface albedo MODIS product with one calculated from Landsat ETM+ sensor for the Serra da Mantiqueira Region. An empirical algorithm was applied to estimate surface albedo with ETM+ data. The results shows that there is agreement among MODIS surface albedo product and the one obtained with ETM+ data ($R^2 = 0.64$) at the confidence level of 99%. Albedo values ranged between 0 and 0,2 in MODIS product with average of 0.16 and between 0 and 0,33 with average of 0,25 in the ETM+ derived map. The main sources of uncertainty that are responsible for the different albedo intervals were the difference in the surface moisture between the days that preceded the ETM+ acquisition and the integration time of the MODIS product and the differences in spatial resolution of the MODIS sensors (1 km) and the ETM+ (30 m).

Palavras-chave: Albedo, MODIS, Landsat 7, ETM+, montanhas.

1. Introdução

A irradiância solar é a fonte primordial de energia nos ecossistemas terrestres, condicionando a temperatura na superfície e as intensidades dos fluxos energéticos entre superfície e a atmosfera e de processos biofísicos como evapotranspiração e produtividade primária (Oke, 1987). Quando a irradiância solar é interceptada por um ecossistema podem ocorrer os seguintes fenômenos físicos: reflexão, transmissão, espalhamento, absorção e emissão. Tais interações são usadas para estimar os balanços de radiação de ondas curtas e ondas longas, o qual estabelece o equilíbrio térmico de um ecossistema terrestre. Conhecendo-se o albedo da superfície (reflectância integrada por todo o espectro eletromagnético e em todas as direções), o termo de balanço de ondas curtas pode ser determinado a partir de estimativas da irradiância solar.

O albedo varia em função do comprimento de onda conforme a reflectância do local e é também dependente das condições de iluminação. Discrimina-se em função destas, dois tipos de albedo: o albedo chamado “Black Sky” para condições de iluminação direta e o albedo “White Sky” para condições de iluminação difusa. O albedo da superfície é representado pela soma dos dois albedos ponderados pela proporção de irradiância direta e difusa, denominada albedo “Blue Sky” (Iqbal, 1980).

Em áreas acidentadas, observações de campo por uma rede de albedômetros não conseguem capturar a variabilidade espacial no albedo do terreno (Dubayah e Loechel, 1997). Representações espaciais de albedo podem ser derivadas por meio de técnicas de sensoriamento remoto aplicadas a dados de sensores orbitais (Brest e Goward, 1987; Liang et al. 2002). A partir dos algoritmos de Liang et al. (2002) e Schaaf et al (2002) um produto albedo de superfície (MOD43B3) é obtido a partir de dados MODIS (Schaaf, 2004).

O objetivo deste trabalho é apresentar a validação do produto albedo (MOD43B3) em uma região montanhosa da Serra da Mantiqueira no SE do Brasil.

2. Materiais e Método

2.1. Área de estudo

A área de estudo (**Figura 1**) abrange uma porção da Serra da Mantiqueira e do Vale do Rio Paraíba do Sul, constituída por rochas cristalinas pertencentes ao Escudo Brasiliense, cujos cumes ultrapassam 2.000 m. Essa região encontra-se classificada como domínio de “Mares de Morros”. A precipitação anual varia entre 1.000 a 2.000 mm, o inverno é frio e o verão é brando, com temperatura média anual do ar entre 18 a 19°C e umidade relativa maior que 70%. A vegetação é classificada como Floresta Ombrófila Montana até a cota de 1.800 m e Campos de Altitude em cotas superiores. Áreas antrópicas estão presentes tanto na serra quanto no vale.

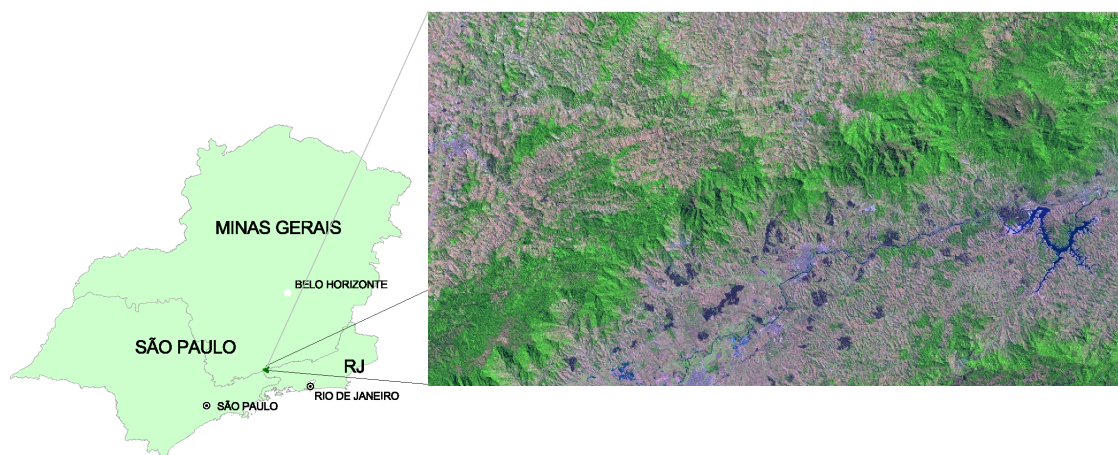


Figura 1. Localização e composição colorida de imagem TM-Landsat 5 (TM3-B, TM4-G, TM5-R) da área de estudo entre $-22^{\circ} 33' S$ e $-45^{\circ} 30' W$; $-22^{\circ} 30' S$ e $-44^{\circ} 30' W$ (TM - Thematic Mapper; B = Azul; G = Verde; R = Vermelho).

2.2. Descrição do produto Albedo (MOD43B3)

O produto MOD43B3 representa o albedo da superfície terrestre obtidos das bandas do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) do satélite Terra (**Tabela 1**). O MOD43B3 utiliza por outros produtos do Modis descritos em edcdaac.usgs.gov.

Tabela 1. Bandas espectrais do sensor MODIS utilizadas pelo produto albedo (MOD43B3).

Número das bandas	Bandas (μm)	Região do espectro
1	0,620-0,670	Vermelho
2	0,841-0,876	Infravermelho próximo
3	0,459-0,479	Azul
4	0,545-0,565	Verde
5	1,230-1,250	Infravermelho próximo
6	1,628-1,652	Infravermelho médio
7	2,105-2,155	Infravermelho médio
8	0,400-0,700	Visível
9	0,700-4,000	Infravermelho
10	0,250-4,000	Onda-curta

O produto MOD43B3 encontra-se disponível em arquivos HDF-EOS na versão 4 (V004) nível 2G/nível 3, projeção de área Sinusoidal, em quadrículas de 1.200 x 1.200 pixels, resolução espacial de 1.000 m, resolução radiométrica de 16 bits e para 10 bandas distintas. O

produto disponibiliza dois tipos de albedos para 7 bandas espectrais e 3 bandas largas: os albedos *Black-Sky* e *White-Sky*. O albedo *Black-Sky* é a componente direta do albedo da superfície captada pelo sensor MODIS em todas as direções e diferentes intensidades (integração hemisférica). Neste produto, o albedo *Black-Sky* (α_{bs}) foi produzido somente para o meio-dia solar de cada local. O albedo *White-Sky* (α_{ws}) corresponde a componente difusa. Esta componente representa a integração dos albedos hemisféricos provenientes da atmosfera e da superfície que são detectados pelo sensor MODIS com a mesma intensidade e em todas as direções (isotrópica).

2.3. Pré-processamento do albedo da superfície terrestre

As etapas de preparação para usar o albedo do sensor MODIS/Terra é ilustrado na **Figura 2**.

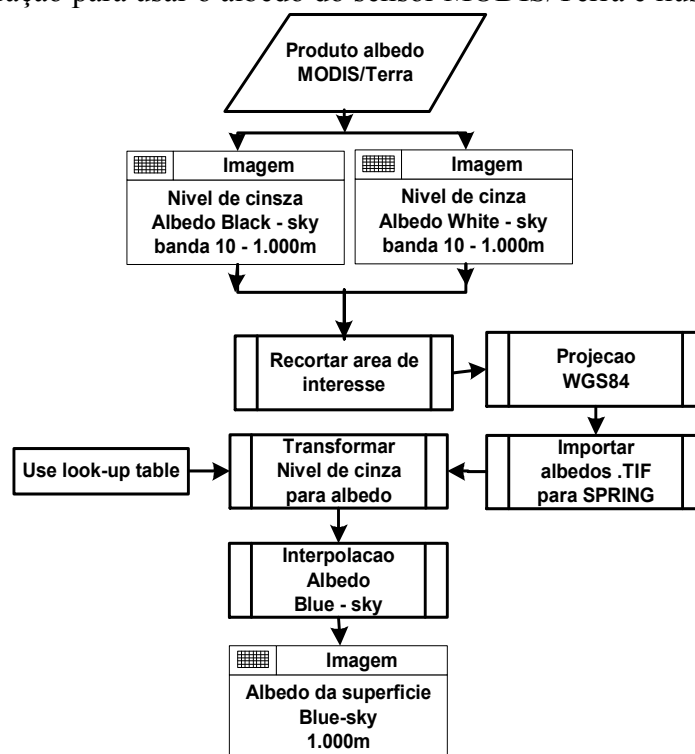


Figura 2. Etapas de preparação do produto albedo (MOD43B3) da superfície terrestre do obtidos dos dados do sensor MODIS.

Na primeira etapa, obtêm-se as imagens dos albedos *Black-Sky* e *White-Sky* no site (geography.bu.edu/brdf), a exemplo duas bandas 10 (0,25 - 4,0) μm . Estas bandas são recortadas nas dimensões do projeto de interesse utilizando a ferramenta *Modis tool*, salvando com projeção *WGS84* (compatível com o software *SPRING*) no formato *GEOTIFF*. Na etapa subsequente, as bandas são importadas para o *SPRING*. Essas imagens são fornecidas em níveis de cinza devendo ser multiplicadas por 0,001. Por último, faz-se a interpolação entre a componente direta e a difusa em função da fração de luz difusa para obter o albedo *Blue-Sky* (A_s) expressa por Schaaf et al. (2002) de acordo com a equação 1:

$$A_s(\theta, \lambda) = [1 - S(\theta, \tau(\lambda))] \times \alpha_{bs}(\theta, \lambda) + S(\theta, \tau(\lambda)) \times \alpha_{ws}(\theta, \lambda) \quad (1)$$

em que $\alpha_{bs}(\theta, \lambda)$ = albedo *Black-Sky*; $\alpha_{ws}(\theta, \lambda)$ = albedo *White-Sky*; θ = ângulo zenital solar; λ = comprimento de onda; $\tau(\lambda)$ = profundidade óptica; $S(\theta; \tau(\lambda))$ = fração de luz

difusa. A $S(\theta;\tau(\lambda))$ é obtida de tabela *look-up table* disponível em pacote computacional do produto MOD43B1 (Schaaf, 2004). Essa tabela contém valores de $S(\theta;\tau(\lambda))$ em função do tipo de aerossóis (continentais ou marítimos), profundidade óptica (0 a 1, variação 0,02) e ângulo zenital solar (0° a 89° , variação de 1°) corrigidos dos efeitos atmosféricos (código 6S). O albedo *Blue-Sky* foi calculado no intervalo de $0,25-4,0\mu\text{m}$ aplicando a equação (1) para $S(\theta;\tau(\lambda)) = 0,74$; $\tau(\theta) = 0,2$ para $\theta = 0^\circ$.

2.4. Albedo da superfície terrestre derivado do sensor ETM+

Os procedimentos para o cálculo do albedo dos dados do sensor ETM+/Landsat 7 é mostrado na **Figura 3**.

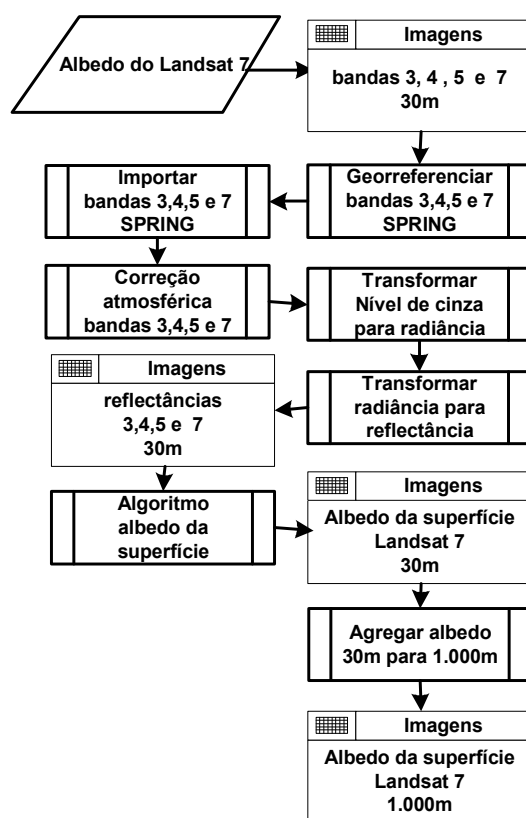


Figura 3. Fluxograma das etapas de obtenção do albedo da superfície terrestre dos dados do sensor ETM+/Landsat7.

Inicialmente, obteve-se uma imagem do Landsat 7 que estivesse entre 18 de fevereiro a 05 de março de 2003, intervalo de composição do produto albedo, e na ausência de nuvens. A imagem selecionada foi a do dia 27 de fevereiro de 2003. As bandas 3, 4, 5 e 7 do ETM+ foram georreferenciadas e importadas para o ambiente computacional SPRING. A correção dessas bandas foi feita pelo método do pixel escuro (Chavez et al. 1990). Um programa em linguagem Legal do SPRING foi desenvolvido para transformar as bandas do ETM+ em nível de cinza para radiância espectral e, em seguida, em reflectância da superfície terrestre. As imagens de reflectância foram aplicadas no algoritmo desenvolvido por Duguay e LeDrew (1992) para a obtenção do albedo da superfície terrestre (A) expresso por:

$$A = 0,526 \times \rho_{ETM3} + 0,362 \times \rho_{ETM4} + 0,112 \times \rho_{ETM7} \quad (2)$$

em que ρ_{ETM3} , ρ_{ETM4} e ρ_{ETM7} são as reflectâncias das bandas 2, 4 e 7 do sensor ETM+.

3. Resultados e discussões

As Figuras 4a e 4b ilustram o albedo “Blue-Sky” do produto MOD43B3 e o derivado dos dados ETM+/Landsat 7 em uma porção da Serra da Mantiqueira e do Vale do Rio Paraíba do Sul para o ano de 2003.

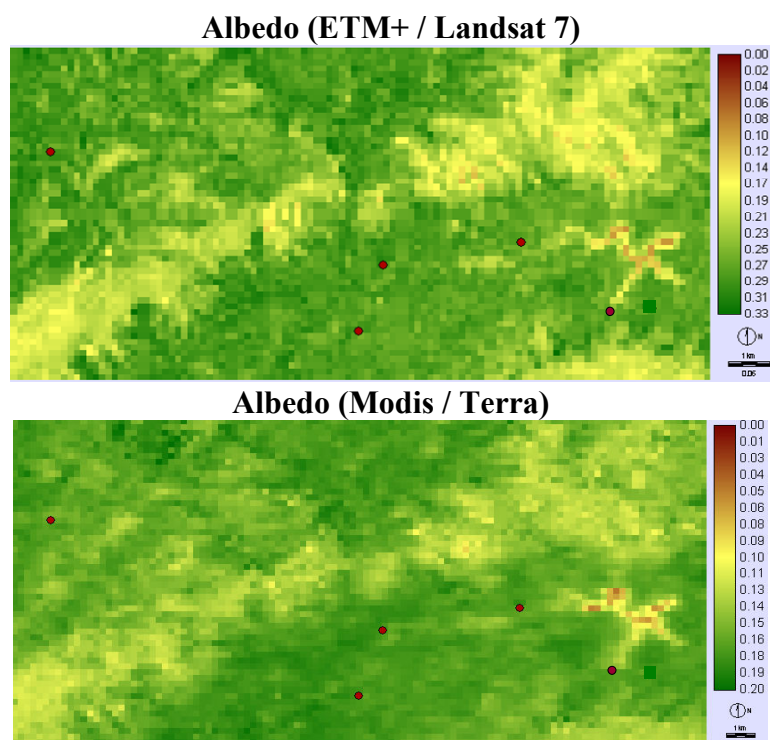


Figura 4. Albedo da superfície terrestre obtido pelos dados do sensor ETM+/Landsat 7 em 27/02/03 e do sensor MODIS para o período de 18/02/03 a 05/03/03 (os círculos representam a localização das Plataformas de Coletas de Dados).

A imagem albedo do sensor ETM+ apresentou valores no intervalo de 0,0 a 0,33 (média 0,25), enquanto que a do sensor MODIS de 0,0 a 0,20 (média 0,16). O desvio padrão do albedo obtido com os dados do sensor ETM+ foi de 0,03347 e com os do MODIS foi de 0,02897. A variação no albedo depende do ângulo zenital, do dia do ano e do conteúdo de umidade sob o solo (Geiger, 1965).

O albedo derivado dos dados do Landsat 7 para diferentes datas foi avaliado no Estado do Colorado sob uma mesma superfície, apresentando erros em torno de 0,02 em relação às medições (Duguay e LeDrew, 1992). Oliphant et al. (2003), realizando medições horárias de albedo em vários tipos de cobertura em dias de céu claro e comparando com valores estimados de um Modelo Numérico de Terreno (MNT), constataram que o albedo variou durante o dia em relação ao ângulo zenital solar. Isto sugere que o albedo não varia somente em função das alterações da cobertura do terreno (Wickland, 1989), mas também em função da distribuição diurna do albedo. Vale ressaltar, ainda, que a imagem Landsat 7 foi adquirida em uma data (27 de fevereiro de 2003) diferente das datas de cobertura de imageamento do sensor MODIS. Isso resultou em maior amplitude e variabilidade espacial no albedo do Landsat 7 do que no do MODIS.

Outro aspecto que pode afetar a concordância entre os dois produtos é a resolução espacial dos sensores ETM+ e MODIS. O sensor ETM+ possui uma resolução espacial de

30 m, ou seja, maior capacidade de diferenciar alvos (água, solo e vegetação), enquanto que o sensor MODIS integra esses alvos dentro de pixels de 1 km x 1 km (Lopes, 2006).

Para avaliar a influência da umidade da superfície sobre o albedo foram investigadas as condições de precipitação na época de aquisição dos dados de sensoriamento remoto. A **Figura 5** mostra a precipitação medida por pluviômetros instalados na PCD de Cachoeira Paulista no período de 18/02/03 a 05/03/03. Neste período choveu 73,0 mm, dos quais 28,5 mm foram registrados até a data 21/02/03.

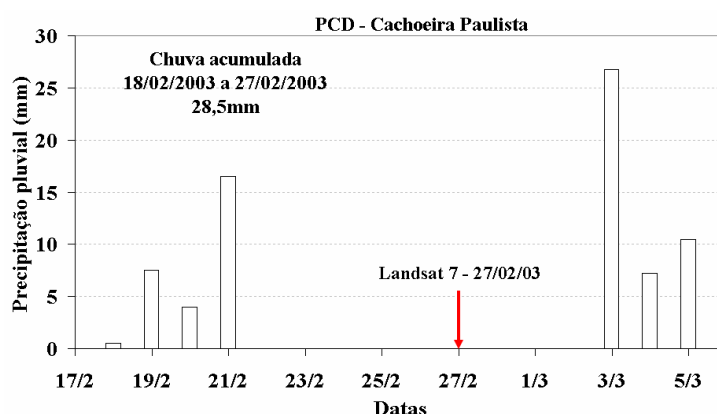


Figura 5. Precipitação pluviométrica registrada em Cachoeira Paulista-SP entre 17/02/03 a 05/03/03

A imagem do sensor ETM+ foi adquirida seis dias depois da última precipitação registrada (21/02/03), tempo suficiente para ocorrer à evaporação da água depositada sobre as superfícies das plantas e do solo. Com base nos metadados do produto MOD43B3, o albedo derivado do sensor MODIS foi produzido usando os dados das datas 18/02/03, 23/02/03, 28/02/03, 02/03/03 e 05/03/03. O cálculo do produto albedo MOD43B3 foi afetado pela precipitação total registrada no período (18/02/03 a 05/03/03) e nas datas selecionadas pelo algoritmo que gera o produto. Isto fez com que as superfícies do terreno úmido sob o vale (imagem albedo do sensor MODIS) ficassem mais escuras do que as da imagem albedo do sensor ETM+. Idso et al (1975) observaram que o albedo de um solo argiloso variou entre 12 a 38% dependendo principalmente do conteúdo de água, enquanto que em solo seco o albedo aumentou. Isto também justifica o afastamento da reta 1:1 em relação à de regressão (**Figura 6**). Os dados do albedo do sensor MODIS concordaram com os do ETM+ ($R^2 = 0,64$; $r = 0,79$) ao nível de confiança de 99%. Uma tabela de valores de albedo médio dado por Brutsaert (1982) para uma variedade de tipos de superfícies mostrou que o albedo da superfície pode variar de $\pm 10\%$ (em média) para um tipo de superfície particular. Schaaf (2004) advertiu que antes de utilizarem o produto MOD43B3 em pesquisas, deve-se examinar a qualidade do produto, pois o algoritmo deste produto na versão 4.0 ainda está sendo testado.

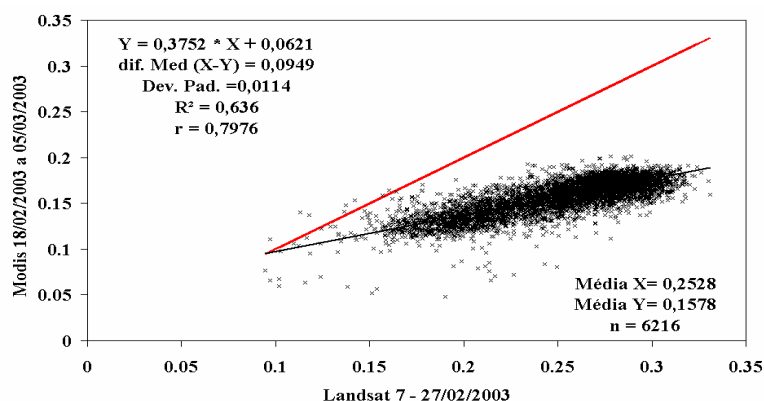


Figura 6. Análise de regressão entre a imagem de albedo obtida do sensor ETM+/Landsat 7 (27/02/03) e a imagem de composição do albedo calculado dos dados do MODIS produzida entre 18/02/03 a 05/03/03.

3.1. Albedo da superfície terrestre sazonal obtido dos dados do sensor MODIS

Como o estado da superfície terrestre se altera diariamente e anualmente, há também períodos de variação do albedo. A **Figura 7** mostra o comportamento do albedo da superfície terrestre ao longo das estações do ano na área de interesse.

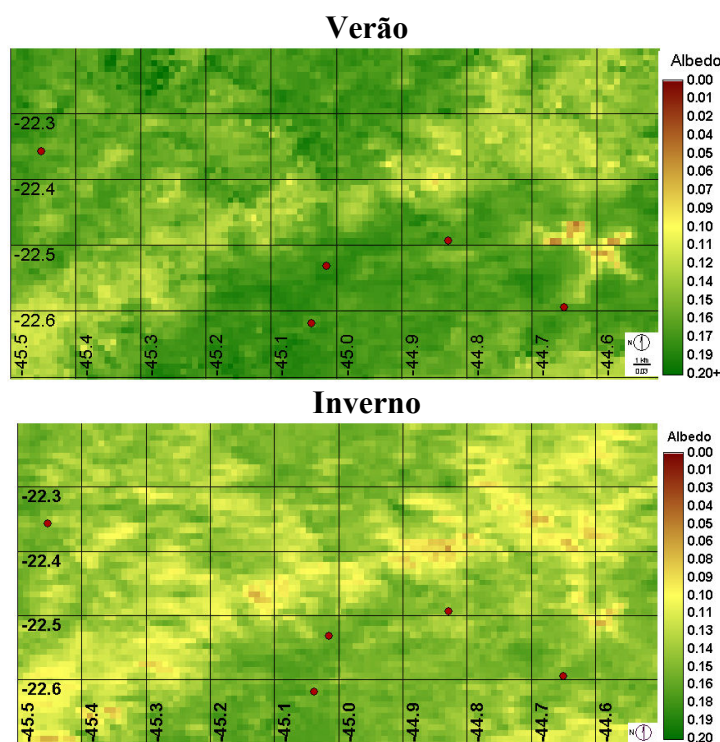


Figura 7. Comportamento do albedo no verão e no inverno de 2003 na região da Serra da Mantiqueira e do Vale do rio Paraíba do Sul obtido dos dados sensor MODIS.

No verão, o albedo do Vale do rio Paraíba do Sul variou entre 10 e 30%, com exceção da represa de furnas (2 até 10%), enquanto que na região da Serra da Mantiqueira oscilou entre 13 e 19%. Na estação de inverno, o albedo da Serra da Mantiqueira (média 10%) diferenciou bastante do Vale do rio Paraíba do Sul (média 24%). No outono e na primavera, o albedo apresentou características similares, ou seja, valores baixos na serra (10%) e elevados no vale (17 até 30%). Quando a superfície está úmida, a maior parte da energia absorvida é usada para

secar a superfície (Dickinson, 1992), resultando em menos fluxo refletido da vizinhança do terreno e, portanto, menor albedo. Além disso, a topografia influencia na quantidade de luz refletida do terreno em ambientes montanhosos (Cline, 2005). Desse modo, verifica-se que o albedo acompanha a topografia, sendo mais elevado nas áreas de pastagens e arroz presentes no vale (média 24%) do que na floresta sobre a Serra da Mantiqueira (média 17%).

4. Conclusão

De acordo com exposto nos resultados, concluiu-se que os dados do albedo do sensor MODIS concordaram com os do ETM+ ($R^2 = 0,64$; $r = 0,79$) ao nível de confiança de 99%. As principais fontes de incertezas responsáveis pela diferença de intervalos dos albedos foram resultantes da quantidade de água depositada sobre as superfícies e da diferença de resolução espacial entre os sensores MODIS e ETM+.

5. Referências bibliográficas

- Brest, C.L., Goward, S.N. Deriving surface albedo measurements from narrow band satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, p.351-367, 1987.
- Brutsaert, W. On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies. **Water Resources Research**, v. 11, n.5, p. 742-744, 1975.
- Chavez, P. S., Jr. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, 1988.
- Cline, D. Solar radiation modeling: Toporad and Topquad, [on line] <snobear.colorado.edu>, 2005.
- Dickinson, R.E. **Land surface**. In: Trenberth, K.E. (ed.) *Climate System Modeling*. New York: Cambridge University Press, p.149-172, 1992.
- Dubayah, R.; Loechel, S. Modeling topographic solar radiation using GOES data, **Journal of Applied Meteorology**, v.36, p.141-154, 1997.
- Duguay, C.R.; LeDrew, E.F. Estimating surface reflectance and albedo from Landsat-5 Thematic Mapper over rugged terrain. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 58, p.551-558, 1992.
- Geiger, H. **Manual de microclimatologia: O clima da camada de ar junto ao solo**. Lisboa: FCG. 1965, 556p.
- Idso, S.B.; Aase, J.K.; Jackson, R.D. Net radiation – soil heat flux relations as influenced by soil water content variations. **Boundary-Layer Meteorology**, v.9, p.113-122, 1975.
- Iqbal, M. **An Introduction to Solar Radiation**. New York: Academic Press, 1980, 212p.
- Lopes, P.M.O. **Obtenção de regimes microclimáticos em regiões montanhosas com dados de sensores orbitais e integração de modelos distribuídos**. 2006. 230p (no prelo). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2006.
- Oke, T.R. **Boundary Layer Climates**, London: Routledge, 1987, 435 p.
- Oliphant, A.J.; Spronken-Smith, R.A.; Sturman, A.P.; Owens, I.F. Spatial variability of surface radiation fluxes in mountainous terrain. **Journal of Applied Meteorology**, v.42, n.1, p.113-128, 2003.
- Schaaf, C. B. **MODIS BRDF/Albedo Product (MOD43B) User's Guide**. [Online] <geography.bu.edu/brdf/userguide/albedo.html>, 2004.
- Schaaf, C. B., F. Gao, A. H. Strahler, W. Lucht, X. Li, T. Tsang, N. C. Strugnell, X. Zhang, Y. Jin, J.-P. Muller, P. Lewis, M. Barnsley, P. Hobson, M. Disney, G. Roberts, M. Dunderdale, C. Doll, R. d'Entremont, B. Hu, S. Liang, and J. L. Privette, First Operational BRDF, Albedo and Nadir Reflectance Products from MODIS, **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 135-148, 2002.
- Wickland, D.E. **Future directions for remote sensing in terrestrial ecological research**. In: Asrar, G. (ed.) *Theory and applications optical remote sensing*. Canadá: Editora John Wiley e Sons, p. 691-724, 1989.