

Modelagem da emissividade da superfície terrestre em regiões montanhosas a partir de dados do sensor Modis

Pabrcio Marcos Oliveira Lopes¹

Rodrigo Rizzi¹

Dalton de Morisson Valeriano¹

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

Abstract. In this article, the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) from Terra/MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) was used to estimate spectral emissivity using the algorithm developed by Valor and Caselles. Overall, estimated spectral emissivity values from forestry areas and pasture are in agreement with data obtained from literature. The cumulative water over bare soil and vegetation cover was the main reason of seasonal spectral emissivity variation. During the dry season, the spectral emissivity of the Paraíba do Sul river valley was quite different from the Mantiqueira mountain which was not observed during the rest of the year, when monthly rainfall is above 50 mm. The algorithm Valor and Caselles, applied to NDVI data from MODIS images can be used to estimate spectral emissivity over wide and homogeneous areas.

Palavras-chave: emissivity, NDVI, MODIS, rainfall, mountain.

1. Introdução

A emissividade espectral da superfície terrestre (ϵ_λ) é um parâmetro físico essencial para a determinação da temperatura de superfície a partir de medidas radiométricas obtidas de sensores remotos. A emissividade espectral expressa adimensionalmente a eficiência da matéria em emitir radiação eletromagnética em função de sua temperatura, conforme a equação de Stefan-Boltzmann ($M_\lambda = \epsilon_\lambda \sigma T^4$, sendo: M_λ = excitância espectral (W.m^{-2}); σ = constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$) e T = Temperatura (K)).

Em superfícies terrestres, a ϵ_λ na faixa do infravermelho termal (8-14 μm) varia principalmente em função da presença de água no solo ou na cobertura vegetal. Uma vez que a emissividade do solo varia de 0,85 a 0,99, dependendo do tipo de solo e de sua umidade, enquanto que vegetação tem valor em torno de 0,98 (Salisbury e D'Aria, 1992).

Vários métodos têm sido desenvolvidos para obter emissividade e temperatura da superfície a partir de dados de satélites. Caselles e Sobrino (1989) estimaram a temperatura da superfície com base no conhecimento prévio do arranjo espacial e da emissividade de componentes de pomares de laranja. Van de Grien e Owe (1993) demonstraram que há uma forte correlação entre indicadores de vigor de vegetação, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), e a emissividade da superfície. Valor e Caselles (1996) desenvolveram um modelo teórico que justifica a associação encontrada em Van de Grien e Owe (1993) para obter estimativas precisas de emissividade em diferentes tipos de ambiente.

Este trabalho tem por objetivos aplicar o NDVI obtido de dados do sensor MODIS no programa de Valor e Caselles (1996) e determinar o comportamento sazonal da emissividade na região da Serra da Mantiqueira e do Vale do Rio Paraíba do Sul, para o ano de 2003.

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 na serra, e entre 1.000 a 1.600 mm no vale. Na serra, 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 **Figura 1** também mostra a classificação da área de interesse realizada por Silva (2003). Segundo esse autor, a Serra da Mantiqueira apresenta 4 tipos de coberturas da terra, a saber: pastagem de altitude, áreas de reflorestamento e Florestas primária e secundária. A região do vale é caracterizada principalmente por pastagem e por áreas antrópicas. Rizzini (1979) observou campos de altitudes em áreas acima da cota de 1.800 m e algumas manchas de Floresta Ombrófila Mista localizando-se em uma região montanhosa que varia de 700 a 2.100 m de altitude.

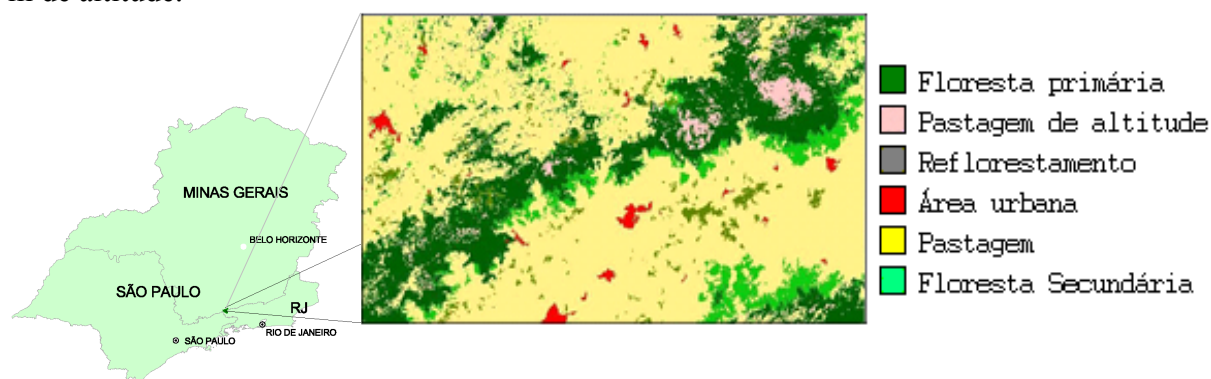


Figura 1. Cobertura da terra na região da Serra da Mantiqueira e do Vale do Rio Paraíba do Sul localizada entre $-22^{\circ} 33' S$ e $-45^{\circ} 30' W$; $-22^{\circ} 30' S$ e $-44^{\circ} 30' W$. Adaptado de Silva (2003).

2.1. Produto emissividade da superfície terrestre (MOD11A1)

O produto MOD11A1 fornece imagens de temperatura e emissividade da superfície terrestre. As informações radiométricas das bandas 31 e 32 do sensor MODIS são utilizadas para calcular as imagens emissividades com resolução radiométrica de 8 bits e espacial de 1 km. Os produtos de emissividades foram re-escalados conforme as relações abaixo:

$$\varepsilon_{31} = (Emis_31) \times 0,002 + 0,49 \quad (1)$$

$$\varepsilon_{32} = (Emis_32) \times 0,002 + 0,49 \quad (2)$$

A emissividade da superfície varia no intervalo de 0,942-1,000 conforme www.icesb.ucsb.edu/modis/LstUsrGuide/. No entanto, o produto MOD11A1 apresenta uma baixa variabilidade espacial da emissividade.

Para avaliar a possibilidade de se ter uma estimativa melhor da distribuição espacial da emissividade a partir de dados do sensor MODIS, efetuou-se o cálculo da emissividade média espectral da superfície pelo modelo de Valor e Caselles (1996).

2.2. Algoritmo de emissividade média

O modelo original desenvolvido por Caselles e Sobrino (1989) foi utilizado para calcular a ε_λ média da superfície. Para tanto, o modelo considera que: a superfície do solo é um sistema heterogêneo; não existe influência de sombra; os processos de espalhamento duplo entre o topo, o solo e o lado de um sistema heterogêneo (vegetação) são desprezados; a diferença de temperatura entre as várias partes do sistema é menor que 30°C e realiza simplificações da geometria do sistema heterogêneo e rugoso de acordo com o modelo proposto por Sutherland e Bartholic (1977). Com essas hipóteses a emissividade média é estimada de acordo com uma relação linear:

$$\varepsilon(\theta) = \alpha \times NDVI(\theta) + b(\theta) \quad (3)$$

$$NDVI(\theta) = NDVI_v P_v(\theta) + NDVI_g (1 - P_v(\theta)) + di \quad (4)$$

Os coeficientes α e b são descritos por Valor e Caselles (1996). P_v é a cobertura da vegetação observada pelo sensor; $NDVI_v$ e $NDVI_g$ são os índices de vegetação e de solo exposto, respectivamente; di é o termo de correção do NDVI (Price, 1990).

Valor e Caselles (1996) observaram que o termo $b(\theta)$ não é constante, pois $dNDVI$ varia com $P_v(\theta)$ e $\varepsilon(\theta)$ com a estrutura da superfície. Deste fato, percebe-se que a relação entre $\varepsilon(\theta)$ e NDVI, a princípio, não é linear, dependendo das características de cada área. Esses autores mostraram o efeito desses dois fatores (**Figura 2**). A linha contínua mostra o comportamento linear da **Equação 3** nos casos em que $b(\theta)$ é constante (quando $d\varepsilon$ e $dNDVI$ são constantes em áreas homogêneas ou são desprezados). A linha pontilhada inferior representa o efeito da variabilidade do termo $dNDVI$; A linha superior mostra o efeito de $d\varepsilon$ sendo o oposto de $dNDVI$. Assim, em alguns casos um efeito pode ser compensado pelo outro, mas o efeito da emissividade, em geral, é mais importante.

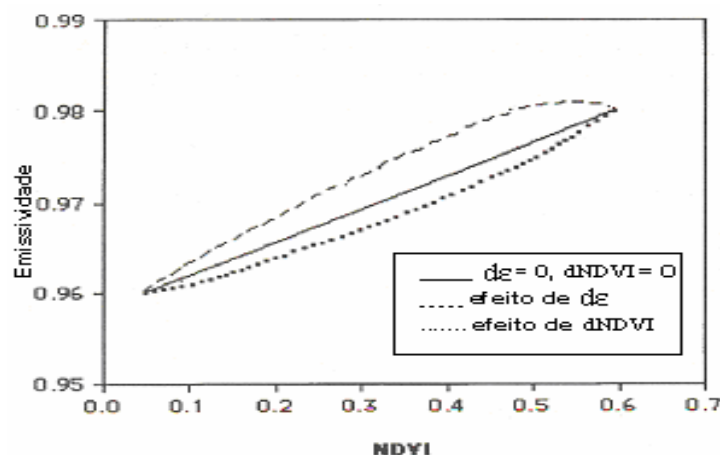


Figura 2. Efeitos dos termos $d\varepsilon$ e $dNDVI$ na relação entre a emissividade e o NDVI (Equação 2). Adaptado de Valor e Caselles (1996).

A **Equação 3** fornece a emissividade média para regiões homogêneas, isto é, com mesmo tipo de cobertura da terra. Em geral, esta restrição é bastante forte. Entretanto, na área de estudo são considerados vários tipos de coberturas da terra extensas e homogêneas. Desse modo, é possível usar a **Equação 3** como boa aproximação, para estimar a emissividade média (Valor e Caselles, 1996).

Um programa em *Quickbasic* foi desenvolvido por Valor e Caselles (1996) para produzir uma imagem de ε . Os dados necessários para inicialização do programa são:

- reflectâncias e emissividades do solo exposto e vegetação obtidos de medições de campo ou da literatura;
- proporções de vegetação e de solo exposto obtidas de uma imagem NDVI.

2.3. Produto NDVI (MOD13Q1) para simulação da emissividade média

Para a simulação da emissividade da superfície terrestre utilizou-se o NDVI obtido do produto Índice de Vegetação (MOD13Q1- *MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m ISIN Grid*).

Os índices de vegetação do MODIS (VI) são medidas grosseiras da quantidade de vegetação presente na superfície. Eles envolvem transformações das bandas vermelho (0,620-0,670 μ m), infravermelho próximo (0,841-0,876 μ m) e azul (0,459-0,479 μ m) projetados para realçar o “sinal de vegetação” e, permitir comparações das variabilidades espaciais e temporais nas atividades fotossintéticas terrestres.

O produto MOD13Q1 contém dois índices o NDVI e o EVI (Índice de Vegetação Realçado). O NDVI representa um "índice de continuidade" para a existência do NDVI derivado do sensor AVHRR/NOAA. O MOD13Q1 fornece uma composição de 16 dias dos melhores pixels presentes em imagens NDVIs com resolução espacial de 250m e 16 bits de resolução radiométrica. Para converter níveis de cinza em NDVI divide-se a imagem por 10.000 (Schaaf, 2005), ou seja,

$$NDVI = (250_m_16_days\ NDVI) \div 10000 \quad (1)$$

O intervalo válido do NDVI varia entre -0,2 a 1,0 e o valor nulo é igual a -0,30. Neste trabalho, consideraram-se os valores de emissividades da vegetação (pasto+floresta) $\epsilon_{veg}=0,98$ e para o solo do tipo latossolo vermelho $\epsilon_{solo}=0,95$ (Pacheco, 1987).

2.4. Precipitação pluviométrica

Dados de precipitação foram coletados por pluviômetros instalados nas Plataformas de Coleta de Dados (PCDs) localizadas em Queluz, Cachoeira Paulista, São José Barreiro, Cruzeiro e Itajubá (<http://tempo.cptec.inpe.br:9080/PCD/>).

Para verificar a influência da umidade da superfície na emissividade foram usados dados de precipitação pluvial coletados por pluviômetros instalados nas Plataformas de Coleta de Dados (PCD's) localizadas em Queluz-SP, Cachoeira Paulista-SP, São José Barreiro-SP, Cruzeiro-SP e Itajubá-MG.

3. Resultados e discussão

As **Figuras 3a e 3b** ilustram a emissividade obtida do produto MOD11A1 (Banda 31) e a emissividade média simulada a partir do programa de Valor e Caselles usando o produto MOD13Q1 para o período de 10 a 25 de junho de 2003. Como esperado, a **Figura 3a** apresenta uma baixa variabilidade espacial da emissividade, enquanto que na **Figura 3b** observa-se uma riqueza maior de detalhamento na variabilidade espacial da emissividade média, que varia em função de heterogeneidade da vegetação (por exemplo, as diferenças entre áreas florestadas e de campos de altitude) de feições causadas por ações antrópicas (agricultura, estradas, etc.). Conforme Lopes (2006), a resolução espacial de 1 km e o baixo intervalo dinâmico dos dados fazem com que o produto MOD11A1 apresente baixa variabilidade no infravermelho termal (10,5 -11,5 μ m).

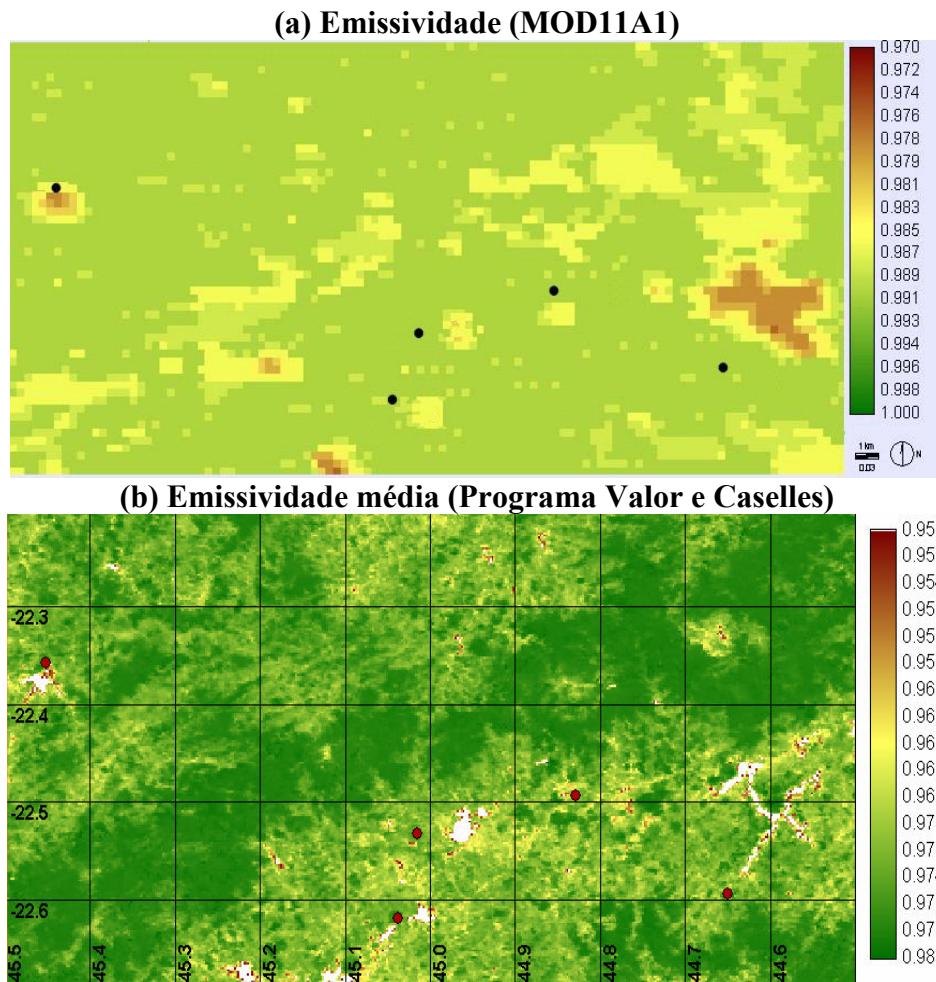


Figura 3. Emissividade da superfície obtida do sensor MODIS: (a) Produto MOD11A1 (resolução espacial 1 km) e (b) Produto MOD13Q1 aplicado ao algoritmo de Valor e Caselles (resolução espacial 250 m) para o período de 10 a 25 de junho de 2003. Os pontos indicam locais das PCDs.

As **Figuras 4a e 4b** representam a emissividade espectral média nos períodos de verão (18/02/2003 a 05/03/2003) e de inverno (20/06/03 a 05/07/03), respectivamente. Constata-se que nas áreas de florestas (serra) a ϵ_λ variou entre 0,970 a 0,980 durante esses períodos. Nos locais de pastagem de altitude, a ϵ_λ oscilou entre 0,950 a 0,970. Estes valores estão de acordo como os reportados por Oke (1987) e Pacheco (1989) no intervalo de 8 a 14 μm em florestas coníferas e decíduas (0,970 a 0,980) e em folhagem de pinheiro (0,96 a 0,98), respectivamente. Para Lillesand e Kiefer (2000) quando a vegetação está verde e sadia a emissividade varia de 0,96 a 0,99.

No período de verão (**Figura 4a**) a ϵ_λ da pastagem foi de 0,972 a 0,980, enquanto que no de inverno (**Figura 4b**) variou de 0,950 a 0,969. A água presente no solo e na vegetação foi um dos principais responsáveis pela diferença de ϵ_λ entre as regiões da Serra da Mantiqueira e do Vale do Rio Paraíba do Sul. Essa diferença é mais nítida na **Figura 2b**. Oke (1987) afirma que em pastagem de altura entre 0,02 e 1,00 m a emissividade variou entre 0,90 a 0,95,

respectivamente. Segundo Valor e Caselles (1996), a emissividade espectral de floresta oscila entre $0,985 \pm 0,007$ e em solo exposto $0,960 \pm 0,010$ no intervalo de $10,5$ a $12,5 \mu\text{m}$.

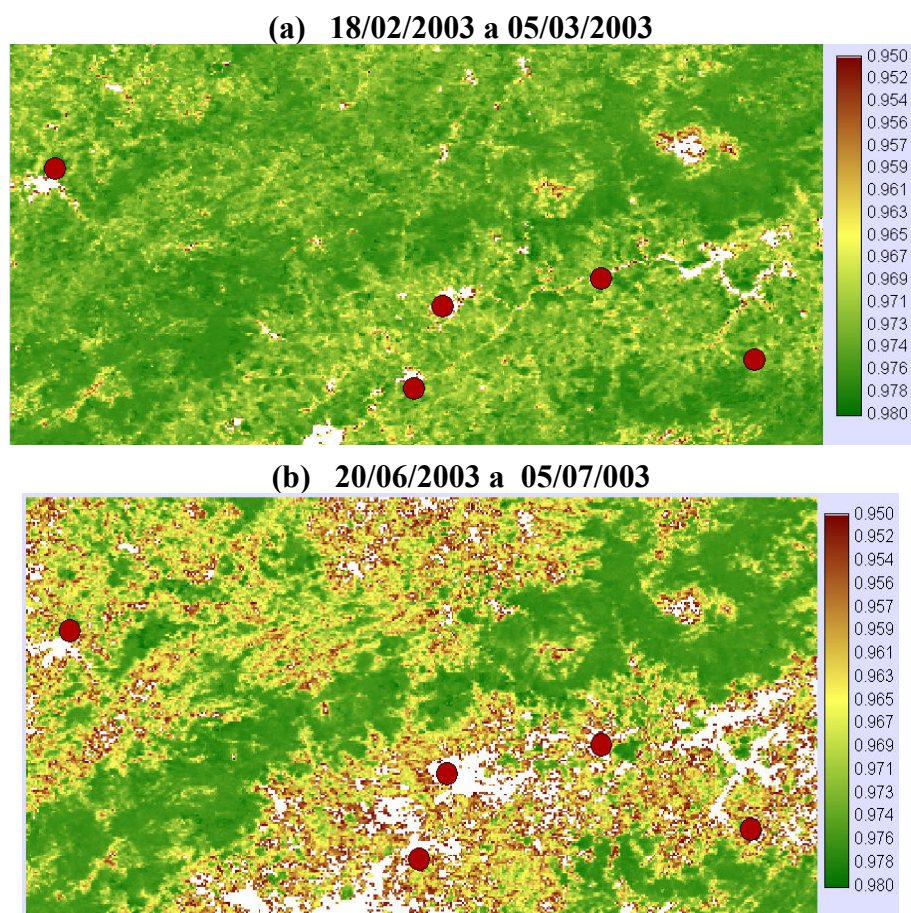


Figura 4. Emissividades médias da região da Serra da Mantiqueira e do Vale do rio Paraíba do Sul no período de verão (a) no de inverno (b) obtidas com o produto MOD13Q1 (NDVI) do MODIS aplicado no programa de Valor e Caselles (1996). Os círculos correspondem à localização das PCD's. As áreas em branco representam áreas urbanas, reservatório de água ou solo exposto.

Os ciclos mensais da precipitação e da emissividade média (ϵ) nos locais das PCDs são ilustrados nas **Figuras 5a e 5b**, respectivamente. Em geral, a ϵ acompanhou o comportamento sazonal da precipitação. No período de verão, a chuva variou entre 100 a 350 mm, influenciando a ϵ que oscilou entre 0,950 a 0,975. Pouca chuva foi registrada no inverno (<50 mm) caracterizando o período seco.

A falta de água provoca o estresse hídrico das plantas e conseqüentemente secas nas áreas de pastagens, diminuindo a emissividade média. Com o aumento das chuvas a partir do mês de outubro, a emissividade média elevou-se em todos os locais das PCDs. Esse aumento da ϵ foi ocasionado possivelmente pela quantidade de água depositada sobre as superfícies.

Vale ressaltar que as medições de precipitações são pontuais, enquanto que as estimativas de emissividade média foram feitas com pixels de 250 m de resolução espacial. Isso certamente pode mascarar as comparações entre essas duas grandezas físicas devido às heterogeneidades contidas dentro de um pixel de 250 m.

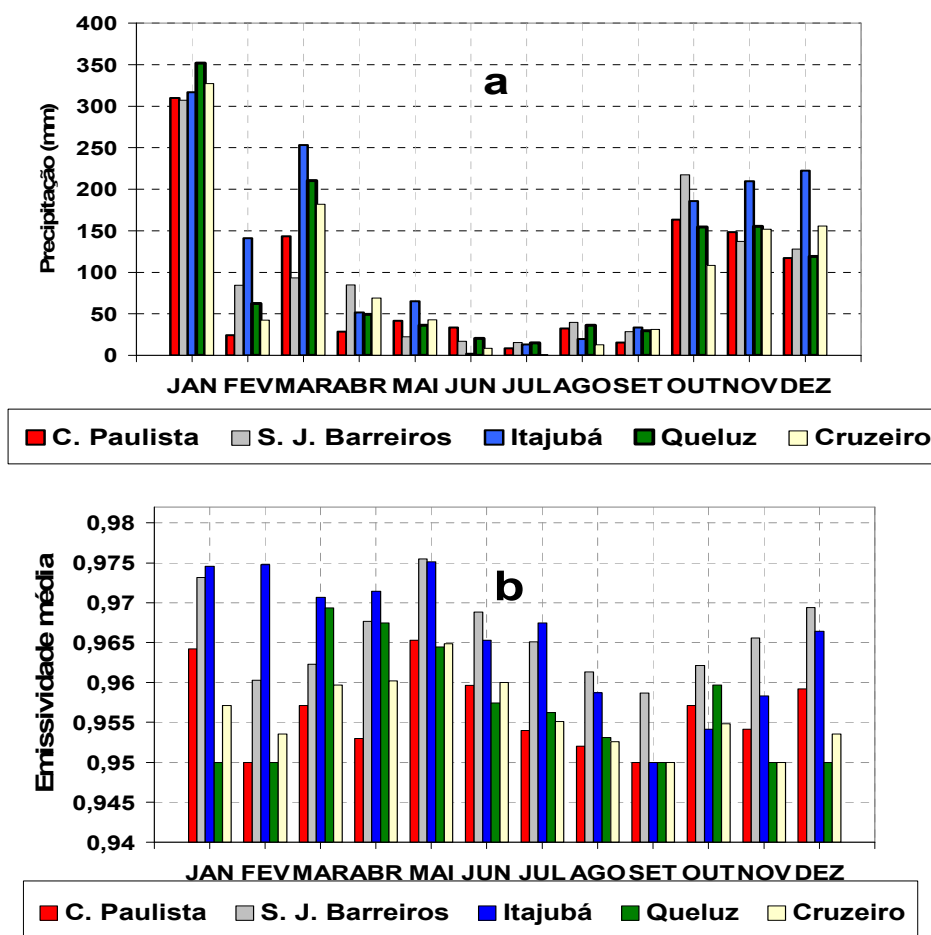


Figura 5. Regimes mensais da emissividade média (a) e da precipitação (b) obtidas nos locais das PCDs no ano de 2003.

4. Conclusões

Os resultados permitem concluir que: as áreas de florestas e de pastagens apresentaram valores de emissividades concordantes com valores típicos encontrados na literatura. A quantidade de água acumulada sob superfícies resultantes de precipitações foi determinante para o ciclo mensal da emissividade ao longo do ano. Assim, a emissividade é menor no período seco do que no úmido.

5. Referências bibliográficas

Caselles, V.; Sobrino, J.A. Determination of frosts in orange groves from NOAA-9 AVHRR data, **Remote Sensing of Environment**, v.29, p.135-146, 1989.

Lillesand, T.M.; Kiefer, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. Madison: University of Wisconsin, fourth edition, 1999, 750p.

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.

- Pacheco, A. P. **Análise de Método de determinação de emissividade para alvos da superfície terrestre, na faixa espectral de 8 a 14µm.** 1989, 175p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1989.
- Price, J. C. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 28, n. 5, p. 940-948, 1990.
- Rizzini, C. T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil: Aspectos Sociológicos e Florísticos.** São Paulo: HUCITEC, v. 2, 1979. 374p.
- Salisbury, J.W.; D'Aria, D.M. Emissivity of terrestrial materials in the 8-14 µm atmospheric window. **Remote Sensing of Environment**, v. 42, p. 83-106, 1992.
- Schaaf, C. **MODIS BRDF/Albedo Product (MOD43B) User's Guide.** California, 2004. Disponível em : <<http://geography.bu.edu/>> Acesso em: 07 abr. 2005.
- Silva, B.G. **Seleção de parcelas permanentes em ecossistemas montanhosos.** 2003. 231p. (INPE-5522-TDI/519). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.
- Sutherland, R.A.; Bartholic, J.F. Significance of interpreting thermal radiation from a terrestrial surface. **Journal Applied Meteorology**, v. 16, n. 8, p. 759-763, Sep 1977.
- Valor, E.; Caselles, V. Mapping land surface emissivity from NDVI: application to European, African, and South American Areas. **Remote Sensing of Environment**, v. 57, p.167-184, 1996.
- Van de Griend, A. A.; Owe, M. On the relationship between thermal emissivity and the normalized difference vegetation index for natural surfaces. **International Journal of Remote Sensing**, v.14, p.1119-1131, 1993.