

## Uso de dados MODIS LST no cálculo de evapotranspiração no estado do Espírito Santo, Brasil

Aurélio Azevedo Barreto-Neto<sup>1</sup>  
Anthony Fabríz Marchesi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes/Campus Vitória  
Av. Vitória, 1729, Jucutuquara, CEP: 29040-780 - Vitória - ES, Brasil  
aurelio@ifes.edu.br

**Abstract.** The Areas Susceptible to Desertification in Brazil include the areas of Semiarid Climate and Dry Sub-humid Climate, as well as the surrounding areas, located in the Nordeste e Sudoeste do Brasil (the Northeast and Southeast Zones), occupying approximately 1,340 km<sup>2</sup> in all, and directly affecting 30 million people. Of this total area, 180,000 km<sup>2</sup>, are already found to be in an advanced or very advanced process of desertification. The United Nations definition of aridity is based on methodology developed by Thornthwaite (1941) and adjusted by Penman (1953), in which the aridity index (AI) is the ratio between precipitation and evapotranspiration. The objective of this work was to analyze the correlation of monthly surface temperature data, obtained through use of the Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS), (MOD11), with the ambient air temperature, measured at seven meteorological stations in the state of Espírito Santo, averaged over monthly periods, aiming to realize an adjustment of the MODIS land surface temperature (LST) data to mathematical models enabling the estimation of air temperature over wide areas, in that way permitting the calculation of evapotranspiration and the aridity index for such areas.

**Palavras-chave:** MODIS LST, evapotranspiration, correlation, desertification, evapotranspiração, correlação, desertificação.

### 1. Introdução

As Áreas Suscetíveis à Desertificação no Brasil abrangem áreas de climas semiárido e subúmido seco, bem como suas áreas de entorno, ocupando cerca de 1.340.000 km<sup>2</sup> e atingindo diretamente 30 milhões de pessoas. Desse total, 180 mil km<sup>2</sup> já se encontram em processo grave e muito grave de desertificação, estando essas áreas localizadas no Nordeste e Sudoeste do Brasil (Santana, 2007).

O estado do Espírito Santo possui vinte e quatro municípios inseridos no Plano de Ação Nacional (PAN-Brasil) e considerados como Áreas Suscetíveis a Desertificação (ASD), ocupando uma área de 16.680 km<sup>2</sup>, equivalente a aproximadamente 36% do território estadual. Estas áreas se encontram em estado crescente de degradação ambiental e possuem escassez de indicadores que possam avaliar e auxiliar este processo.

A medida da variação sazonal da evapotranspiração, quando analisada juntamente com outros fenômenos climatológicos e com o impacto da ação antrópica sobre o solo, permite o diagnóstico do déficit hídrico de uma região, podendo indicar áreas em processos de degradação, como a desertificação, ou susceptíveis aos mesmos. A definição de aridez pelas Nações Unidas baseou-se na metodologia desenvolvida por Thornthwaite (1941) e ajustada por Penman (1953), onde o índice de aridez (IA) é a razão entre a precipitação e a evapotranspiração.

The *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo do satélite Terra EOS-1, realiza cobertura diária de todo o globo e disponibiliza dados de temperatura da superfície da terra (LST) gratuitamente, nas resoluções de 250 m, 1-km e 5-km (Wan et al., 2004). Os dados de LST têm sido utilizados para o cálculo da evapotranspiração principalmente pela sua abrangência de cobertura e baixo custo. Algumas pesquisas têm sido realizadas para correlacionar dados LST com dados medidos em pontos da superfície da terra. Nagler et al. (2005) fizeram previsões de evapotranspiração com dados MODIS e dados meteorológicos em área do Novo México, USA. Kalma, et al. (2008) realizou uma revisão de

vários métodos para a estimativa de evapotranspiração na superfície da terra. Hengl et al. (2012) desenvolveu um computational framework para gerar mapas de temperaturas diárias usando dados MODIS LST e dados de estações meteorológicas.

O objetivo deste trabalho foi analisar a correlação dos dados MODIS LST com dados de temperaturas medidos em estações meteorológicas visando a utilização dos dados MODIS LST para o cálculo da evapotranspiração no estado do Espírito Santo.

## 2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo compreendeu o estado do Espírito Santo, localizado no Sudeste do Brasil, que é caracterizado por um clima tropical quente na maior parte do território, sendo quente superúmido no litoral norte e central, passando a mesotérmico brando na região serrana. As médias térmicas são superiores a 18°C na maior parte do território, durante todos os meses do ano e a amplitude térmica entre as estações quentes e frias não ultrapassam 6°C na região litorânea, aumentando-se em direção ao interior (IBGE, 2002; Moraes, 2004).

Foram utilizadas 48 imagens MODIS LST (produto MOD11C3), composição de 30 dias, adquiridas na divisão *Land Processes Distributed Active Archive Center (LPDAAC)* da *United States Geological Survey (USGS)*. Os dados de temperatura da área de estudo foram obtidos de sete estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

As imagens MODIS LST foram processadas no software Modis Reprojection Tools (MRT), desenvolvido pela Nasa, para (i) conversão das imagens do formato HDF para o formato GeoTIFF, (ii) modificação da projeção sinusoidal para WGS84 e (iii) recorte das imagens nos limites do estado do Espírito Santo.

No software ENVI as imagens LST foram multiplicadas pelo fator 0.02 para conversão da temperatura para Kelvin e em seguida subtraídas de 273,15 para conversão em °C.

Em seguida foi realizada uma média aritmética dos nove pixels da imagem LST, estes nove pixels representam a área de influência da estação, o pixel central onde a estação está localizada mais os oito pixels vizinhos. Essa média foi realizada visando minimizar a influência local que poderia ocorrer no único pixel onde se encontra a estação.

Os valores médios de LST para os nove pixels em cada estação foram correlacionados com os dados de temperatura medidos nas estações meteorológicas. Os dados foram ajustados para quatro funções matemáticas: linear, logaritmo, exponencial e polinomial de grau dois, para identificação da curva que apresentasse o maior valor de coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Foi realizada uma análise sazonal dos dados LST com os dados de temperaturas das estações meteorológicas, para observação do comportamento desses dados. Na sequência foi calculado um valor médio das diferenças entre as temperaturas analisadas. Em seguida, o valor médio das diferenças de temperaturas, no valor de 5,03 °C, foi subtraído das temperaturas dos dados LST, com o objetivo de aproxima-los dos valores obtidos nas estações meteorológicas.

Após ajuste dos dados LST foi calculado a evapotranspiração produzida com os dados LST ajustados, a evapotranspiração produzida com os dados LST não ajustados e a evapotranspiração produzida com dados coletados nas estações. O cálculo da evapotranspiração potencial (EP) para as sete estações em campo foi realizado pelo método de Thornthwaite (1941), conforme Equação 1:

$$EP = 16,2 (10 \cdot T/I)^a \quad (1)$$

onde: EP é a evapotranspiração potencial (mm/mês); T é a temperatura média mensal (°C); I é o índice de calor anual, resultante da soma de 12 índices mensais i (Equação 2):

$$I = \sum ij \quad (\text{com } j \text{ variando entre 1 e 12}) \quad (2)$$

onde:

$$i_j = [t_j/5]^{1,514}$$

$$a = 675 \cdot (I \cdot 10^{-3})^3 - 77,1 \cdot (I \cdot 10^{-3})^2 + 1.792 \cdot (I \cdot 10^{-5}) + 0,49329$$

Os dados de evapotranspiração obtidos com os dados LST e LST ajustados foram correlacionados com as evapotranspiração calculadas com dados das estações e ajustados para quatro funções matemáticas: linear, logarítmica, exponencial e polinomial de grau dois para identificação da curva que apresentasse o maior valor de coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

Com as evapotranspirações calculadas obteve-se o índice de aridez (IA) que é a razão entre a precipitação (P) e a evapotranspiração potencial (EP), conforme apresentado na Equação 3:

$$IA = P/EP \quad (3)$$

### 3. Resultados e Discussão

A correlação dos valores de temperatura MODIS LST e das estações meteorológicas (Tabela 1) apresentaram valores de moderada e forte correlação, conforme definição da literatura que define como correlação moderada valores de  $R^2$  entre 0,3 e 0,6 e correlação forte valores de  $R^2$  entre 0,6 e 0,9.

Tabela 1. Coeficientes de determinação ( $R^2$ ) entre os dados MODIS LST e as temperaturas registradas nas estações meteorológicas.

| Funções<br>Estações | linear | exponencial | logarítmica | polinomial ordem 2 |
|---------------------|--------|-------------|-------------|--------------------|
| São Mateus          | 0,467  | 0,469       | 0,478       | 0,502              |
| Vitória             | 0,669  | 0,673       | 0,664       | 0,671              |
| Alegre              | 0,568  | 0,566       | 0,577       | 0,583              |
| Linhares            | 0,636  | 0,638       | 0,641       | 0,646              |
| Alfredo Chaves      | 0,724  | 0,729       | 0,711       | 0,733              |
| Serra dos Aimorés   | 0,391  | 0,394       | 0,424       | 0,515              |
| Campos              | 0,501  | 0,505       | 0,503       | 0,503              |

A análise sazonal dos dados MODIS LST com os dados de temperaturas das estações meteorológicas demonstrou que ambos os dados apresentaram uma variação similar, com diferença de temperatura na faixa de 5 °C (Figure 1), demonstrando a similaridade entre esses dados. Uma outra análise sazonal, entre os dados MODIS LST ajustados com os dados de temperatura das estações meteorológicas (Figura 2), demonstrou também um bom ajuste entre estes, tornando os dados MODIS LST muito próximos dos dados coletados em campo.

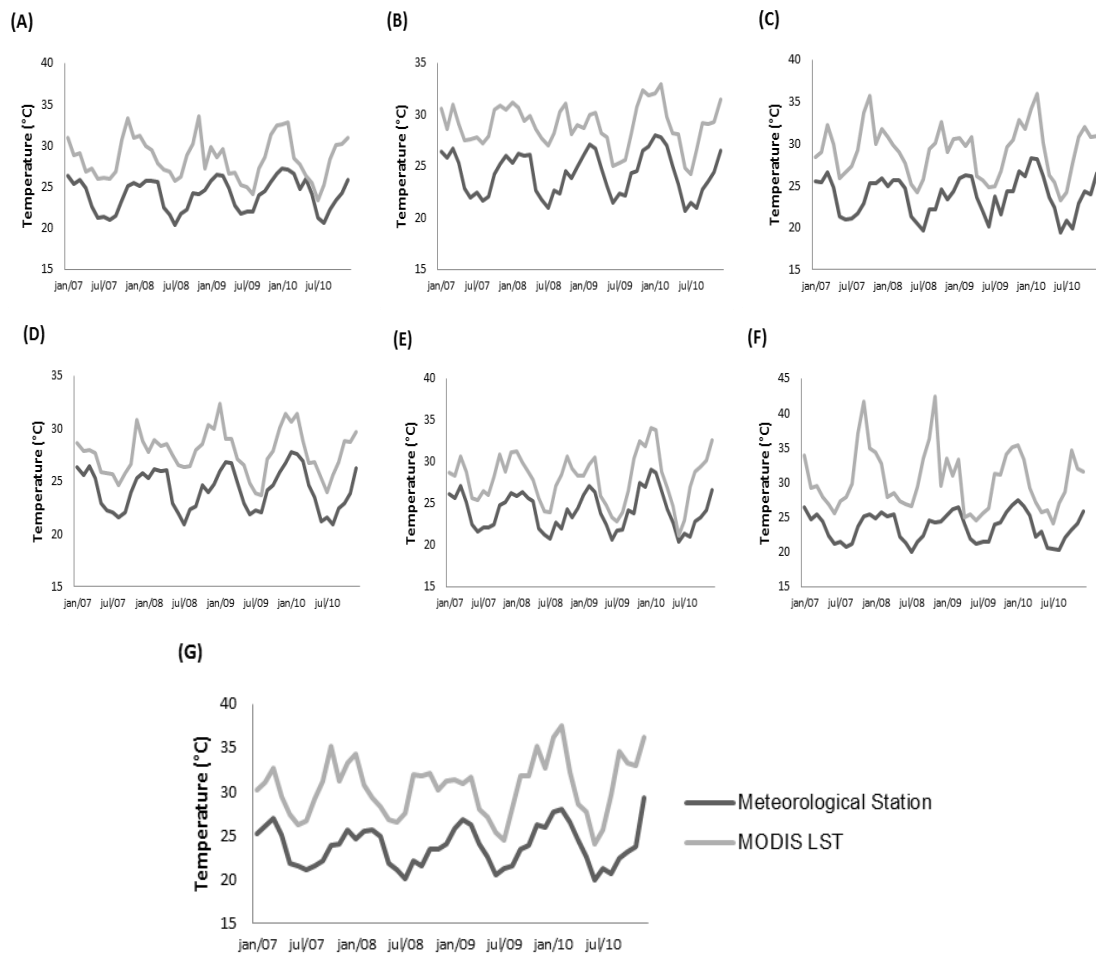


Figure 1. Análise sazonal dos dados MODIS LST e das temperaturas registradas em sete estações meteorológicas. (A) São Mateus; (B) Vitória; (C) Alegre; (D) Linhares; (E) Alfredo Chaves; (F) Serra dos Aimorés; (G) Campos.

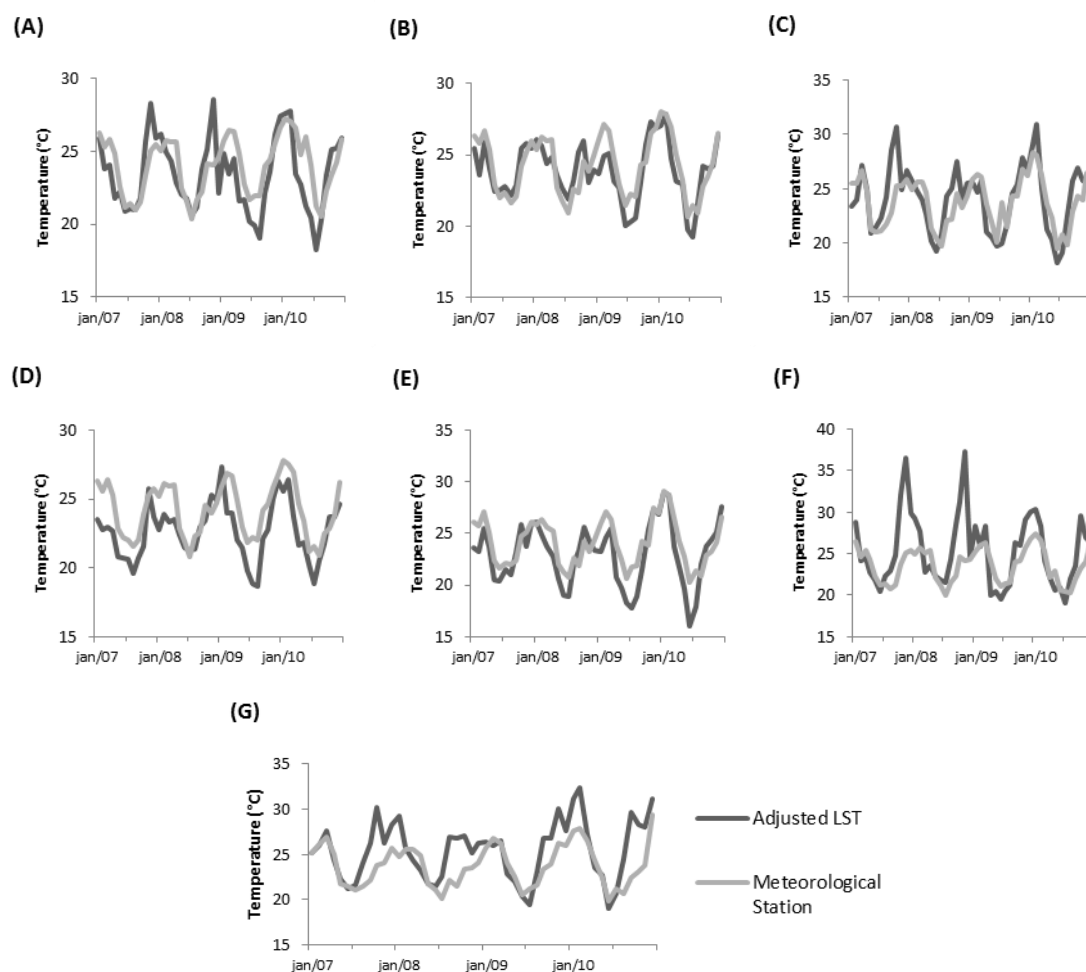


Figure 2. Análise sazonal das temperaturas MODIS LST ajustadas com as temperaturas registradas nas estações meteorológicas. (A) São Mateus; (B) Vitória; (C) Alegre; (D) Linhares; (E) Alfredo Chaves; (F) Serra dos Aimorés; (G) Campos.

As evapotranspirações calculadas com os dados MODIS LST ajustados apresentaram uma forte aderência com os dados registrados nas estações meteorológicas (Figura 3). Isto permite que os dados MODIS LST possam ser utilizados, uma vez ajustados, para o cálculo da evapotranspiração em áreas com pouca cobertura de estações meteorológicas.

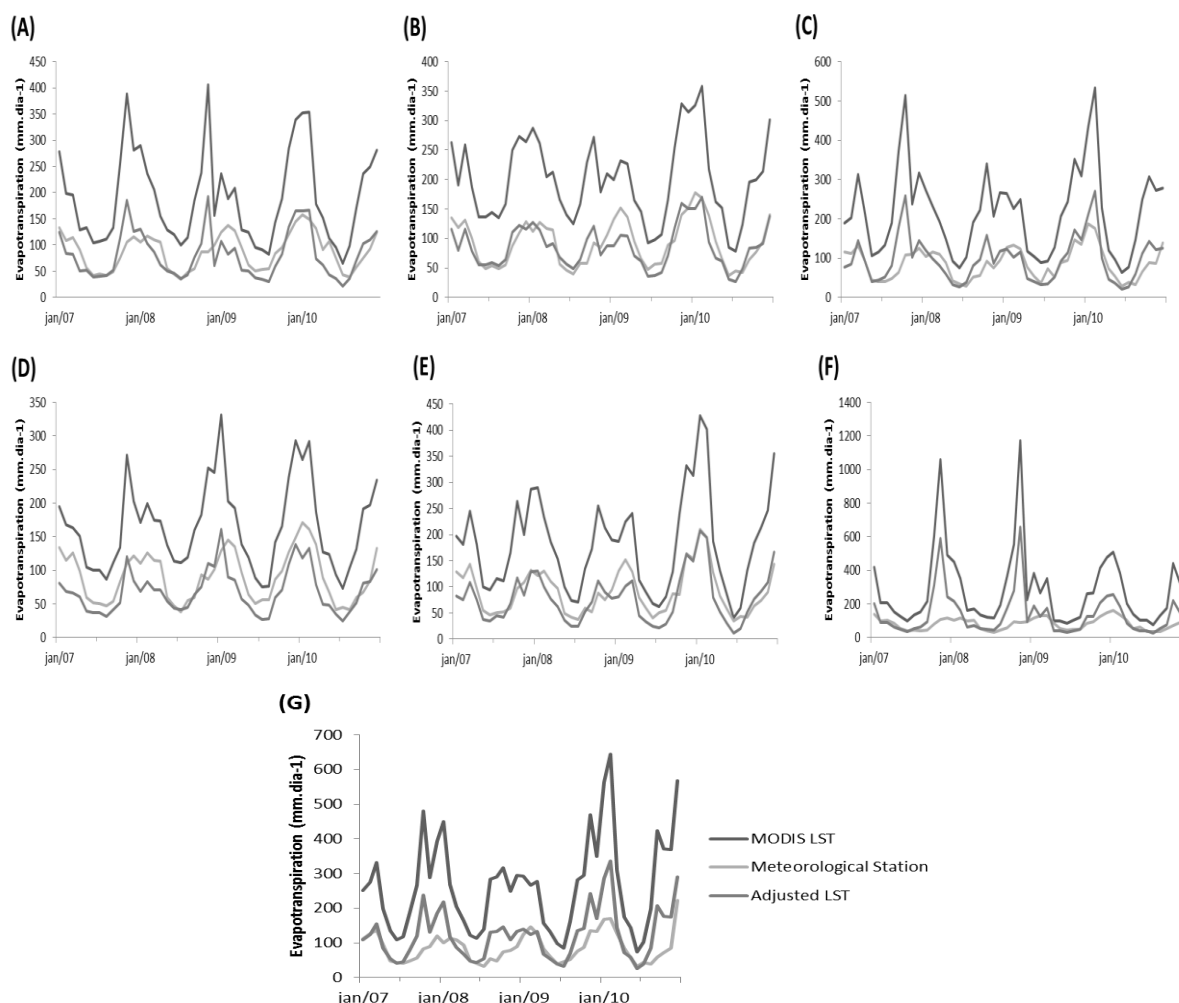


Figure 3. Evapotranspiração calculada com dados: MODIS LST, MODIS LST ajustados e dados de temperatura das estações meteorológicas.

#### 4. Conclusão

As correlações moderadas e fortes encontradas entre os dados MODIS LST e os dados de temperatura medidas nas estações meteorológicas indicaram que os dados MODIS LST podem ser utilizados em substituição aos dados de temperatura registrados em estações meteorológicas, quando devidamente ajustados.

A forte aderência das evapotranspirações calculadas com os dados MODIS LST ajustados e com dados das estações meteorológicas indicou a possibilidade de uso dos dados MODIS LST para a predição de evapotranspiração para áreas com escassez de estações de monitoramento de temperatura, principalmente pela sua abrangência de cobertura, seu baixo custo de aquisição e processamento.

A metodologia sugerida para o cálculo do índice de aridez pelas Nações Unidas, quando foi utilizada com dados MODIS LST ajustados, manteve-se na mesma faixa do índice de aridez calculado com dados das estações meteorológicas. Essa observação reforça a possibilidade do uso de dados MODIS LST para o cálculo e monitoramento do índice de aridez em áreas territoriais extensas ou com poucas estações meteorológicas.

## Agradecimentos

A Fundação de Apoio a Pesquisa do Espírito Santo (FAPES), Processo número 47806435/2010, número de concessão 009/2010, pelo apoio financeiro desta pesquisa.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pela disponibilização de dados meteorológicos.

## Referências bibliográficas

Hengl, T, Heuvelink, G B M, Tadic, M P, Pebesma, E J. Spatio-temporal prediction of daily temperatures using time-series of MODIS LST images. **Theor Appl Climatol** 107:265–277, 2012.

IBGE. Mapa de clima do Brasil. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default\\_prod.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm)>, 2002.

Kalma, J D, McVicar, T R, McCabe, M F. Estimating Land Surface Evaporation: A Review of Methods Using Remotely Sensed Surface Temperature Data. **Surv Geophys** 29:421–469, 2008.

Moraes, C. Geografia do Espírito Santo. Instituto Histórico e Geográfico do Espírito Santo, 2004.

Nagler, P L, Cleverly, J, Glenn, E, Lampkin, D, Huete, A, Wan, Z. Predicting riparian evapotranspiration from MODIS vegetation indices and meteorological data. **Remote Sensing of Environment**, 94, 17-30, 2005.

Penman, H L. The physical bases of irrigation control. In: Hort. Congr., 2, London, Royal Horticultural Society, p.913-924, 1953.

Santana, M O. Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil. MMA, Secretaria de Recursos Hídricos, Universidade Federal da Paraíba, Brasília: MMA, 2007, 134 pp.

Thornthwaite, C W. Atlas of climatic types in the United States. Mixed Publication, 421, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1941.

Wan, Z, Zhang, Y, Zhang, Q, Li, Z. *Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature*. **International Journal of Remote Sensing**, 25, 261-274, 2004.