



ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO A PARTIR DE IMAGENS DO SENSOR MODIS APLICADA À REGIÃO NORTE DE MINAS GERAIS

Roberto Filgueiras¹, Rayssa Balieiro Ribeiro¹, Cristina Nascimento Rodrigues²

1. Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais/ Instituto de Ciências Agrárias (UFMG/ICA)
(robertofilgueiras.ufmg@yahoo.com.br)
2. Profa. Dra, Universidade Federal de Minas Gerais/ Instituto de Ciências Agrárias (UFMG/ICA)
Universidade Federal de Minas Gerais/ Instituto de Ciências Agrárias (UFMG/ICA). Montes Claros - Brasil

Recebido em: 06/05/2013 – Aprovado em: 17/06/2013 – Publicado em: 01/07/2013

RESUMO

O custo elevado de experimentos de campo para obtenção da evapotranspiração, e das dificuldades em medi-la à superfície força a busca por técnicas alternativas a fim de complementar os dados meteorológicos, disponíveis. O objetivo do trabalho foi estimar essa variável e espacializá-la para a mesorregião norte do estado de Minas Gerais, onde há uma escassez dessas informações, que são de extrema importância para dimensionamento de sistemas de irrigação. O cálculo da evapotranspiração foi realizado a partir de imagens do sensor MODIS/TERRA e MODIS/TERRA+AQUA, para o dia 15 de setembro de 2010, em duas etapas. A primeira etapa está relacionada à obtenção do saldo de radiação a partir dos produtos MOD11, MOD07 e MCD43, respectivamente representando dados sobre emissividade, temperatura de superfície e albedo. Para esses resultados foram obtidos valores mínimos e máximos de 420Wm^{-2} e 640Wm^{-2} , respectivamente. A segunda etapa correspondeu à estimativa da evapotranspiração propriamente dita, através do cálculo do fluxo do calor latente, calor sensível e por meio do saldo de radiação. Para esse último foram obtidos valores mínimos e máximos de $0,0\text{ mm d}^{-1}$ e $7,04\text{ mm d}^{-1}$, respectivamente, com média de $2,51\text{ mm d}^{-1}$.

PALAVRAS-CHAVE: Processamento digital de imagem, balanço de radiação e irrigação.

ESTIMATION OF EVAPOTRANSPIRATION FROM MODIS IMAGES SENSOR APPLIED TO THE NORTH OF MINAS

ABSTRACT

The high cost of field experiments to obtain evapotranspiration, and the difficulties in measuring it to the surface forces the search for alternative techniques to complement the meteorological data available. The objective is to estimate the evapotranspiration and spatializes it to the middle region of the northern state of Minas Gerais, where there is a shortage of such information, which are extremely important for design of irrigation systems. The calculation of

evapotranspiration was made from images of MODIS/TERRA and MODIS/TERRA+AQUA, for the day, 15 of September, 2010, in two stages. The first step is related to the obtaining the net radiation from the products MOD11, MOD07 and MCD43 respectively representing data on emissivity, surface temperature and albedo. Results were obtained for these minimum and maximum values of 420Wm^{-2} and 640Wm^{-2} , respectively. The second stage corresponds to the actual evapotranspiration, by calculating the flux of latent heat, sensible heat and by means of radiation. The value obtained of evapotranspiration were minimum and maximum of 0.0 mm d^{-1} and 7.04 mm d^{-1} , respectively, with an average of 2.51 mm d^{-1} .

KEYWORDS: Digital image processing, radiation balance and irrigation.

INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto tem demonstrado grande eficiência no estudo dos recursos naturais e no gerenciamento dos recursos hídricos. Dos fenômenos que compõe o ciclo hidrológico a evapotranspiração é um dos mais importantes, sendo constituída dos seguintes processos: evaporação e transpiração (FERREIRA & MEIRELLES, 2011). De acordo com BRAUN et al., (2001) citado por SANTOS et al., (2007), a evapotranspiração é um fator significante de medição do clima e do tempo, consistindo na ligação entre energia, clima e hidrologia. A evapotranspiração é considerada como agente regulador fundamental da disponibilidade hídrica e também de atividades como a agricultura, pois através desse processo grande parte do volume de água precipitado retorna a atmosfera. Devido a isso, a estimativa da evapotranspiração regional é importante para a resolução de diversos problemas ambientais como os relacionados às questões agrícolas. Contudo, para que esta estimativa seja realizada são necessários recursos humanos e econômicos que podem não estar disponíveis (SANTOS et al., 2007).

Existem inúmeros métodos convencionais de estimar a evapotranspiração. Esses métodos estão divididos em dois grupos, diretos e indiretos. As metodologias diretas utilizadas são: lisímetros, parcelas experimentais de campo, controle de umidade do solo e método de entrada e saída. Os métodos indiretos são as equações e evaporímetros (BERNADO et al., 2011).

No entanto, esses métodos são válidos para áreas com relativa homogeneidade. Quando o interesse é a determinação da ET em escalas regional, onde é considerada uma grande área, a utilização dessa técnica fica praticamente impossível de ser efetivada. Assim, o sensoriamento remoto é uma alternativa que permite estimar e espacializar de maneira econômica e rápida, a evapotranspiração para escalas regionais e globais (GIACOMONI, 2005).

Dentro das várias possibilidades pertinentes, os satélites da série EOS/NASA (*Earth observation system*/National Aeronautics and Space Administration) apresentam grande potencial de aplicação em métodos operacionais e objetivos de estimativa de evapotranspiração. Apesar do grande potencial, do mesmo, o cômputo da evapotranspiração é realizado a partir de um complexo passo que englobam determinação da refletância real nas regiões do visível, infravermelho próximo e infravermelho termal, estimativa do albedo planetário e da superfície, estimativa da temperatura da superfície e índice de vegetação – NDVI, radiação atmosférica, balanço de radiação à superfície entre outros. Essas etapas podem ser determinadas diretamente quando se utiliza o sensor MODIS/TERRA e MODIS/TERRA+AQUA, em que todos esses parâmetros já se encontram separados em produtos, considerando diversos aspectos relativos a sua

aplicabilidade, qualidade agregada e facilidade operacional. As imagens apresentam, ainda, a vantagem de obtenção dos parâmetros necessários para o cálculo do balanço de energia, em diferentes níveis de processamento por meio de uma complexa abordagem de padronização e validação de procedimentos, através dos quais já são operacionalizadas correções radiométricas, geométricas, espectrais e atmosféricas. (RUHOFF et al., 2012).

Os diferentes produtos MODIS seguem regras gerais de padronização criteriosas, garantindo formatos bastante homogêneos, uma vez que todos os produtos gerados são distribuídos em arquivos num único formato, denominado HDF (*Hierarchical Data Format*), permitindo assim o tratamento de forma semelhante. Além disso, a política de distribuição orientada a disponibilização gratuita através do portal de dados do EOS (EDG, *EOS Data Gateway*), mantido pela agência norte-americana USGS (*United States Geological Survey*), o torna particularmente atrativo. (ENGESAT, 2013).

A utilização operacional dessas imagens favorece a inserção de estudos importantes no Norte do estado de Minas Gerais, principalmente voltados ao planejamento hídrico em seus perímetros irrigados. Fazem parte da região Norte de Minas Gerais os municípios de Montes Claros, Capitão Enéas, Janaúba, Nova Porteirinha, Porteirinha, Jaíba, Manga, Januária e áreas circunvizinhas. Dentre os municípios citados, Janaúba se destaca como a capital desse pólo fruticultor em que está inserido o projeto de irrigação do Vale do Gorutuba, da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e Parnaíba com área total de 7.064 ha, com 5.286 ha irrigáveis, sendo grande parte dessa área destinada a cultura da banana (CODEVASF, 2010).

O objetivo do trabalho foi aplicar um método de cômputo do Balanço de Radiação à Superfície, utilizando imagens do sensor MODIS presente na plataforma orbital TERRA e TERRA+AQUA para estimar balanço de radiação à superfície e a evapotranspiração, na mesorregião do Norte de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi estimado o saldo de radiação e a evapotranspiração para a mesorregião Norte de Minas Gerais (Figura 1), limitada pelas coordenadas geográficas: Latitudes 14°15'27,71''S e 18°06'14,49''S, Longitudes 41°18' 34,58''W e 46°16' 56,42''W para o dia 15/09/2010.

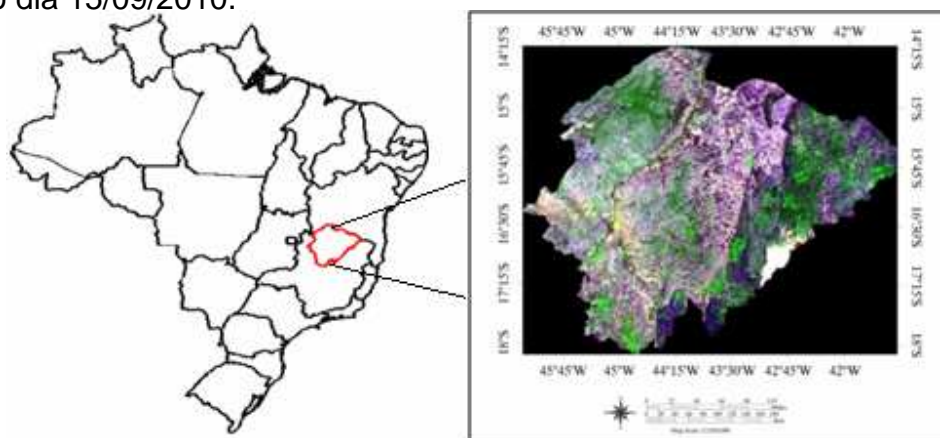


FIGURA 1 - Localização espacial da área de estudo, composição colorida RGB-123 MOD 09GA

A área de estudo é uma das 12 mesorregiões do estado de Minas Gerais e é formada pela união de 89 municípios agrupados em sete microrregiões. A região é caracterizada por temperatura média anual de 24°C; nos meses mais frios, junho e julho e nos meses mais quentes, setembro e outubro, a média é de 25,5°C. Os meses de maior pluviosidade, outubro a março, totalizam 91% do total anual (1.132,9mm) precipitado, os meses mais secos estão entre abril e setembro (BETHONICO, 2009).

O saldo de radiação foi computado baseado nos produtos do sensor MODIS/TERRA com horário de passagem às 10h30min. O MODIS é um dos cinco instrumentos a bordo do satélite TERRA projetado para estudo em três grandes áreas: atmosfera, oceano e terra.

No trabalho foram utilizados os produtos, terrestres e atmosféricos. Para determinação dos parâmetros temperatura de superfície e emissividade das bandas 29, 31, 32 utilizou-se o produto terrestre MOD11A1_L3 e MOD11B1_L3, com resolução espacial de 1km e resolução temporal diária. O albedo foi adquirido com o produto MCD43B3_L3 (TERRA + AQUA), com resolução espacial de 1km e resolução temporal de 16 dias, segundo ATAÍDE, (2007). A cena (tile) correspondente à seleção das imagens foi a H-13 V-10 e H-14 V-10, onde foi realizado um mosaico. A temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho e ângulo zenital solar foram obtidos através do produto atmosférico MOD07_L2, com resolução espacial de 5km e resolução temporal diária. A resolução espacial desses produtos foi convertida para 1km.

O processamento digital das imagens foi realizado com o software ENVI 4.2 (*Environment for Visualizing Images*). As imagens foram convertidas da projeção sinusoidal para a projeção UTM, datum WGS-84, através do aplicativo *MODIS conversion toolkit*. O saldo de radiação (R_n) na superfície pode ser expresso em termos de seus componentes de acordo com a Equação (1).

$$R_n = \downarrow R_c - \uparrow R_c + \downarrow R_L - \uparrow R_L \quad (1)$$

Em que: $\downarrow R_c$ e $\uparrow R_c$ são as densidades do fluxo de radiação de onda curta incidente na superfície e emitida (W/m^2), respectivamente. Os termos $\downarrow R_L$ e $\uparrow R_L$ representam as densidades de fluxo de radiação de onda longa incidente e emitida (W/m^2). As radiações de onda curta podem ser expressas a partir da Equação (2).

$$\downarrow R_c - \uparrow R_c = (1-\alpha)\downarrow R_c \quad (2)$$

Em que: α é o albedo da superfície terrestre (refletividade no domínio 0,3 - 4,0 μ m) que representa a razão entre a radiação solar refletida e a radiação global incidente. A radiação de onda curta incidente ($\downarrow R_c$) pode ser computada com base na Equação (3).

$$\downarrow R_c = \frac{S_0 \cos^2 \theta}{d} \quad (3)$$

Em que S_0 é a constante solar (1367 w/m^2), θ é o ângulo zenital solar, e d é a

espessura ótica da camada, obtida pela Equação (4).

$$d = 1,085\cos\theta + e_0 (2,7+\cos\theta)\times 10^{-3} + 0,1 \quad (4)$$

Sendo e_0 a pressão parcial do vapor de água (hPa), expresso pela equação (5).

$$6,11 \exp\left[\left(\frac{Lv}{Rv}\right)\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_d}\right)\right] \quad (5)$$

Em que: Lv é o calor latente de vaporização da água (J/Kg), Rv é a constante de vapor d'água, $T_0 = 273K$. O cômputo dos ganhos e perdas de radiação de onda longa emitida pela superfície e emitida pela atmosfera pode ser expressa pela equação (6) de STEFFAN-BOLTZMANN.

$$\downarrow RL - \uparrow RL = \sigma \varepsilon_a T_a^4 - \sigma \varepsilon_s T_s^4 \quad (6)$$

Em que: ε_a é a emissividade do ar, ε_s emissividade da superfície, banda 29 MOD11A1_L3, T_a é temperatura do ar, obtida pelo MOD07_L2 (*Retrieved temperature*, B8), T_s a temperatura da superfície (K) obtida através do produto MOD11B1 e σ é a constante de STEFFAN-BOLTZMANN igual a $5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$. Para obter a emissividade atmosférica (ε_a), foi utilizada a parametrização desenvolvida por PRATA (1996). Após determinar o fluxo de onda curta e o fluxo de onda longa, obtêm-se o saldo da radiação pela soma dos mesmos, conforme a Equação (1).

Para determinação da evapotranspiração foi utilizada a equação empírica proposta por BASTIAANSSEN, (2000) onde a estimativa do fluxo instantâneo de calor no solo (G) é expressa pela Equação (7).

$$G = \left[\frac{T_s}{2} (0,0038\alpha + 0,0074\alpha^2) (1 - 0,98NDVI)^4 \right] . Rn \quad (7)$$

Em que, T_s é a temperatura da superfície (°C) relativa ao produto MOD11B1 e o $NDVI$ é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*) pelas Bandas 1 e 2 do produto MOD09GA (refletância espectral da superfície), com resolução espacial, que foi convertida de 500m para 1km. Em seguida obteve-se o fluxo de calor sensível (H). Essa componente é a taxa de perda de calor para o ar por convecção e condução, devido à diferença de temperatura, sendo calculado a partir da Equação (8) para o transporte de calor.

$$H = (\rho \times c_p \times dT) / r_{ah} \quad (8)$$

Em que, ρ é a densidade do ar (Kg/m^3), C_p é o calor específico do ar à pressão constante (1004J/Kg/K), dT (K) é a diferença de temperatura entre duas alturas da superfície (Z_1 e Z_2) e Rah é a resistência aerodinâmica para o transporte de calor (s/m), que pode ser obtida de acordo com Equação (9).

$$rah = \frac{\ln\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)}{u^* \cdot k} \quad (9)$$

Em que u^* é a velocidade de fricção que foi calculada usando o perfil logarítmico do vento para a condição de estabilidade neutra. Em que Z_1 e Z_2 são as alturas em metros acima da superfície (considerou-se $Z_1 = 0,1\text{m}$ e $Z_2 = 2,0\text{m}$) e K é a constante de Von Karman. O cômputo da diferença de temperatura próxima à superfície dT para cada pixel será computada através da relação linear entre dT e T_s ($dT = a + b T_s$), onde a e b são coeficientes, obtidos através dos pixels âncoras (quente e frio). Os pixels “quente” e “frio” foram selecionados ao consultar as imagens dos produtos NDVI e temperatura de superfície (T_s) seguindo a metodologia proposta por ALLEN et al., (2002). Ao estimar os valores de Rn , G e H , obteve-se o fluxo de calor latente instantâneo – LE (Equação 10), como um resíduo da equação clássica do balanço de energia.

$$LE = Rn - H - G \quad (10)$$

Posteriormente foi possível estimar a fração evaporativa (FE , adimensional), Equação (11), de acordo com BASTIAANSSEN et al., (1998):

$$FE = \frac{LE}{LE+H} = \frac{LE}{Rn-G} \quad (11)$$

Para estimativa da evapotranspiração real diária foi utilizada a Equação (12), segundo metodologia utilizada por LIMA (2009a).

$$ETr_{diária} = \frac{86400FE Rn_{24h}}{\lambda} \quad (12)$$

Em que, FE é a fração evaporativa, Rn_{24h} é o saldo de radiação médio ocorrido num período de 24h e λ é o calor latente de vaporização da água ($2,45 \times 10^6 \text{ J.Kg}^{-1}$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial instantânea do saldo de radiação, para o dia 15 de setembro de 2010, no momento da passagem do satélite para a região norte do estado de Minas Gerais. Nota-se que na maior extensão da área foram encontrados valores de Rn variando de $495,7\text{Wm}^{-2}$ a $589,49\text{Wm}^{-2}$. Os valores mínimos e máximos de Rn , foram de 470Wm^{-2} e 640Wm^{-2} respectivamente. O Rn médio da região foi de $532,09\text{Wm}^{-2}$

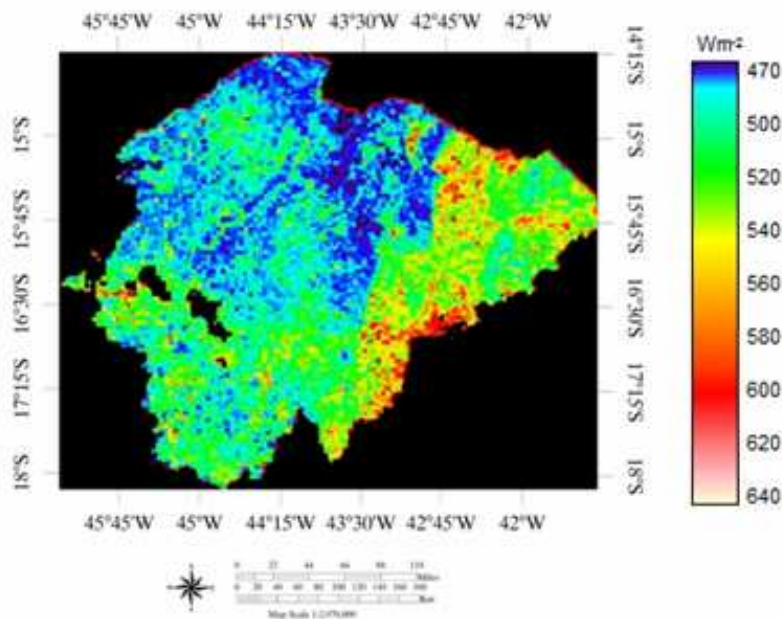


FIGURA 2 - Distribuição espacial do saldo de radiação para a região Norte de Minas Gerais para o dia 15/09/2010

Os resultados estão de acordo com LIMA et al., (2009b), que obtiveram para a região do triângulo mineiro, localizada em Minas Gerais, R_n variando de $307,46 \text{ Wm}^{-2}$ a $649,72 \text{ Wm}^{-2}$, com média de $529,64 \text{ Wm}^{-2}$, para o dia 16 de agosto de 2008, utilizando imagens do mesmo sensor. SILVA et al., (2009) estimaram esse parâmetro para regiões com áreas degradadas, solo descoberto e superfície livre de água na região de Gilbués – PI, e obtiveram como valor médio de $558,7 \text{ Wm}^{-2}$, para R_n no ano de 2008.

LIMA et al., (2009c) estimaram o saldo de radiação em sub-bacias do rio Paracatu, a qual abrangem partes do Distrito Federal, Goiás e Minas Gerais, utilizando o sensor MODIS/TERRA, e quantificaram valores de R_n variando de $431,00 \text{ Wm}^{-2}$ a $729,58 \text{ Wm}^{-2}$, sendo o valor médio encontrado nesta área, para o dia 23 de Setembro de 2007, de $559,26 \text{ Wm}^{-2}$. Valores esses que estão em concordância com o trabalho em questão, pois grande parte da região Norte de Minas Gerais encontra-se na mesma cena (H-13 V-10), isto é, são regiões geograficamente próximas.

SILVA & BEZERRA, (2005) obtiveram para o perímetro irrigado Senador Nilo Coelho, mata nativa, leito do rio São Francisco e lago de Sobradinho, utilizando imagens da plataforma LANDSAT-5/TM, maior número dos valores variando de 540 Wm^{-2} a 640 Wm^{-2} .

GOMES et al., (2009), obtiveram, para parte da bacia hidrográfica do rio Mogi-Guaçu (SP), valores de R_n variando de $375,6 \text{ Wm}^{-2}$ a $731,3 \text{ Wm}^{-2}$, para área de cerrado e $315,3 \text{ Wm}^{-2}$ a $718,8 \text{ Wm}^{-2}$, para área de cana-de-açúcar. FILGUEIRAS et al., (2013), encontraram 87,95% dos valores de saldo de radiação, para a cidade de Montes Claros, localizada na mesorregião Norte de Minas Gerais, valores de saldo

de radiação oscilando entre 326.06 Wm^{-2} a 655.58 Wm^{-2} , obtendo como valor médio, $435,31 \text{ Wm}^{-2}$, para o dia 21 de setembro de 2011.

A Figura 3 apresenta a distribuição espacial da evapotranspiração real diária ($ET_{\text{diária}}$) para o dia 15 de setembro de 2010. No entanto, a $ET_{\text{diária}}$ teve valores mínimos e máximos de $0,0 \text{ mm d}^{-1}$ e $7,04 \text{ mm d}^{-1}$, respectivamente, com média de $2,51 \text{ mm d}^{-1}$.

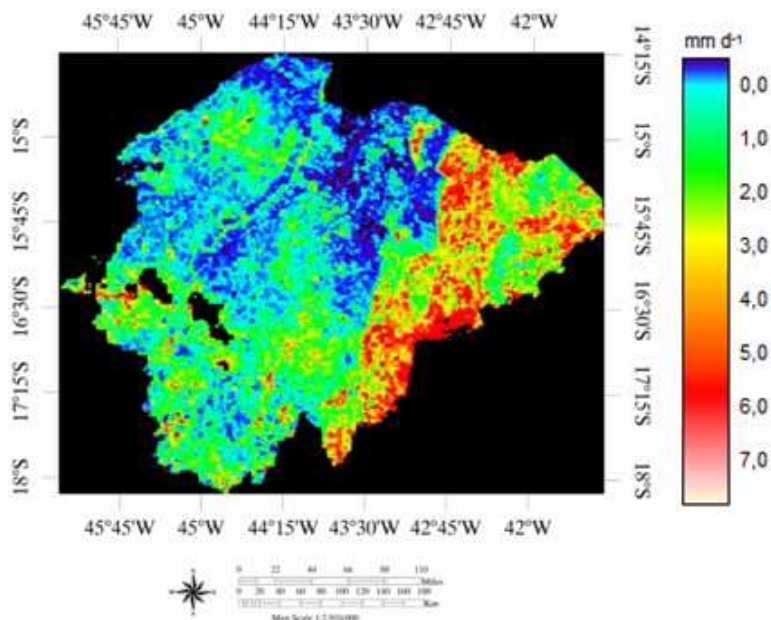


FIGURA 3 - Estimativa da evapotranspiração para região Norte de Minas Gerais para o dia 15/09/2010

Resultados esses que estão de acordo com LIMA et al., (2009d), que obtiveram no dia 16 de Agosto de 2008, para a região do Triângulo mineiro, valores de Evapotranspiração real diária mínima de $0,0 \text{ mm d}^{-1}$ e máximo de $8,98 \text{ mm d}^{-1}$, com média de $3,5 \text{ mm d}^{-1}$.

LIMA et al., (2009a), estimaram a evapotranspiração, para algumas das sub-bacias do rio Paracatu para o dia 16 de setembro de 2007, encontrando os valores entre $0,0 \text{ mm d}^{-1}$ a $6,9 \text{ mm d}^{-1}$.

LIMA et al., (2012), estimaram a evapotranspiração real diária para as mesmas sub-bacias do rio Paracatu, e encontraram valores do parâmetro variando de $0,0 \text{ mm d}^{-1}$ a $6,45 \text{ mm d}^{-1}$, com o valor médio de $3,17 \text{ mm d}^{-1}$, para o dia 23 de setembro de 2007, utilizando o sensor MODIS/TERRA. Os menores valores encontrados por estes autores ($0,0 \text{ mm d}^{-1}$ a $1,0 \text{ mm d}^{-1}$) foram caracterizados como áreas secas e solo exposto, sendo os maiores valores ($6,0 \text{ mm d}^{-1}$ a $6,45 \text{ mm d}^{-1}$) identificados como superfícies úmidas ou corpos d'água. Esses valores estão próximos ao encontrado no presente trabalho apesar do ano de pesquisa ser diferente, porém ambas as pesquisas foram realizadas no mês de setembro e, além disso, as áreas encontram-se em latitudes próximas.

UDA et al., (2013), estimaram a evapotranspiração para diferentes usos e coberturas do solo da bacia do rio Negrinho, localizado em Santa Catarina, obtiveram a evapotranspiração oscilando de $0,0 \text{ mm d}^{-1}$ a $5,3 \text{ mm d}^{-1}$, mostrando que

a evapotranspiração apresenta grande variabilidade para diferentes coberturas do solo, pois os menores valores foram encontrados para regiões com maior interferência antrópica, seguido de valores intermediários, as áreas de pastagem, agricultura e solo exposto escuro. Enquanto que os valores mais altos estavam relacionados a áreas de vegetação mais densa e a corpos d'água.

A grande amplitude dos valores de evapotranspiração obtidos para a mesorregião do Norte de Minas Gerais deve-se, principalmente a grande heterogeneidade da superfície, evidenciando assim, a sensibilidade da ET a diferentes ocupações do solo.

Faz-se necessário um mapa de ocupação do solo, para que se identifique com maior precisão os padrões de $ET_{diária}$ associados aos diferentes tipos de culturas e demais usos da área, visto que autores como: ANDRADE et al., (2009), BEZERRA, (2004), NICÁCIO, (2009) encontraram grandes variabilidades nos valores de evapotranspiração relacionados a diferentes superfícies.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos por meio de aplicações de imagens do sensor MODIS/TERRA e MODIS/TERRA+AQUA, para a estimativa da evapotranspiração real diária, apresentaram resultados que evidenciam o potencial do sensor para obtenção desse parâmetro de forma regionalizada, tornando-se uma alternativa, viável para o uso complementar de informações, para áreas onde dados meteorológicos são escassos, principalmente.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSEN, W. *Surface energy balance algorithms for land*. Idaho Department of Water Resources, 2002. 97 p.

ANDRADE, R. G.; BATISTELLA, M.; AMARAL, T. B.; MENEZES, S. J. M. C. Análise preliminar da variabilidade espacial da evapotranspiração de pastagens com o uso de imagens orbitais. In: Congresso Brasileiro de Agroinformática, 7., 2009, Viçosa. Anais... Viçosa: UFV, 2009. p. 1-5, 2009.

ATAÍDE, K. R. P. Determinação do Saldo de Radiação em Superfície com Produtos do Sensor MODIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., 2007, Florianópolis. Anais... Brasília-DF, INPE, 2007. p. 5569-5577.

BASTIAANSEN, W. G. M. *Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climate*. PhD. Dis., CIP Data Koninklijke Bibliotheek, Den Haag, the Netherlands. 272 p., 1998.

BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL – Based Sensible and Latent Heat Fluxes in the Irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, v. 229, p. 87 – 100, 2000.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de Irrigação. 8. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2011. p. 11-80.

BETHONICO, M. B. M. Área de Proteção Ambiental Estadual do Rio Pandeiros- MG: Espaço Território e Atores (tese de doutorado). Programa de Pós - Graduação em Geografia da Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, 2009, 290p.

BEZERRA, M. V. C. Balanço de energia em áreas irrigadas utilizando técnicas de sensoriamento remoto. 2004. 108 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2004.

BRAUN P, MAURER B, MULLER G, GROSS P, HEINEMANN G, SIMMER C (2001) An integrated approach for the determination of regional evapotranspiration using mesoscale modelling, remote sensing and boundary layer measurements. *Meteorol Atmos Phys* 76: 83–105, 2001 *citado por* SANTOS, R., M.; LIMA, JORGE E. F. W.; EID, N. J.; KOIDE, S. ; SILVA, E. S.; BRITO, R. S. Avaliação preliminar do uso do modelo SEBAL para a estimativa da distribuição espacial da evapotranspiração de uma área do Cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, XIII, 2007, Florianópolis – SC, Anais..., Florianópolis – SC, INPE, abril de 2007, p. 3542.

CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco. O projeto Gorutuba. Brasília - DF, 2003. http://www.codevasf.gov.br/produtos/pro_gorutuba.htm. 23 Mar. 2010.

ENGESAT. Disponível em: <<http://www2.engesat.com.br/?system=news&action=read&id=533>>. Acesso em: 06 de abril de 2013.

FERREIRA, A.S.; MEIRELLES, M.S.P. (2011). “Implementação preliminar do modelo SEBAL para estimativa da evapotranspiração na Mesorregião do Sul Goiano”. In. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 2 SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.5576.

FILGUEIRAS, R.; NASCIMENTO, C. R.; SALES, G. DE B.; MIRANDA, J. DA R.; Estimativa do saldo de radiação na cidade de Montes Claros/MG através de imagens do LANDSAT-5/TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR. 16. 2013. Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 0648-0655. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1056.pdf>>. Acesso em: 12 de maio de 2013.

GIACOMONI, M. H. Estimativa da evapotranspiração regional por meio de técnicas de sensoriamento remoto integradas a modelos de balanço de energia: aplicação no estado do Rio Grande do Sul. 2005. 193 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós- Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - UFRG, Rio Grande do Sul. 2005.

GOMES, H. B., SILVA, B. B. da, CAVALCANTI, E. P., ROCHA, H. R. da. Balanço de radiação em diferentes biomas no Estado de São Paulo mediante imagens Landsat 5. *Geociências*, v.28, p.153-164, 2009.

ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 1076 2013

LIMA, E. P.; ANDRADE, R. G.; SEDIYAMA, G. C.; DELGADO, R. C.; FERREIRA, A. S.; CAPUTI, E.; FERREIRA, W. J. Estudo da evapotranspiração real diária utilizando imagem de satélite na bacia do rio Paracatu. *In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO DO PARAÍBA DO SUL.2.* 2009a. Taubaté. *Anais...* Taubaté: UNITAU, 2009a p. 1-8. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/660549/1/p124.pdf>>. Acesso em: 12 de maio de 2013.

LIMA, E. P.; SEDIYAMA, G. C.; GLERIANI, J. M.; SOARES, V. P.; DELGADO, R. C.; ANDRADE, R. G. Estimativa do balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagem do Landsat 5 - TM. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 14.,2009b, Natal. Anais...* São José dos Campos: INPE 2009b, p. 255-262. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.20.49/doc/255-262.pdf>>. Acesso em: 12 de maio de 2013.

LIMA, E. P.; SEDIYAMA, G. C.; DELGADO, R. C.; ANDRADE, R. G.; LOPES, V. D. Estimativa do saldo de radiação utilizando imagem do sensor MODIS/TERRA em sub-bacias do Paracatu. Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 16, 2009c. Belo Horizonte. Disponível: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/34985/1/290.pdf>>. Acesso em: 12 de maio de 2013.

LIMA, E. P.; SEDIYAMA, G. C.; ANDRADE, R. G.; DELGADO, R. C.; SOARES, V. P.; GLERIANI, J. M. Estimativa da evapotranspiração em áreas irrigadas utilizando imagem do Landsat 5 – TM. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 14.,2009d, , Natal. Anais...* São José dos Campos: INPE 2009d, p.247-254. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.21.48.23/doc/247-254.pdf>>. Acesso em: 12 de maio de 2013.

LIMA, E. de P, SEDIYAMA, G. C., DELGADO, R. C., ANDRADE, R. G., GONÇALVES, A. O. Evapotranspiração real diária utilizando produtos do sensor MODIS/TERRA na bacia do Rio Paracatu. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. 27. 2012, Gramado. Anais...* Gramado: SBMET, 2012. p.5. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/68124/1/Ricardo.pdf>>. Acesso em: 12 de maio de 2013.

NICÁCIO, R. M.; ROTUNNO FILHO; O. C.; FRANÇA, G. B.; PAIVA, C. M.; LIBOS, M. Evapotranspiração real utilizando a fração de referência na região semi-árida da bacia hidrográfica do rio São Francisco. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR. 14. 2009. Natal. Anais...*Natal: INPE, 2009.p. 4781-4788. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.21.52/doc/4781-4788.pdf>>. Acesso em 12 de abril de 2013.

PRATA, A. J. A new long-wave formula for estimating downward clear-sky radiation at the surface. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 122, p. 1127-1151, 1996.

RUHOFF, A. L.; PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; ARAGAO; LUIZ E.O.C.; ROCHA, H. R.; MALHI, Y. S. A MODIS-Based Energy Balance to Estimate Evapotranspiration for Clear-Sky Days in Brazilian Tropical Savannas. *Remote Sensing*. 4, 703-725, march 2012. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2072-4292/4/3/703>>. Acesso em 06 de abril de 2013.

SANTOS, R., M.; LIMA, JORGE E. F. W.; EID, N. J.; KOIDE, S. ; SILVA, E. S.; BRITO, R. S. Avaliação preliminar do uso do modelo SEBAL para a estimativa da distribuição espacial da evapotranspiração de uma área do Cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, XIII, 2007, Florianópolis – SC, Anais..., Florianópolis – SC, INPE, abril de 2007, p. 3542.

SILVA, B. B.; BEZERRA, M. V. C. Determinação dos componentes do balanço de energia à superfície com técnicas de sensoriamento remoto e dados de superfície. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR. 13. 2005. Goiânia. *Anais...Goiânia*: INPE, 2005.p. 3325-3332. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.17.50/doc/3325.pdf>>. Acesso em: 12 de abril de 2013.

SILVA, M. T.; Mariano, E. B.; Paula, R. K.; Silva, P. K. O.; Balanço de radiação à superfície na região de Gilbués-PI, utilizando imagens do TM/Landsat 5. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR. 14. 2009. Natal. *Anais...Natal*: INPE, 2009. p. 1031-1038. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.15.01.15/doc/1031-1038.pdf>>. Acesso em: 13 de maio de 2013.

UDA, P. K.; CORSEUIL, C. W.; KOBAYAMA, M.; SILVA, F.V. Análise da evapotranspiração real diária para diferentes usos e coberturas do solo da bacia do rio Negrinho – SC por meio do modelo SEBAL e imagens ASTER. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR. 16. 2013. Foz do Iguaçu. *Anais...Foz do Iguaçu*: INPE, 2013. p. 5856-5863. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.15.01.15/doc/1031-1038.pdf>>. Acesso em: 05 de junho de 2013.