

EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL DIÁRIA UTILIZANDO PRODUTOS DO SENSOR MODIS/TERRA NA BACIA DO RIO PARACATU

Evaldo de P. LIMA¹, Gilberto C. SEDIYAMA², Rafael C. DELGADO³,
Ricardo G. ANDRADE⁴, Alexandre O. GONÇALVES¹

¹Embrapa Solos - Rio de Janeiro - Rio de Janeiro - evaldo@cnps.embrapa.br

²Universidade Federal de Viçosa - Viçosa - Minas Gerais

³Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Seropédica - Rio de Janeiro

⁴Embrapa Monitoramento por Satélite - Campinas - São Paulo

RESUMO: Estudos relacionados à demanda hídrica em uma escala regional de forma a identificar variabilidades espaciais e temporais são fundamentais no diagnóstico e gerenciamento de bacias hidrográficas. O objetivo deste estudo foi estimar a evapotranspiração real diária nas sub-bacias do ribeirão Entre Ribeiros e rio Preto, que ficam entre os Estados de Goiás e Minas Gerais, por meio de ferramentas de sensoriamento remoto. O algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) foi utilizado com produtos do sensor MODIS e dados meteorológicos do dia 23 de setembro de 2007. Os resultados obtidos se mostraram consistentes na comparação com informações da literatura indicando que, a metodologia pode ser utilizada em estudos complementares relacionados à gestão de bacias hidrográficas.

ABSTRACT: Researches related to water demands in a regional dimension on a way we can identify variations on location and time are fundamental to diagnosis and management of river basins. The aim of this study was to estimate the daily evapotranspiration in sub-basins of the rivers Entre Ribeiros and Preto, located between the states of Goiás and Minas Gerais, using remote sensing tools. The algorithm SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) was used with products from the MODIS sensor and meteorological data of September 23th, 2007. The results were consistent in comparison with data from the literature indicating that the methodology can be used in further studies related to watershed management.

1 - INTRODUÇÃO

A quantificação das perdas de água de superfícies cultivadas para a atmosfera é essencial no planejamento de atividades agrícolas e no gerenciamento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica. Nesse sentido, diversos métodos têm sido propostos, como o balanço de energia baseado na razão de Bowen, método das correlações turbulentas, balanço hídrico no solo, dentre outros, destinados à quantificação da evapotranspiração (ET). A evapotranspiração tem fundamental importância na agricultura visto que, por meio do cálculo das perdas hídricas para a atmosfera pode-se estimar as necessidades hídricas das culturas. Os métodos convencionais para determinação da ET fornecem informações pontuais e isto é um problema quando se trata de grandes áreas. Para apoiar nesta questão, o sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizado na estimativa dos componentes do balanço de energia e da evapotranspiração em escala regional. Estudos realizados por vários pesquisadores (BASTIAANSEN et al., 1998a; BASTIAANSEN et al., 1998b; AYENNEW, 2003; SILVA E BEZERRA, 2006; MENDONÇA, 2007; LIMA, 2010) mostram resultados satisfatórios, sendo obtidos por meio de informações específicas de alguns satélites. O SEBAL, que foi desenvolvido por BASTIAANSEN et al. (1998a e 1998b), é um algoritmo que tem apresentado resultados promissores nesta utilização. Este algoritmo estima a evapotranspiração por meio da equação do balanço de energia à superfície, ou seja, o fluxo de calor latente é calculado como um “resíduo”. Dessa forma, este

estudo tem o objetivo de determinar a evapotranspiração real diária nas sub-bacias do ribeirão Entre Ribeiros e rio Preto por meio de produtos do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectrometer*), a bordo do satélite Terra.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

A bacia do rio Paracatu está situada no Médio São Francisco e drena uma área de aproximadamente 45.600 km², sendo a segunda maior sub-bacia do rio São Francisco. RODRIGUEZ (2004) cita que, as principais sub-bacias do rio Paracatu são, pela margem direita, rio da Prata, com área de drenagem de 3.750 km², e rio do Sono, com 5.969 km²; e, pela margem esquerda, rio Escuro, com 4.347 km², ribeirão Entre Ribeiros, com 3.973 km², e rio Preto com 10.459 km². Este estudo foca apenas as sub-bacias referentes ao rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros (Figura 1), localizadas na região do Alto Paracatu, que abrangem os territórios do Distrito Federal e dos Estados de Goiás e Minas Gerais.

No presente trabalho foram utilizados os produtos do sensor MODIS: MOD09GA (refletância espectral de superfície, bandas 1 a 7), MOD11A1 (temperatura da superfície, bandas 31 e 32) e MOD07 (ângulo zenital) do dia 23 de setembro de 2007. Também foram utilizados os dados de velocidade do vento e radiação de onda curta incidente da estação meteorológica automática (A542) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A estação meteorológica possui as seguintes coordenadas geográficas: latitude 16° 33' 14" Sul, longitude 46° 52' 55" Oeste e 631 m de altitude, conforme pode-se observar na Figura 1.

Todas as etapas envolvidas no processo de estimativa dos componentes do balanço de energia e, conseqüentemente, na determinação da evapotranspiração real diária para a área das sub-bacias em questão foram desenvolvidas com o auxílio da ferramenta *Model Maker* do programa *Erdas 9.1*. Para descrição completa dos procedimentos adotados, consultar o trabalho de LIMA (2010).

No algoritmo SEBAL utilizou-se a equação do balanço de energia à superfície para estimar o fluxo de calor latente (λET), como um resíduo dos demais componentes: saldo de radiação (R_n), fluxo de calor no solo (G) e fluxo de calor sensível (H).

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (1)$$

De posse dos componentes do balanço de energia (λET , R_n , G e H , todos em W.m⁻²) foi possível obter a fração evaporativa por meio da seguinte relação:

$$FE = \frac{\lambda ET}{\lambda ET + H} = \frac{\lambda ET}{R_n - G} \quad (2)$$

Estudos micrometeorológicos indicam que esse termo pode ser considerado constante durante o período diurno (AYENNEW, 2003). Dessa forma, na estimativa da evapotranspiração real diária foi empregada a seguinte expressão:

$$ET_{diária} = \frac{86400 FE R_{n_{24h}}}{\lambda} \quad (3)$$

Em que, $ET_{diária}$ é a evapotranspiração real diária (mm.d⁻¹), FE é a fração evaporativa (adimensional), $R_{n_{24h}}$ é o saldo de radiação médio ocorrido em um período de 24 horas (W.m⁻².d⁻¹) e, λ é o calor latente de vaporização da água.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como primeiros resultados serão apresentados o saldo de radiação (Figura 2a) e o fluxo de calor no solo (Figura 2b) na área de estudo para o dia 23 de setembro de 2007. O saldo de radiação à superfície exerce um papel fundamental nos métodos que estimam a evapotranspiração, componente essencial do balanço hídrico, principalmente quando a superfície do solo é mantida

úmida com irrigação. Na Figura 2a a tonalidade amarela ($< 500 \text{ W.m}^{-2}$) corresponde a classe de menores valores do R_n e, se localizou sobre áreas secas e de solo exposto. A classe de maiores valores do saldo de radiação ($> 751 \text{ W.m}^{-2}$) corresponde à tonalidade vermelha e, sua ocorrência foi principalmente sobre superfícies úmidas e/ou corpos d'água. Os valores do R_n estiveram entre $450,78$ e $781,98 \text{ W.m}^{-2}$, com valor médio de $602,96 \text{ W.m}^{-2}$, correspondente a tonalidade azul clara, e desvio padrão de $33,73 \text{ W.m}^{-2}$. MENDONÇA (2007) estimou o saldo de radiação instantâneo para a região Norte Fluminense, Estado do Rio de Janeiro, utilizando produtos do sensor MODIS, e encontrou valores entre $411,76$ e $646,64 \text{ W.m}^{-2}$ no dia 29 de agosto de 2005, $499,06$ e $873,28 \text{ W.m}^{-2}$ em 16 de novembro de 2005, $482,40$ e $818,32 \text{ W.m}^{-2}$ no dia 05 de fevereiro de 2006, e $270,04$ e $438,72 \text{ W.m}^{-2}$ em 15 de junho de 2006. O R_n mínimo de $450,78 \text{ W.m}^{-2}$, encontrado para as sub-bacias do rio Paracatu, foi compatível aos encontrados por MENDONÇA (2007), com exceção o do dia 15 de junho de 2006 ($270,04 \text{ W.m}^{-2}$).

A variação espacial do fluxo de calor no solo instantâneo (Figura 2b) foi bastante homogênea, com exceção de algumas áreas, principalmente, na sub-bacia do ribeirão Entre Ribeiros. Com isso, verifica-se que a classe predominante apresentou valores entre 121 e 150 W.m^{-2} , correspondendo a tonalidade verde escura. O fluxo de calor no solo variou entre $61,32$ e $226,12 \text{ W.m}^{-2}$, com valor médio de $127,07 \text{ W.m}^{-2}$ e desvio padrão de $5,92 \text{ W.m}^{-2}$.

Os próximos resultados a serem apresentados serão o fluxo de calor sensível (Figura 2c) e a evapotranspiração real diária (Figura 2d) para as sub-bacias do ribeirão Entre Ribeiros e rio Preto. O fluxo de calor sensível instantâneo foi obtido, no SEBAL, por meio de um processo iterativo, no qual se considera a atmosfera em condição neutra, sendo que, nas próximas iterações foram feitas as correções de estabilidade atmosférica. De forma geral, observa-se que grande parte da área de estudo (Figura 2c) foi dominada pela tonalidade verde clara (101 a 200 W.m^{-2}). Na Figura 2c também foi verificado valor de fluxo de calor sensível negativo (tonalidade cinza). SILVA E BEZERRA (2006) explicam que os pixels com H negativo correspondem aos pixels cuja temperatura da superfície é inferior a temperatura do pixel "frio". O fluxo de calor sensível variou entre $-6,04$ e $512,48 \text{ W.m}^{-2}$, com valor médio de $181,79 \text{ W.m}^{-2}$ e desvio padrão de $64,03 \text{ W.m}^{-2}$.

A evapotranspiração define a perda total de água do sistema solo-planta para a atmosfera. Na Figura 2d, referente a evapotranspiração real para o dia 23 de setembro de 2007, a tonalidade amarela ($0,0$ a $1,0 \text{ mm.d}^{-1}$) corresponde a classe de menores valores e, se localizou sobre áreas secas e de solo exposto. Entretanto, a classe de maiores valores de evapotranspiração real ($> 6,1 \text{ mm.d}^{-1}$) corresponde à tonalidade vermelha e, sua ocorrência foi principalmente sobre superfícies úmidas e/ou corpos d'água. A evapotranspiração real variou entre $0,0$ e $6,45 \text{ mm.d}^{-1}$, com valor médio de $3,17 \text{ mm.d}^{-1}$, correspondente a tonalidade azul clara, e desvio padrão de $0,87 \text{ mm.d}^{-1}$. MENDONÇA (2007) estimou a evapotranspiração diária para a região Norte Fluminense, RJ, com produtos do sensor MODIS, e encontrou valores mínimos e máximos de $0,0$ e $6,89 \text{ mm.d}^{-1}$, respectivamente, para o dia 15 de agosto de 2005 e, de $0,0$ e $10,65 \text{ mm.d}^{-1}$, respectivamente, para o dia 16 de novembro de 2005. Os valores médios para esses mesmos dias, respectivamente, foram de $2,88 \text{ mm.d}^{-1}$ e $4,50 \text{ mm.d}^{-1}$. Vale destacar que, estes resultados foram encontrados por meio da proposição denominada de "clássica" pelo autor, que utiliza o saldo de radiação médio ocorrido num período de 24 horas (R_{n24h}). Apesar dos locais estarem em latitudes diferentes e as datas serem distintas, a evapotranspiração real máxima de $6,45 \text{ mm.d}^{-1}$, encontrada para as sub-bacias do ribeirão Entre Ribeiros e rio Preto, foi próxima a encontrada por MENDONÇA (2007) no dia 15 de agosto de 2005 ($6,89 \text{ mm.d}^{-1}$).

4 - CONCLUSÕES

Os resultados obtidos por meio da utilização de produtos do sensor MODIS, a bordo do satélite Terra, e do algoritmo SEBAL na estimativa da evapotranspiração real diária apresentaram consistência com dados observados na literatura. Dessa forma, a metodologia pode ser utilizada em estudos complementares relacionados à gestão de bacias hidrográficas, principalmente em regiões que possuem limitações de dados meteorológicos, para uma melhor análise da variabilidade espacial e temporal da evapotranspiração.

5 - AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo financiamento parcial desta pesquisa.

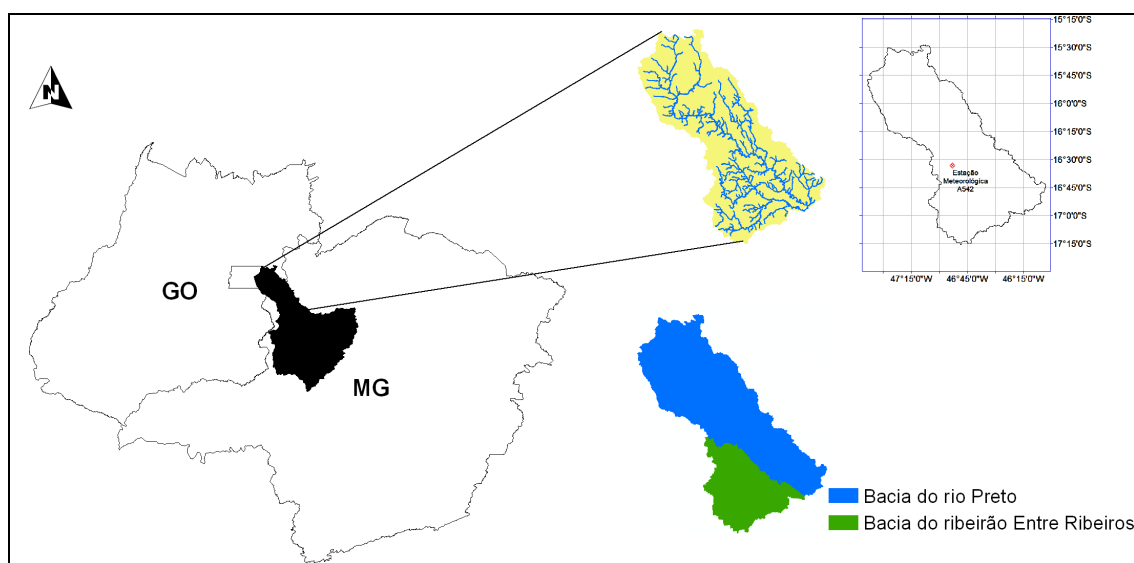
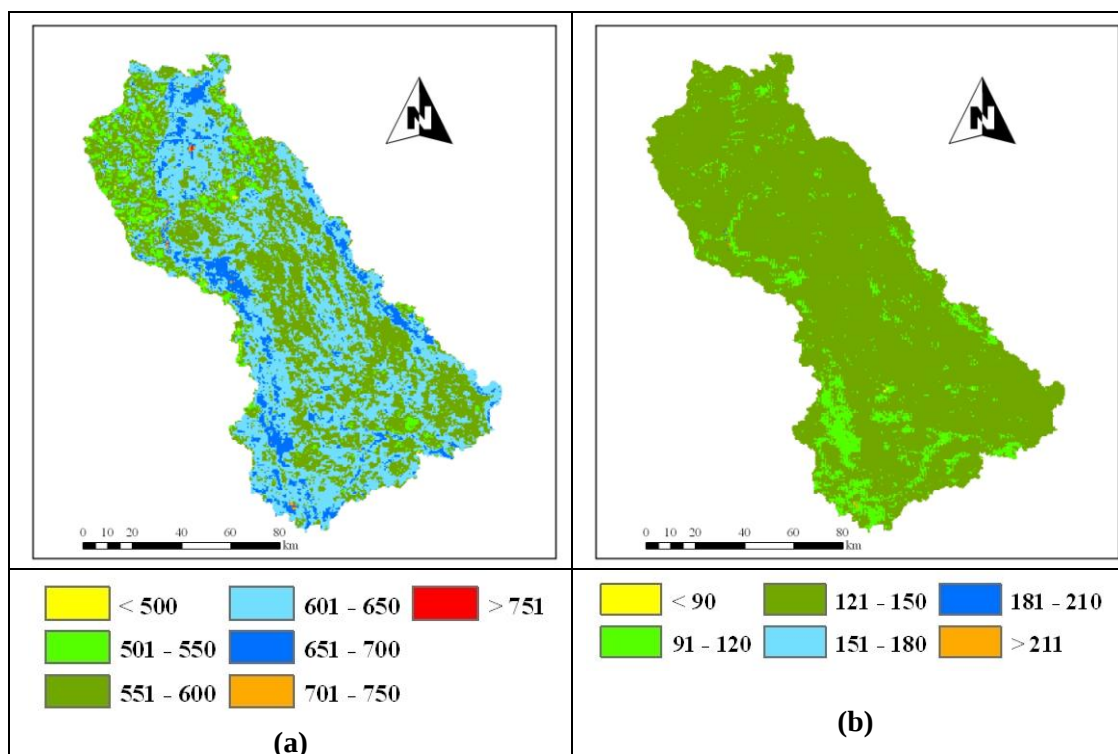


Figura 1: Localização geográfica da área de estudo.



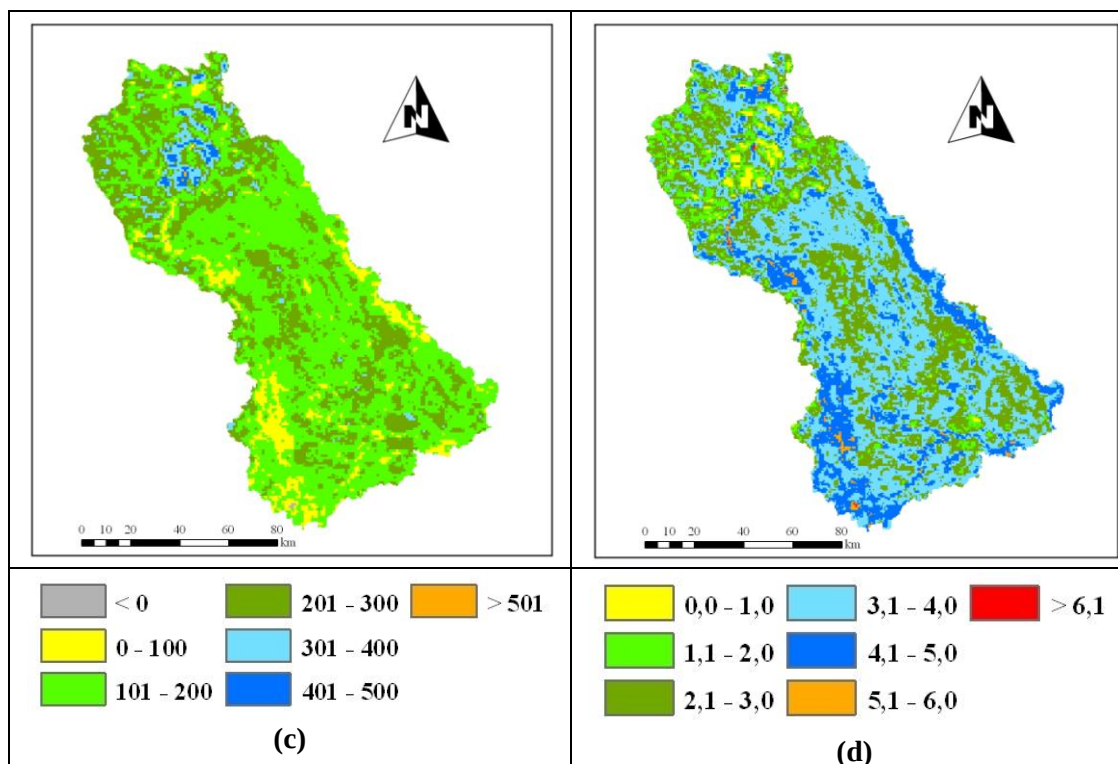


Figura 2: a) Saldo de radiação (W.m^{-2}), b) fluxo de calor no solo (W.m^{-2}), c) fluxo de calor sensível (W.m^{-2}) e, d) evapotranspiração real diária (mm.d^{-1}) para o dia 23/09/07.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AYENNEW, T. Evapotranspiration estimation using thematic mapper spectral satellite data in the Ethiopian rift and adjacent highlands. **Journal of Hydrology**, v. 279, p. 83-93, 2003.

BASTIAANSEN, W.G.M.; MENENTI, M.; FEDDES, R.A.; HOLTSLAG, A.A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, p. 198-212, 1998a.

BASTIAANSEN, W.G.M.; PELGRUM, H.; WANG, J.; MA, Y.; MORENO, J. F.; ROERINK, G.J.; VAN DER WAL, T. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 2. Validation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, p. 213-229, 1998b.

LIMA, E.P. **Estimativa da evapotranspiração e do balanço hídrico a partir de imagens de satélite de duas sub-bacias do Paracatu**. 2010. 161 f. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

MENDONÇA, J.C. **Estimativa da evapotranspiração regional utilizando imagens digitais orbitais na região Norte Fluminense, RJ**. Campos dos Goytacazes, RJ: UENF, 2007. 145 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.

RODRIGUEZ, R.D.G. **Metodologia para a estimativa das demandas e disponibilidades hídricas: Estudo de caso da bacia do Paracatu**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, B.B.; BEZERRA, M.V.C. Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na superfície utilizando imagens TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 174-186, 2006.