

Análise espaço-temporal da evapotranspiração na bacia do rio Paraibuna usando o produto MOD16**Spatio-temporal analysis of evapotranspiration in the Paraibuna River basin using the MOD16 product**

DOI: 10.34188/bjaerv3n4-050

Recebimento dos originais: 20/08/2020

Aceitação para publicação: 20/09/2020

Ricardo Guimarães Andrade

Doutor em Meteorologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa
Instituição: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Endereço: Rua Eugênio do Nascimento, 610, Dom Bosco, Juiz de Fora-MG, Brasil
E-mail: ricardo.andrade@embrapa.br

Marcos Cicarini Hott

Doutor em Ciência Florestal pela Universidade Federal de Lavras
Instituição: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Endereço: Rua Eugênio do Nascimento, 610, Dom Bosco, Juiz de Fora-MG, Brasil
E-mail: marcos.hott@embrapa.br

Walter Coelho Pereira de Magalhães Junior

Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal de São Carlos
Instituição: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Endereço: Rua Eugênio do Nascimento, 610, Dom Bosco, Juiz de Fora-MG, Brasil
E-mail: walter.magalhaes@embrapa.br

Celso Bandeira de Melo Ribeiro

Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa
Instituição: Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF
Endereço: Rua José Lourenço Kelmer, s/n, São Pedro, Juiz de Fora-MG, Brasil
E-mail: celso.bandeira@ufjf.edu.br

RESUMO

O conhecimento das variações espaço-temporais da evapotranspiração (ET) em escala de bacias hidrográficas é de essencial importância para uma melhor gestão dos recursos hídricos. Para estimativa da ET regional ou global, modelos e algoritmos fundamentados em técnicas de sensoriamento remoto surgem como potencial alternativa aos métodos tradicionais que têm por base as medições pontuais em situ. Nesse caso, uma opção interessante seria o uso dos métodos tradicionais combinados com dados de sensoriamento remoto, como o uso de imagens MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) combinada com o método Penman-Monteith, produto denominado por MOD16. Nesse estudo objetivou o uso do produto MOD16 para análise espaço-temporal da evapotranspiração na bacia do rio Paraibuna. O produto evapotranspiração (MOD16) possui resolução espacial de 500 m e os valores de cada pixel da imagem se referem ao somatório dos oito dias de dados do período correspondente. No entanto, dependendo do ano em análise, o último período do ano é composto de 5 ou 6 dias de dados. O algoritmo é executado em bases de dados diários, sendo considerada a soma da ET da parte diurna e noturna para o cálculo da

ET diária. Conforme os resultados obtidos o produto MOD16 foi consistente na estimativa da ET para a área da bacia do rio Paraíba. No entanto, a classe “No data” ocorreu em todos os meses analisados, com destaque para sua abrangência territorial nos meses de abril de 2017 e fevereiro de 2018. Além disso, como as áreas de pastagens e remanescente florestal são as classes de maior abrangência territorial da bacia, a ET média do período analisado foi de 3,05 mm d⁻¹.

Palavras-chave: recursos hídricos, gestão hídrica, bacia hidrográfica, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

The knowledge of spatio-temporal variations of evapotranspiration (ET) on a hydrographic basin scale is of essential importance for a better management of water resources. To estimate the regional or global ET, models and algorithms based on remote sensing techniques appear as a potential alternative to traditional methods that are based on spot measurements in situ. In this case, an interesting option would be the use of traditional methods combined with remote sensing data, such as the use of MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) images combined with the Penman-Monteith method, a product called MOD16. This study aimed to use the MOD16 product for spatio-temporal analysis of evapotranspiration in the Paraíba River basin. The evapotranspiration product (MOD16) has a spatial resolution of 500 m and the values of each pixel of the image refer to the sum of the eight days of data for the corresponding period. However, depending on the year under review, the last period of the year consists of 5 or 6 days of data. The algorithm is executed in daily databases, being considered the sum of the ET of the day and night for the calculation of the daily ET. According to the results obtained, the MOD16 product was consistent in estimating the ET for the area of the Paraíba River basin. However, the class “No data” occurred in all the months analyzed, with an emphasis on its territorial coverage in the months of April 2017 and February 2018. In addition, as the pasture areas and forest remnants are the classes with the greatest coverage of the basin, the average ET of the analyzed period was 3.05 mm d⁻¹.

Keywords: water resources, water management, hydrographic basin, remote sensing.

1 INTRODUÇÃO

A evapotranspiração (ET), que é a soma da perda de água para a atmosfera por meio da transpiração das plantas e da evaporação do solo, é uma componente vital do ciclo da água e na escala global representa mais de 60% dos insumos para a formação de precipitação, ou seja, transmite uma restrição importante à disponibilidade de água na superfície terrestre (Mu et al., 2009). Portanto, a ET atua como um regulador dos principais processos ecossistêmicos que, por sua vez, controla em larga escala, a distribuição espacial das comunidades de plantas e a produção primária líquida da vegetação (Mission et al., 2004; Oren et al., 1999; Prentice et al., 1992).

Com o aumento da população e a rápida mudança climática, a água tornou-se uma grande preocupação tanto em termos de meio ambiente como para a sociedade. É esperado que as mudanças climáticas intensifiquem o ciclo hidrológico e alterem a ET, com implicações para os serviços ecossistêmicos e de *feedback* para o clima regional e global (Mu et. al., 2007a). É sabido que mais da metade da energia solar absorvida pelas superfícies terrestres é usada para evaporar a água e que, a

disponibilidade de água, é o principal fator de restrição para o crescimento da vegetação em mais de 40% da superfície terrestre com vegetação (Nemani et al., 2003; Mu et al., 2007b).

O conhecimento preciso das variações temporais e espaciais na precipitação e na ET são fundamentais para uma melhor compreensão das interações entre superfície terrestre e atmosfera, e é crucial para o aperfeiçoamento da gestão dos recursos hídricos e terrestres, detecção e avaliação de seca, e aplicações hidrológicas regionais (Mu et al., 2007a). No entanto, conforme relatado por Mu et al. (2007a), a precipitação e a ET são os componentes do ciclo hidrológico mais complexos para estimar com precisão devido à heterogeneidade da paisagem e ao grande número de fatores de controle envolvidos, incluindo clima, biofísica vegetal, propriedades do solo e topografia.

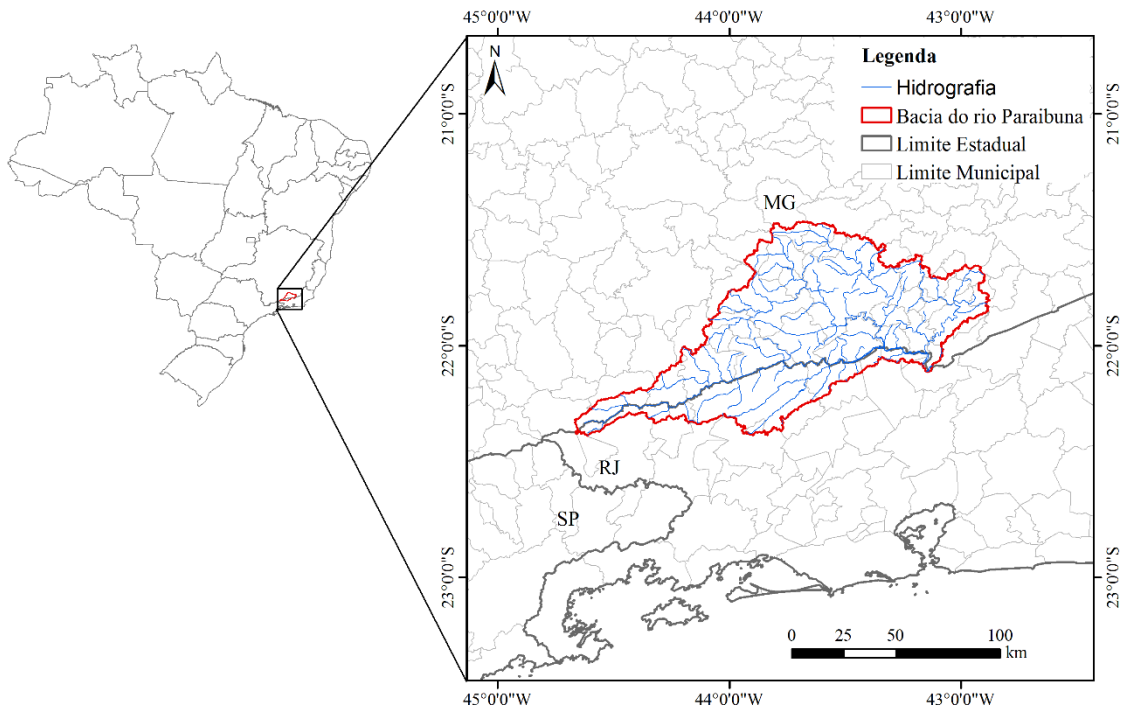
A quantificação da ET torna-se essencial para o entendimento das interações entre a energia da atmosfera e da superfície terrestre e os balanços hídricos regionais ou em escala de bacias hidrográficas. No entanto, os métodos convencionais de estimativa de ET têm por base as medições pontuais em situ, tais como lisímetros (Mariano et al., 2015), torres de fluxos - *eddy covariance* (Moorhead et al., 2019) e razão de bowen (Buttar et al., 2018), sendo um fator limitante para análises da ET em larga escala. Assim, os modelos/algoritmos fundamentados em técnicas de sensoriamento remoto surgem como potencial alternativa para estimativa da ET regional ou global. De acordo com Chang et al. (2018) esses modelos/algoritmos podem ser divididos em três categorias, ou seja, os modelos de regressão empírica (Wang et al., 2010), os modelos de balanço de energia da superfície, como o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*, Bastiaanssen et al., 1998) e os métodos tradicionais combinados com dados de sensoriamento remoto, como o uso de imagens MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) combinada com o método Penman-Monteith (Mu et al., 2007a; Mu et al., 2011).

Os modelos de balanço de energia da superfície foram aplicados com sucesso em diversas regiões do mundo, sendo muito úteis no monitoramento dos recursos hídricos. Porém, um fator limitante seria a disponibilidade de dados contínuos de sensoriamento remoto com boa resolução espaço-temporal. Com intuito de amenizar tais limitações Cleugh et al (2007) desenvolveram um modelo associando produtos MODIS com a equação de Penman-Monteith. Posteriormente, esse modelo foi modificado por Mu et al. (2007a) e aprimorado o algoritmo por Mu et al. (2011) com a finalidade de produzir um produto de ET global mais preciso. Esse produto denominado por MOD16 pode ser usado para gerar estimativas da ET em escala de bacia hidrográfica e fornecer informações importantes para o gerenciamento de recursos hídricos. Diante do exposto, o presente estudo objetivou o uso do produto MOD16 para análise espaço-temporal da evapotranspiração na bacia do rio Paraíba.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende a bacia do rio Paraíba, cujas águas nascem na Serra da Mantiqueira nos limites territoriais do município de Antônio Carlos, MG. Alguns quilômetros à jusante do município de Juiz de fora, MG, o rio Paraíba recebe as águas dos rios Preto, Peixe e Cágado, e mais à jusante tem sua foz no rio Paraíba do Sul, próximo à cidade de Três Rios, RJ (Figura 1). Ressalta-se ainda que o rio Paraíba tem cerca de 170 km de extensão e com uma bacia de drenagem da ordem de 8.558 km² é considerado o maior afluente em volume de água da bacia do Paraíba do Sul.

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Paraíba.



No presente estudo utilizou-se do produto evapotranspiração (MOD16A2, versão 6) gerado a partir de dados do sensor MODIS/Terra para os tiles H14V11 e H13V11 no período de 22/03/2017 a 22/03/2018. Este produto foi obtido ao acessar o site da *Land Process Distributed Active Archive Center* (LP DAAC) da USGS por meio do link: <<https://lpdaac.usgs.gov/>>. Posteriormente, aplicou-se a ferramenta MRT (*Modis Reprojection Tools*) para conversão de formato HDF (formato original) para TIF. Em seguida, ao utilizar o ArcMap do software ARCGIS (versão 10.1) foi possível aplicar ferramentas de análise espacial para conversão de escala e filtragem dos dados pixel a pixel.

O MOD16A2 é um produto composto de 8 dias de dados com resolução espacial de 500 metros. Os valores de cada pixel da imagem produto evapotranspiração é o somatório dos oito dias de dados do período correspondente, contudo, dependendo do ano em análise, o último período do ano é composto de 5 ou 6 dias de dados. O algoritmo implementado por Mu et al. (2007) para geração do produto se fundamenta na lógica da equação de Penman-Monteith, no entanto, incluindo na análise os dados meteorológicos em conjunto com os dados de sensoriamento remoto, conforme a equação:

$$\lambda E = \frac{sA + \rho C_p (e_{sat} - e) / r_a}{s + \gamma (1 + r_s / r_a)}$$

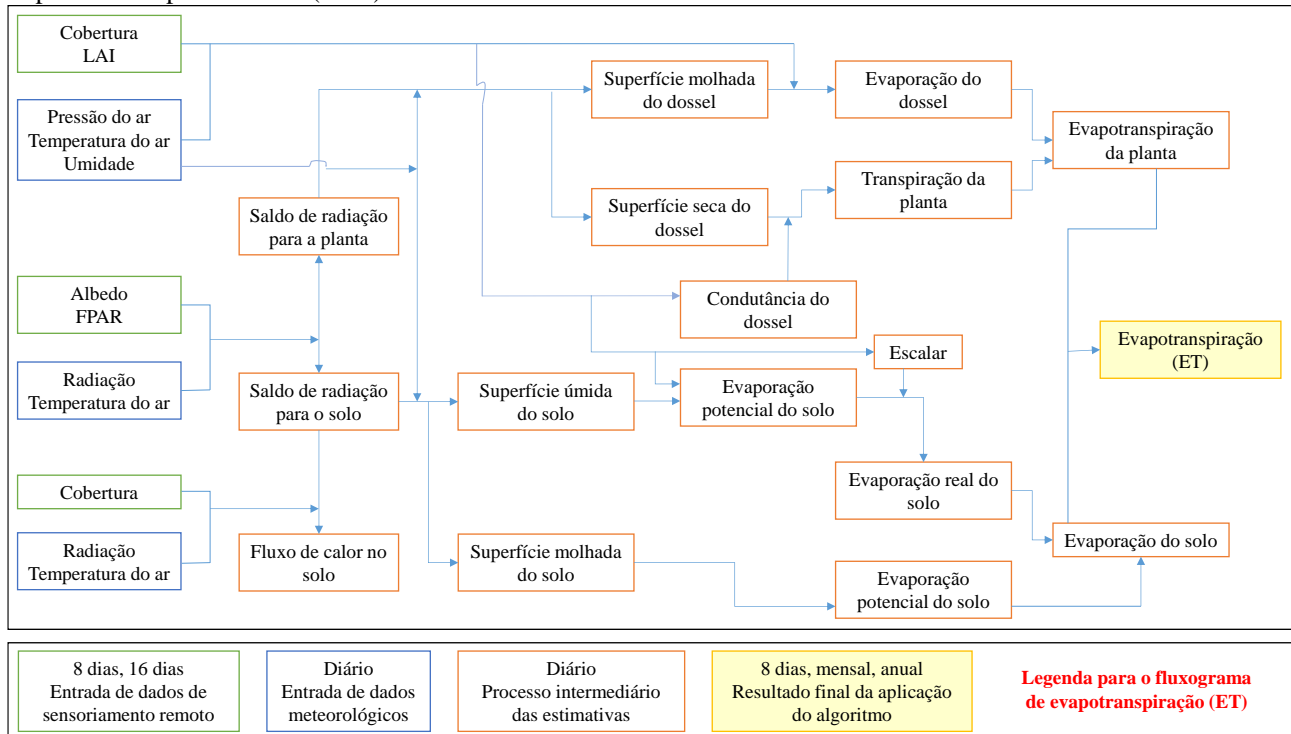
Em que, λE é o fluxo de calor latente (W/m^2) e λ é o calor latente de vaporização (J/kg); $s = d(e_{sat})/dT$ é a inclinação na curva que relaciona a pressão de saturação de vapor d'água (e_{sat} dado em Pa) à temperatura; A é a disponibilidade de energia (W/m^2); ρ é a densidade do ar (kg/m^3); C_p é a capacidade de calor específico do ar ($J/kg/K$); e é a pressão atual de vapor (Pa); r_a é a resistência aerodinâmica (s/m), γ é a constante psicrométrica (Pa/K) e é dada por:

$$\gamma = \left(\frac{M_a}{M_w} \right) \left(\frac{C_p P}{\lambda} \right)$$

Em que, M_a e M_w são, respectivamente, as massas moleculares do ar seco e úmido (kg/mol); P é a pressão atmosférica (Pa).

O algoritmo para obtenção do produto evapotranspiração (MOD16A2) é executado em bases diárias e temporalmente (Figura 2).

Figura 2 - Fluxograma das etapas envolvidas no processo de estimativa da evapotranspiração por meio do algoritmo implementado por Mu et al. (2011).



Na implementação do algoritmo, considera-se a soma da ET da parte diurna e noturna para o cálculo da ET_{diária}. Verticalmente, ET se refere a contabilização dos fluxos de vapor de água da evaporação do solo, evaporação da superfície molhada do dossel e transpiração da planta (superfície seca do dossel). Os dados de FPAR (*Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation*) de 8 dias é usado para quantificar o quanto do saldo de radiação da superfície é particionada entre solo e vegetação. Os dados de albedo de 8 dias e os dados diários de radiação solar descendente e temperatura do ar oriundos de redes de estações meteorológicas são usados para estimar o saldo de radiação e o fluxo de calor no solo. Já os dados diários de temperatura do ar, déficit de pressão de vapor e umidade relativa do ar juntamente com os dados de LAI (*Leaf Area Index*) de 8 dias são usados para estimar a condutância estomática da superfície, resistência aerodinâmica, parte molhada do dossel, fluxo de calor no solo e outras variáveis ambientais importantes.

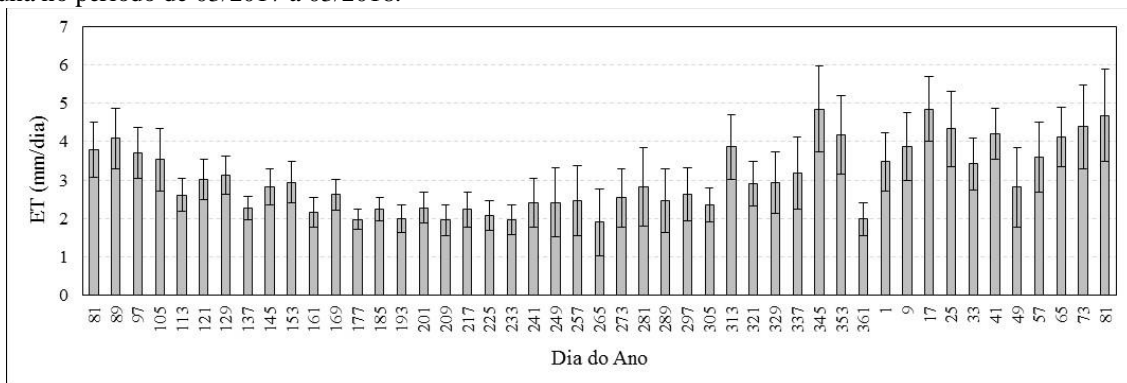
A cobertura do solo é usada para especificar o tipo de bioma para cada pixel, e os parâmetros constantes dependentes do bioma para implementação do algoritmo são salvos na tabela de pesquisa de propriedade do bioma (*Biome-Property-Lookup-Table - BPLUT*). Exceto para os dados diários de temperatura mínima do ar e o déficit de pressão de vapor, que são diretamente utilizados pelo algoritmo referente às estimativas de produção primária bruta (GPP) e líquida (NPP) da superfície terrestre. Ressalta-se que a BPLUT é ajustada em grande parte com base em um conjunto anual de dados ET direcionado para cada bioma, sendo derivado do produto MODIS GPP e eficiência de uso

de água calculada a partir de torres de fluxos (*eddy covariance*). Semelhante a outros produtos MODIS de níveis 3 ou 4, os conjuntos de dados MOD16 são salvos em blocos HDFEOS (*Hierarchical Data Format - Earth Observing System*) Sinusoidais de 10 graus.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 visualizam-se, para a bacia do rio Paraibuna, as médias e desvios-padrão das estimativas de ET por meio do produto MOD16 no período de 03/2017 a 03/2018. Como esperado, os valores médios de ET foram mais elevados no período chuvoso, ou seja, nos meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, sendo que médias superiores a $4,50 \text{ mm d}^{-1}$ foram observadas nos dias 11/12/2017 (Dia 345; $4,85 \pm 1,11 \text{ mm d}^{-1}$), 17/01/2018 (Dia 17; $4,85 \pm 0,85 \text{ mm d}^{-1}$) e 22/03/2018 (Dia 81; $4,68 \pm 1,20 \text{ mm d}^{-1}$). Por outro lado, as médias de ET foram inferiores a $2,00 \text{ mm d}^{-1}$ nos dias 26/06/2017 (Dia 177; $1,98 \pm 0,26 \text{ mm d}^{-1}$), 12/07/2017 (Dia 193; $1,99 \pm 0,35 \text{ mm d}^{-1}$), 28/07/2017 (Dia 209; $1,95 \pm 0,40 \text{ mm d}^{-1}$), 21/08/2017 (Dia 233; $1,97 \pm 0,39 \text{ mm d}^{-1}$), 22/09/2017 (Dia 265; $1,90 \pm 0,88 \text{ mm d}^{-1}$) e 27/12/2017 (Dia 361; $1,98 \pm 0,44 \text{ mm d}^{-1}$). Nesse caso, vale destacar que junho, julho, agosto e parte de setembro são meses considerados dentro do período de estiagem ou seca na região da bacia. A ET média de todo o período analisado na área da bacia foi de $3,05 \text{ mm d}^{-1}$.

Figura 3 - Médias e desvios-padrão das estimativas de ET por meio do produto MOD16 para a bacia hidrográfica do rio Paraibuna no período de 03/2017 a 03/2018.

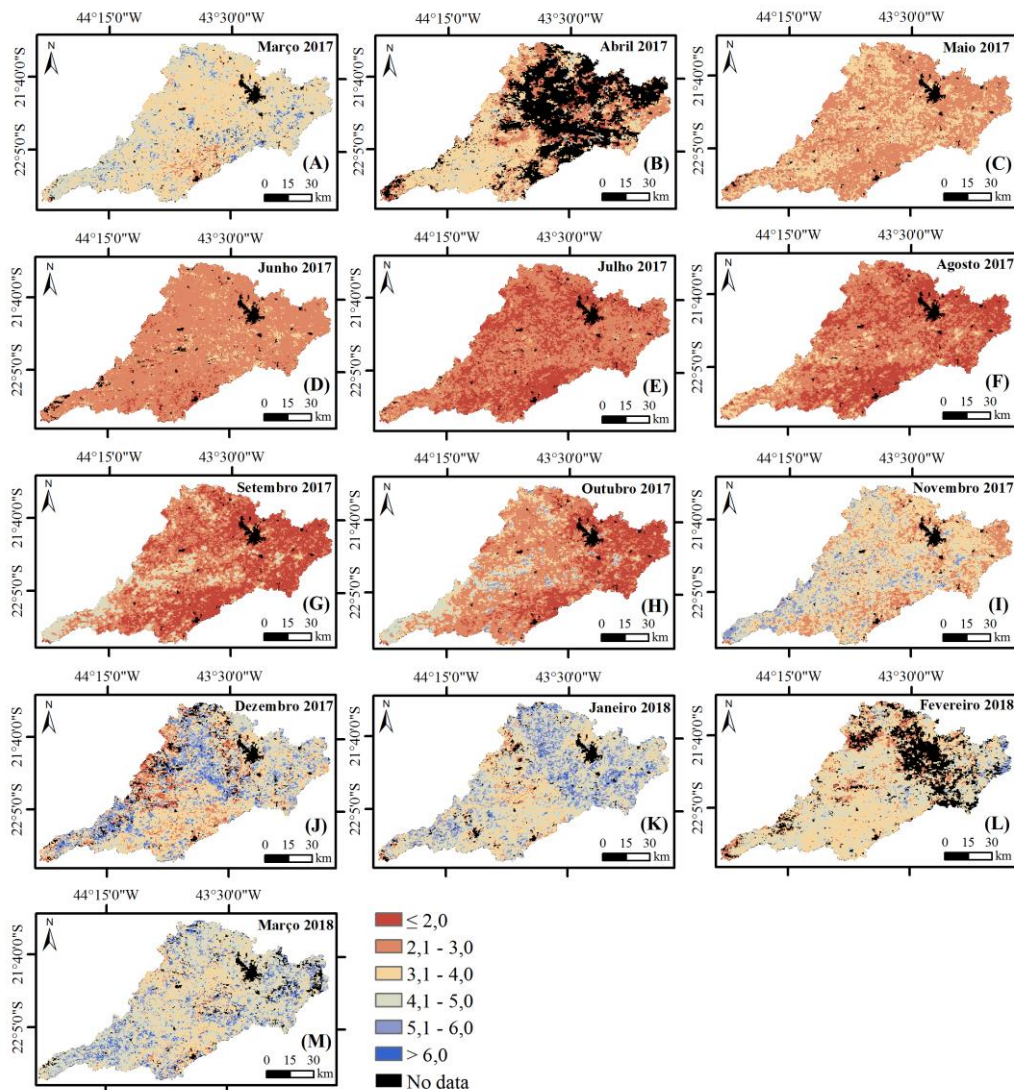


Na Figura 4 têm-se os mapas das médias mensais de ET no período de março de 2017 (Figura 4A) a março de 2018 (Figura 4M). Nota-se que em todos os meses analisados há manchas escuras da classe “No data”, com destaque para os meses de abril de 2017 (Figura 4B) e fevereiro de 2018 (Figura 4L). Provavelmente, nesses meses, houve concentração de nuvens sobre boa parte da área da bacia do rio Paraibuna. Nesse caso, a classe “No data” pode ter influenciado nos valores médios de ET e respectivos desvios-padrão nos dias 97, 105 e 113 do ano de 2017 e nos dias 33, 41, 49 e 57 do

ano de 2018 (Figura 3). Nos demais meses a classe “No data” concentrou-se sobre a região urbana do município de Juiz de Fora, MG.

Conforme Figura 4, os meses novembro, dezembro, janeiro e março em termos de abrangência territorial, foram os que apresentaram valores de $ET \geq 4,50 \text{ mm d}^{-1}$. Por outro lado, o inverso foi observado nos meses de julho, agosto e setembro em que predominaram os valores de $ET \leq 2,50 \text{ mm d}^{-1}$. Além dos fatores da sazonalidade da precipitação, os valores espaço-temporais da ET também podem ser influenciados pelo tipo e abrangência das classes de uso e cobertura da terra. Silva e Zaidan (2011) aplicaram método de classificação supervisionada em imagens Landsat 5 visando a geração do mapa de uso e cobertura da terra na bacia do rio Paraíba. Conforme resultados dos autores cerca de 42% da bacia é coberta por pastagens, 28% por florestas, 27% por terras agrícolas e cerca de 3% corresponderia à soma de solo exposto e estéril, solo urbano ou construído e corpos d’água.

Figura 4. Mapa das médias mensais das estimativas de ET por meio do produto MOD16 para a bacia hidrográfica do rio Paraíba no período de março de 2017 (Figura 4A) a março de 2018 (Figura 4M).



A classe pastagens predomina na bacia do rio Paraibuna (Silva e Zaidan, 2011) e, nessa classe, os valores médios de ET variando de 0,50 a 2,50 mm d⁻¹ e entre 2,00 e 4,50 mm d⁻¹ predominaram nos períodos seco e chuvoso, respectivamente. Ao estimar a ET por meio de técnicas de sensoriamento remoto em áreas de pastagens da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS, Andrade et al. (2018) obtiveram, em período predominante de estação seca do ano, valores de ET variando de 0,50 a 3,50 mm d⁻¹, com média de 1,90 mm d⁻¹. Em pastagens com indicativos de degradação na bacia hidrográfica do Alto Tocantins, Andrade et al. (2016) encontraram, para o período mais seco do ano, valores médios de ET variando entre 1,05 mm d⁻¹ (classe forte degradação) e 1,50 mm d⁻¹ (classe baixa degradação).

As áreas de florestas se referem à segunda classe de maior predominância na bacia do rio Paraibuna (Silva e Zaidan, 2011). Geralmente, no período seco a ET da floresta é maior em relação às áreas de pastagens pelo fato da floresta possuir maior profundidade efetiva do sistema radicular (Z). No caso das pastagens, as raízes exploram no máximo 1,00 m de camada de solo. Já a floresta pode ter sistema radicular atingindo vários metros de profundidade no solo e com isso ser capaz de retirar mais água do solo para suprir a demanda de água para a atmosfera por meio dos processos da ET.

Em monitoramento da ET por meio do método do balanço hídrico em remanescente de mata atlântica na bacia do ribeirão Lavrinha, no período seco, Pereira (2009) observaram ET média de 2,28 mm d⁻¹. Ao utilizar o algoritmo SEBAL e imagens do sensor ASTER do mês de abril de 2006 na região da bacia do alto Rio Negro, Santa Catarina, Uda et al. (2014) obtiveram ET média de 2,90 mm d⁻¹ e 4,10 mm d⁻¹ para áreas de pastagens e florestas (mata atlântica), respectivamente.

4 CONCLUSÃO

O produto MOD16 possibilitou consistentes estimativas de evapotranspiração na bacia do rio Paraibuna. Contudo, a classe “No data” ocorreu em todos os meses analisados, principalmente nos meses de abril de 2017 e fevereiro de 2018.

De forma geral, a ET média da bacia, no período analisado, foi de 3,05 mm d⁻¹. Esse valor pode ter sido influenciado pela predominância das áreas de pastagens e remanescentes florestais na bacia.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. G.; HOTT, M. C.; MAGALHÃES JUNIOR, W. C. P. Estimativa da evapotranspiração em áreas de pastagens usando algoritmo SEBAL e imagens Landsat 5 – TM. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 2, p. 362-372, 2018.
- ANDRADE, R. G.; TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; NOGUEIRA, S. F. Analysis of evapotranspiration and biomass in pastures with degradation indicatives in the Upper Tocantins River Basin, in Brazilian Savanna. **Revista Ceres**, v. 63, n. 6, p. 754-760, 2016.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. The surface energy balance algorithm for land (SEBAL): Part 1 Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212, p. 801-811, 1998.
- BUTTAR, N. A.; YONGGUANG, H.; SHABBIR, A.; LAKHIAR, I. A.; ULLAH, I.; ALI, A.; ALEEM, M.; YASIN, M. A. Estimation of evapotranspiration using Bowen ratio method. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 17, p. 807-810, 2018.
- CHANG, Y.; QIN, D. DING, Y.; ZHAO, Q.; ZHANG, S. A modified MOD16 algorithm to estimate evapotranspiration over alpine meadow on the Tibetan Plateau, China. **Journal of Hydrology**, v. 561, p. 16-30, 2018.
- CLEUGH, H. A.; LEUNING, R.; MU, Q.; RUNNING, S. W. Regional evaporation estimates from flux tower and MODIS satellite data. **Remote Sensing of Environment**, v. 106, p. 285-304, 2007.
- MARIANO, D. C.; FARIA, R. T.; FREITAS, P. S. L.; LENA, B. P.; JOHANN, A. L. Construction and calibration of a bar weighing lysimeter. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 37, n. 3, p. 271-278, 2015.
- MISSION, L.; PANEK, J. A.; GOLDSTEIN, A. H. A comparison of three approaches to modeling leaf gas exchange in annually drought-stressed ponderosa pine forests. **Tree Physiology**, v. 24, p. 529-541, 2004.
- MOORHEAD, J. E.; MAREK, G. W.; GOWDA, P. H.; LIN, X.; COLAIZZI, P. D.; EVETT, S. R.; KUTIKOFF, S. Evaluation of Evapotranspiration from Eddy Covariance Using Large Weighing Lysimeters. **Agronomy**, v. 9, n. 2, p. 1-17, 2019.
- MU, Q. Z.; HEINSCH, F. A.; ZHAO, M. S.; RUNNING, S. W. Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. **Remote Sensing of Environment**, v. 111, n. 4, p. 519-536, 2007a.
- MU, Q., ZHAO, M.; HEINSCH, F. A.; LIU, M.; TIAN, H.; RUNNING, S. W. Evaluating water stress controls on primary production in biogeochemical and remote sensing based models. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 112, G01012, 2007b.
- MU, Q.; JONES, L. A.; KIMBALL, J. S.; MCDONALD, K. C.; RUNNING, S. W. Satellite assessment of land surface evapotranspiration for the pan-Arctic domain. **Water Resources Research**, v. 45, W09420, 20p, 2009.

MU, Q. Z.; ZHAO, M. S.; RUNNING, S.W. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 8, p. 1781-1800, 2011.

NEMANI, R. R.; KEELING, C.; HASHIMOTO, H.; JOLLY, W. M.; PIPER, S.; TUCKER, C. MYNENI, R.; RUNNING, S. W. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. **Science**, v. 300, p. 1560-1563, 2003.

OREN, R.; SPERRY, J. S.; KATUL, G. G.; PATAKI, D. E.; EWERS, B. E.; PHILLIPS, N.; SCHÄFER, K. V. R. Survey and synthesis of intra- and interspecific variation in stomatal sensitivity to vapour pressure deficit. **Plant, Cell and Environment**, v. 22, p. 1515-1526, 1999.

PEREIRA, D. R. **Evapotranspiração em área de mata atlântica na região da serra da Mantiqueira, MG**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras. Lavras: UFLA, 2009. 105p.

PRENTICE, C.; CRAMER, W.; HARRISON, S. P.; LEEMANS, R.; MONSERUD, R. A.; SOLOMON, A. M. A Global Biome Model Based on Plant Physiology and Dominance, Soil Properties and Climate. **Journal of Biogeography**, v. 19, n. 2, p. 117-134, 1992.

SILVA, A. C.; ZAIDAN, R. T. Zoneamento do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Paraibuna por imagens do satélite Landsat 5. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p. 7263-7270.

UDA, P. K.; CORSEUIL, C. W.; KOBAYAMA, M. Evapotranspiração real da bacia do alto Rio Negro, região Sul brasileira, por meio do SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) e balanço hídrico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, p. 205-217, 2014.

WANG, K.; DICKINSON, R. E.; WILD, M.; LIANG, S. Evidence for decadal variation in global terrestrial evapotranspiration between 1982 and 2002: 1. Model development. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 115, D20112, p. 1-11, 2010.