

DESEMPENHO DOS MÉTODOS DE HARGRAVES E PRIESTLEY-TAYLOR NA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

João Pedro de Coimbra Ribeiro

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Lavras (UFLA),
Lavras, Minas Gerais, Brasil
jpdcri@gmail.com

Rafaella Tavares Pereira

Graduando em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras (UFLA),
Lavras, Minas Gerais, Brasil
tavarerafaella27@gmail.com

Marco Túlio Lopes Martins

Graduando em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras (UFLA),
Lavras, Minas Gerais, Brasil
tuliomartins007@gmail.com

André Ferreira Rodrigues

Doutorando em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Lavras (UFLA),
Lavras, Minas Gerais, Brasil
agrodrigues09@gmail.com

Vanessa Alves Mantovani

Doutoranda Recursos Hídricos, Universidade Federal de Lavras (UFLA),
Lavras, Minas Gerais, Brasil,
vanismantovani@hotmail.com

Vinicius Augusto de Oliveira

Pós-doutorando em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Lavras (UFLA),
Lavras, Minas Gerais, Brasil
alvinicius@gmail.com

Calor Rogério de Mello

Doutor em Ciências do Solo, professor da Universidade Federal de Lavras (UFLA),
Lavras, Minas Gerais, Brasil
crmelho@ufla.br

RESUMO

A estimativa precisa da evapotranspiração é essencial para o desenvolvimento de estudos hidrológicos, principalmente em âmbitos de bacias hidrográficas. Todavia, os dados necessários para a aplicação do método de Penman-Monteith padronizado pela FAO (PM) nem sempre estão disponíveis. Neste sentido, é necessário que métodos mais simples como o de Priestley-Taylor (PT) e Hargreaves (HG) sejam avaliados para superar esta barreira instrumental. Por

consequente, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho dos métodos de PT e HG para dois anos com precipitações abaixo da média na cidade de Lavras, Minas Gerais. O período de estudo abrangeu os anos de 2017 e 2018. Os modelos também foram avaliados com relação ao período úmido e seco do ano hidrológico 2017/2018. O Modelo de PT ($R^2 = 0,91$) sobressaiu-se com relação ao de HG ($R^2 = 0,64$) na estimativa da evapotranspiração de referência. O modelo de HG superestimou os valores de PM tanto para o período todo (PBIAS = -40) quanto para os períodos úmido (PBIAS = -50) e seco (PBIAS = -35). Por outro lado, o método de PT teve desempenho satisfatório (PBIAS < 15) para todos os períodos avaliados. Portanto, o modelo de PT é recomendado para a estimativa da evapotranspiração de referência para o clima subtropical úmido, mesmo para anos com precipitação abaixo da média.

Palavras-chave: Clima subtropical úmido. Seca. Evapotranspiração.

HARGREAVES AND PRIESTLEY-TAYLOR PERFORMANCE ON REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATION

ABSTRACT

Estimating properly the evapotranspiration is crucial for studies concerning hydrologic behaviors, mainly regarding watershed scope. However, the amount of data necessary to apply the Penman-Monteith-FAO (PM) equation is not every available. Thus, assessing simpler methodologies as Hargraves (HG) and Priestley-Taylor (PT) is required to overcome such instrumental issue. This paper aimed to analyze the performance of these two methodologies for two years with precipitation under average. The study period comprehended 2017 and 2018. The methodologies were also evaluated for the wet and dry periods of 2017/2018 hydrologic year. PT ($R^2 = 0.91$) performance was superior to that of HG ($R^2 = 0.64$) for estimating the reference evapotranspiration. HG overestimated the PM values for the whole period (PBIAS = -40) and for the wet (PBIAS = -50) and dry periods (PBIAS = -35). On the other hand, PT performance was satisfactory (PBIAS < 15) for every evaluated period. Thus, the methodology of PT is preferred for estimating the reference evapotranspiration for humid subtropical climate, even for years with under average precipitation.

Keywords: Humid subtropical climate. Drought. Evapotranspiration.

1 INTRODUÇÃO

A correta determinação da evapotranspiração de referência é crucial para o desenvolvimento de estudos que envolvem o balanço hídrico em bacias hidrográficas. (Mello et al., 2019). Neste sentido, vários métodos foram propostos com diferentes graus de complexidade na representação dos aspectos físicos que determinam o fenômeno da transferência de água para a atmosfera.

O método de Hargreaves (HG) é considerado um dos mais simples (Allen et al., 1998), uma vez que considera apenas as temperaturas máxima e mínima local e a radiação no topo da atmosfera. Desta forma, possui variabilidade significativa em função da região, podendo apresentar resultados não satisfatórios (Er-Raki et al., 2019; Tagliaferre et al., 2010).

Outro método utilizado para a obtenção da evapotranspiração de referência é o de Priestley-Taylor (PT). Tal método se baseia no balanço de energia de forma simplificada, na temperatura e na umidade relativa média do ar. Assim, possui maior complexidade que o HG, porém mais simples que o de Penman-Monteith padronizado pela FAO (PM) (Allen et al., 19..). Segundo Trajkovic e Kolakovic (2009), para locais úmidos com ausência de dados para a aplicação do método recomendado pela FAO, o uso da metodologia de Priestley-Taylor possibilita a obtenção de resultados de evapotranspiração de referência satisfatórios.

A metodologia de Penman-Monteith-FAO é recomendada internacionalmente para calcular a evapotranspiração desde que os dados necessários estejam disponíveis. Tal desempenho está relacionado à complexidade dos processos físicos englobados pela equação. Dentre as variáveis consideradas destacam-se o saldo de radiação, a temperatura e a umidade do ar e a velocidade do vento. Além disto, as padronizações dos parâmetros de resistência estomática e aerodinâmica (Allen et al., 1998) possibilitam a comparação da capacidade evapotranspirativa em qualquer região.

Todavia, o acesso a todas as variáveis necessárias ao cômputo da evapotranspiração de referência por meio da PM não é sempre possível. Por conseguinte, avaliar o desempenho de metodologias mais simples tem sido empregado no intuito de transcender esta barreira instrumental (Carvalho et al., 2011).

Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho dos métodos de HG e PT na determinação da evapotranspiração de referência para a cidade de Lavras, Minas Gerais, uma vez que nos últimos anos tem se observado secas severas na região (Coelho et al., 2016), as quais podem afetar significativamente as estimativas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado utilizando os dados do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP o qual pode ser acessado por meio do link (<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>). A estação meteorológica convencional utilizada situa-se na cidade de Lavras, localizada no sul do estado de Minas Gerais, na mesorregião do Campo das Vertentes, com latitude 21° 14' S, longitude 45°00' W e altitude 918,84 m (Figura 1). Segundo metodologia proposta por Koppen, o clima da região é Cwa, caracterizado por um inverno seco e um verão chuvoso (Rodrigues, 2019). O período chuvoso abrange os meses de outubro a março, enquanto o período seco os meses de abril a setembro. De acordo com a última atualização das normais climatológica (1980-2010), a precipitação média anual e a evapotranspiração potencial da região são 1462 mm e 1254 mm, respectivamente (Rodrigues, 2019).

Figura 1: Estação meteorológica do INMET localizada na cidade de Lavras, MG.



Fonte: Do Autor (2019).

O período de estudo abrangeu os anos de 2017 e 2018, uma vez que ambos caracterizaram-se por precipitações abaixo da média histórica (1097 mm e 1295 mm, respectivamente). Desta forma, o presente trabalho destoa-se daquele desenvolvido por (Carvalho et al., 2011), uma vez que abrange uma situação climática extrema, podendo impactar na estimativa da evapotranspiração de referência a partir dos melhores modelos observados pelos referidos autores. Além disto, os desempenhos das metodologias também foram avaliados para o período chuvoso e seco separadamente.

A equação base para comparação foi a Penman-Monteith-FAO (PM), por ser o método internacionalmente recomendado e padronizado pela FAO (Allen et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} v^2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34v^2)} \quad (1)$$

em que R_n é o saldo de radiação da superfície evaporante; G é a densidade do fluxo de calor no solo em; T_{med} é a temperatura média do ar; v^2 é a velocidade diária média do vento a 2m de

altura; e_s é a pressão de saturação de vapor; e_a é a pressão parcial de vapor; Δ é declividade da curva de pressão de vapor e γ é o coeficiente psicrométrico.

Os métodos de Hargraves (HG, equação 2) e Priestley-Taylor (PT, equação 3) foram selecionados devido à simplicidade em suas configurações e por terem demonstrado desempenhos satisfatórios em diversas ocasiões (Lenters et al., 2011; Saghravani et al., 2016);

$$ET_o = 0,0023(T_{max} - T_{min})^{0,5}(T_{med} + 17,8)Ra^{0,408} \quad (2)$$

em que T_{max} , T_{min} e T_{med} são respectivamente as temperaturas máxima, mínima e média do ar em °C e Ra é a radiação no topo da atmosfera.

$$ET_o = \frac{\alpha W(Rn - G)}{\lambda} \quad (3)$$

em que α é parâmetro de ajuste do método proposto, Rn é o saldo de radiação da superfície evaporante $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$; W é a fator de ponderação dependente da temperatura, da umidade relativa do ar e do coeficiente psicrométrico; G é a densidade do fluxo de calor no solo em $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$; λ é adotado o valor de $2,45\ MJ\ kg^{-1}$.

Para avaliar o desempenho dos métodos de HG e PT, ambos foram comparados com o valor padrão da evapotranspiração de referência (PM). Primeiro, os resultados foram comparados (PM x HG e PM x PT) via regressão linear, para todo o período de estudo. Após isto, os mesmos resultados foram comparados separadamente no período chuvoso (outubro 2017 a março 2018) e seco (abril 2018 a outubro 2018) compreendendo um ano hidrológico. O coeficiente de determinação (R^2) e o PBIAS foram aplicados para averiguar a qualidade de cada metodologia em estimar a evapotranspiração de referência para a região de Lavras em condições climáticas atípicas.

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (ET_{o\ obsi} - ET_{o\ simi})}{\sum_{i=1}^n (ET_{o\ Obsi})} \right] \times 100 \quad (4)$$

em que ET_{Obsi} e ET_{Simi} são as evapotranspirações de referência calculada por PM e pelos métodos alternativos (HR e PT), respectivamente.

De acordo com Moriasi et al. (2007), os valores de PBIAS podem ser classificados como: “Muito bom” ($PBIAS < \pm 10$), “Bom” ($\pm 10 < PBIAS < \pm 15$), “Satisfatório” ($\pm 15 < PBIAS < \pm 25$) e “Insatisfatório” ($PBIAS > \pm 25$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da comparação entre os valores de evapotranspiração diária (Figura 2 e 3), para os dois anos estudados, observa-se que os resultados de PT e HG divergiram significativamente.

Figura 2: Comparação da estimativa da evapotranspiração de referência para os anos de 2017 e 2018 entre o método de Priestley-Taylor (PT) e o de Penman-Monteith-FAO (PM).

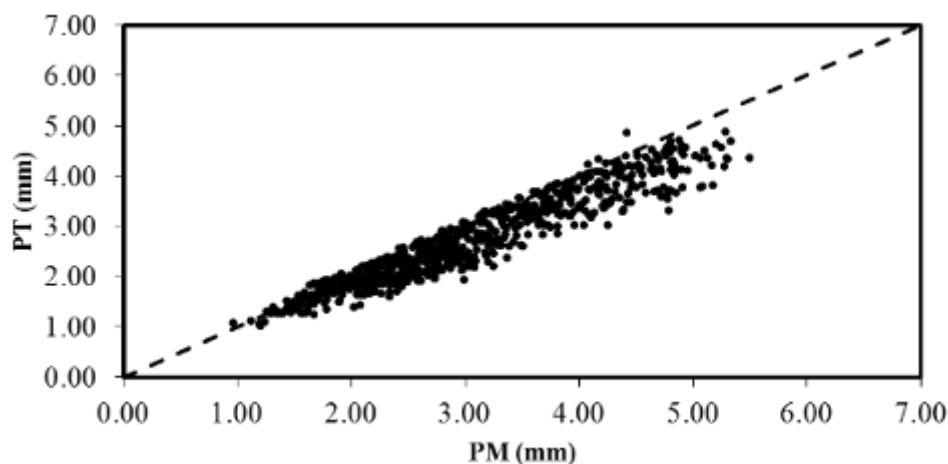
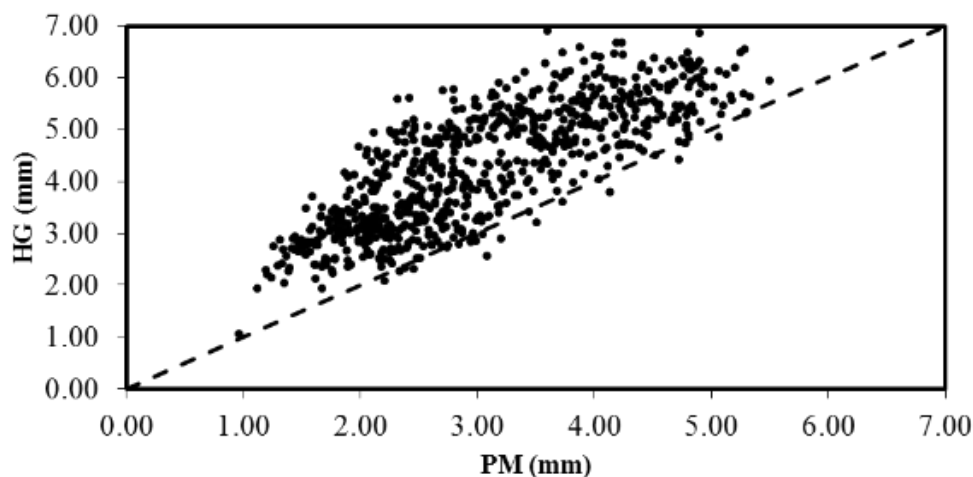


Figura 3: Comparação da estimativa da evapotranspiração de referência para os anos de 2017 e 2018 entre o método de Hargreaves (HG) e o de Penman-Monteith-FAO (PM).



O primeiro demonstrou comportamento próximo ao da reta 1:1 ($R^2 = 0,91$), destacando a capacidade do modelo de PT em estimar a evapotranspiração de referência para os anos secos de 2017 e 2018 na cidade de Lavras. Além disto, o desempenho do modelo de PT pode ser classificado em “muito bom” (PBIAS = 10.5%). Segundo Passos 206L 206L. (2017), o desempenho de PT comparado com outros métodos empíricos apresenta melhor resultado, sendo indicado como alternativa a metodologia de PM. Tais resultados também corroboram com aqueles observados por Silva 206L 206L., (2011) para a cidade de Uberlândia, MG.

Por outro lado, o modelo de HR demonstrou comportamento disperso ($R^2 = 0,64$), indicando uma maior incerteza na estimativa da evapotranspiração diária (Figura 3). Tagliaferre 206L 206L. (2010), em uma avaliação de desempenho de métodos empíricos, no clima subúmido do sul da Bahia, o método de HG foi o que obteve o pior desempenho na estimativa de ET. Por outro lado, quando o mesmo foi realizado para o clima semiárido em Marrocos e no México, Er-Raki 206L 206L. (2010) obtiveram o melhor desempenho com HG. Sentelhas 206L 206L. (2010) também destacaram que o modelo de HG possui maior desempenho para regiões de clima semiárido.

Todavia, por mais que os anos hidrológicos avaliados tiveram precipitação abaixo da média histórica, a região em estudo possui clima subtropical úmido (Cwa). Portanto, mesmo

para tais situações, o modelo de HG foi incapaz de estimar a evapotranspiração, superestimando àqueles determinados por PM (PBIAS = -41%).

Com relação aos períodos chuvoso e seco, o modelo de PT obteve comportamento “muito bom” (PBIAS = 6,8%) e “bom” (PBIAS = 14,8%), respectivamente. Por outro lado, o modelo de HG foi classificado insatisfatório para ambos os períodos, sendo este modelo, portanto, não recomendado para a estimativa da evapotranspiração de referência em anos com precipitação abaixo da média em regiões de clima subtropical úmido.

4 CONCLUSÕES

O modelo de PT obteve o melhor desempenho tanto para o período todo (2017 e 2018) quanto para os períodos chuvoso e seco quando comparados ao modelo de HG. Por causa de a região apresentar clima subtropical e os anos abrangidos possuírem precipitação abaixo da média, favoreceu-se a presença de temperaturas mais elevadas, fazendo com que o modelo de HG superestimasse o de PM em todos os cenários considerados.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao**, Rome, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998

CARVALHO, L. G. et al. Reference evapotranspiration: current analysis of different estimating methods. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.

COELHO, C. A. S. et al. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Climate Dynamics**, v. 46, n. 11-12, p. 3737-3752, 2016.

ER-RAKI, S. et al. Assessment of reference evapotranspiration methods in semi-arid regions: can weather forecast data be used as alternate of ground meteorological parameters?. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 12, p. 1587-1596, 2010.

LENTERS, J. D. et al. Seasonal energy and water balance of a *Phragmites australis*-dominated wetland in the Republican River basin of south-central Nebraska (USA). **Journal of Hydrology**, v. 408, n. 1-2, p. 19-34, 2011.

MELLO, C. R. et al. Water balance in a neotropical forest catchment of southeastern Brazil. **Catena**, v. 173, p. 9-21, 2019.

MORIASI, D. N. et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the ASABE**, v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007.

PASSOS, V. et al. Evapotranspiração de referência por diferentes métodos para o município de Chapadinha-MA. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 10, n. 1, 2017.

Rodrigues, A. F. 2019. **Soil moisture and groundwater recharge prediction in an Atlantic Forest-Oxisol site**. Universidade Federal de Lavras. Dissertação. 67p.

SAGHRAVANI, S. R. et al. Estimating groundwater recharge based on mass balance evaluation of unsaturated zone in a coastal catchment characterized by tropical rainforest weather conditions. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 8, p. 668, 2016.

SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; SANTOS, E. A. Evaluation of FAO Penman–Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. **Agricultural Water Management**, v. 97, n.5, p. 635-644, 2010.

DA SILVA, V. J. et al. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 1, 2011.

TAGLIAFERRE, C. et al. Estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiração de referência em Eunápolis-BA. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 103-111, 2010.

TRAJKOVIC, S.; KOLAKOVIC, S. Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions. **Water Resources Management**, v. 23, n. 14, p. 3057, 2009.

Recebido em 25/11/2019.

Aceito em 11/12/2019.