

## MÉTODOS EMPÍRICOS BASEADOS NA TEMPERATURA DO AR PARA ESTIMATIVA DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA EM PLANALTO, PR

THARSOS HISTER GIOVANELLA<sup>1</sup>, FABRÍCIO CORREIA OLIVEIRA<sup>2</sup>, VINÍCIUS AMADEU STUANI PEREIRA<sup>3</sup>, PABLO HENRIQUE FINKEN<sup>4</sup>, GILVAN MOISÉS BERTOLLO<sup>2</sup>, ALISON DE MEIRA RAMOS<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Agronomia, UTFPR, Santa Helena - PR, Fone: (045) 99987-8108, tharsoshg@gmail.com

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Dr., Curso de Agronomia, UTFPR, Santa Helena - PR

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Cartógrafo, Prof. Dr., Curso de Agronomia, UTFPR, Santa Helena - PR

<sup>4</sup> Graduando em Agronomia, UTFPR, Santa Helena - PR

Apresentado no  
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020  
23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

**RESUMO:** A avaliação de métodos de desempenho de equações empíricas para estimativa de evapotranspiração deve ser realizada para quantificar a aplicabilidade dos modelos às condições meteorológicas locais. Desta forma, essa pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho de diferentes métodos empíricos baseados na temperatura do ar para estimativa de evapotranspiração de referência para localidade de Planalto, PR. Os métodos de Penman-Monteith com dados incompletos e Jesen-Haise apresentaram os melhores desempenhos, sendo recomendados para Planalto, PR.

**PALAVRAS-CHAVE:** evaporação, oeste do Paraná, temperatura do ar

### EMPIRICAL METHODS BASED ON AIR TEMPERATURE FOR REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATION IN PLANALTO, PR

**ABSTRACT:** The evaluation of empirical equation performance methods for estimating reference evapotranspiration should be performed to quantify the applicability of the models to local meteorological conditions. Thus, this research aimed to evaluate the performance of different empirical methods based on air temperature to estimate reference evapotranspiration for the city of Planalto, PR. The Penman-Monteith with incomplete data and Jesen-Haise methods showed the best performances, being recommended for Planalto, PR.

**KEYWORDS:** evaporation, west of Paraná, air temperature

**INTRODUÇÃO:** A evapotranspiração (ET) é uma variável climática indispensável para estudos hidrológicos, climáticos e agrícolas (ALMOROX; QUEJ; MARTÍ, 2015), englobando dois processos, evaporação e transpiração. Existem duas maneiras de se obter ET, por meio de métodos diretos, como lisímetros (COMUNELLO et al., 2018), ou por meio métodos indiretos, como modelos físico-matemáticos (SHIRI, 2019). Os modelos podem ser aplicados em diferentes escalas temporais e espaciais, além de demandar menos investimento inicial e manutenção de equipamentos, quando comparados aos lisímetros. No entanto, esses modelos foram desenvolvidos para locais específicos, utilizando dados meteorológicos regionais ou locais. Para que os mesmos possam ser utilizados em outras regiões são necessárias pesquisas visando avaliar o desempenho desses modelos para o local de interesse, como vem sendo realizado para diversas regiões no mundo (ALMOROX; QUEJ; MARTÍ, 2015; DIMPASHOH

et al., 2011; VALIANTZAS, 2018). Para realizar a estimativa da ET são necessárias diversas informações meteorológicas. A região Oeste do Paraná, onde localiza-se a cidade de Planalto, apresenta poucas estações meteorológicas com dados disponíveis ao público. Em geral, existem estações em alguns institutos de pesquisa ou particulares, entretanto estas estações apresentam apenas sensores de temperatura, precipitação e umidade relativa. Visando possibilitar a estimativa da ET para região Oeste de forma simples e prática, esta pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho de diferentes métodos empíricos baseados na temperatura do ar para estimativa de evapotranspiração de referência para localidade de Planalto, PR.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Para realização desta pesquisa foram utilizados dados meteorológicos proveniente da rede de estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foi utilizado dados da estação localizada em Planalto, Paraná. A estação situa-se entre as coordenadas 25°43'18,71" S e 53°44'52,51" W, apresentando 398 m de altitude. Foram utilizados dados meteorológicos horários de temperatura do ar (°C), velocidade do vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>), radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) e umidade relativa (%) para um período de três anos (1° de janeiro de 2016 a 31 de dezembro de 2018). Inicialmente, foi estimada a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) utilizando 12 modelos baseados na temperatura do ar. Os modelos foram: Camargo (CAMARGO, 1971); Oudin (OUDIN et al., 2005); McCloud, descrito por Irmak; Allen; Whitty (2003) e Xystrakis; Matzarakis (2011); Hargreaves-Samani (HARGREAVES; SAMANI, 1985); Jesen-Haise (JENSEN; HAISE, 1963); Baier-Robertson (BAIER; ROBERTSON, 1965); Penman-Monteith com dados incompletos (ALLEN et al., 1998); Hamon (HAMON, 1961); Turc (TURC, 1961); McGuinness-Bordne, descrito por Oudin et al. (2005); Thornthwaite (THORNTHWAITE, 1948); e, Thornthwaite modificado (CAMARGO et al., 1999). Em seguida, foi estimada a ET<sub>o</sub> pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), este foi utilizado como padrão para comparação com os demais. A análise do desempenho dos demais métodos em relação ao de Penman-Monteith foi realizada por meio de regressão linear. Para avaliação foi tomado como referência os valores do coeficiente de determinação, r<sup>2</sup>, índice de concordância de Willmott, d (eq. 1), índice de desempenho, c (eq. 2) e da raiz quadrada do erro médio, RMSE (eq. 3).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^n \left[ \left( |Y_i - \bar{X}| \right) + \left( |X_i - \bar{X}| \right) \right]^2} \quad (1)$$

$$c = r \cdot d \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{n}} \quad (3)$$

em que,

$Y_i$  - evapotranspiração de referência estimada pelo método padrão, mm d<sup>-1</sup>;  $X_i$  - evapotranspiração de referência obtida pelo método avaliado, mm d<sup>-1</sup>;  $\bar{X}$  - evapotranspiração de referência média obtida pelo método avaliado, mm d<sup>-1</sup>; r - coeficiente de correlação de Pearson; e, n - número de observações.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Avaliando os valores médios de evapotranspiração, observou-se que a maioria dos métodos subestimaram a evapotranspiração, com exceção, o método de Penman-Monteith com dados incompletos, que superestimou. Em relação ao coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>), entre os 12 modelos analisados, o modelo que apresentou melhor desempenho foi Penman-Monteith com dados incompletos (r<sup>2</sup>= 0,7456), seguido pelo

modelo de Jesen-Haise ( $r^2= 0,6590$ ) (TABELA 1). O coeficiente de determinação pode ser utilizado como indicativo da representatividade do modelo, indicando a precisão (COMUNELLO et al., 2018; VALIANTZAS, 2018), contudo não deve ser o único critério, uma vez que não expressa a magnitude das diferenças entre os métodos avaliados (CUNHA; MAGALHÃES; CASTRO, 2013). Considerando o índice de desempenho (c), observa-se que dois métodos foram classificados como “ótimo”, sete métodos foram classificados como “muito bom” e três métodos como “bom”. Segundo Camargo e Sentelhas (1997) valores de índice de desempenho maior que 0,65 podem ser considerados adequados para estimativa de ETo, sendo recomendado a utilização de valores que mais se aproximam da unidade. Deste modo, o modelo que apresentou melhor desempenho foi o de Penman-Monteith com dados incompletos ( $c=0,882$ ), corroborando com o coeficiente de determinação. Considerando a avaliação entre todos os índices de desempenho, os métodos de Penman-Monteith com dados incompletos e Jesen-Haise, apresentaram os melhores desempenhos, entretanto, tornam-se necessárias pesquisas para melhorar os coeficientes das equações, visando elevar os índices de desempenho (ZHANG et al., 2018).

TABELA 1. Estimativa do coeficiente de determinação ( $r^2$ ), raiz quadrada do erro médio, (RMSE), índice de concordância de Willmott (d) e índice de desempenho, (c) obtidos das correlações entre o método de Penman-Moiteith e os demais métodos avaliados

Método	$r^2$	RMSE	d	c	Desempenho
Camargo	0,3787	2,43	0,9995	0,759	Muito bom
Oudin	0,3784	2,01	0,9995	0,765	Muito bom
McCloud	0,2918	2,55	0,9996	0,683	Bom
Hargreaves-Samani	0,6526	1,55	0,9997	0,848	Muito bom
Jesen-Haise	0,6590	1,07	0,9999	0,850	Ótimo
Baier-Robertson	0,5690	2,07	0,9996	0,806	Muito bom
Penman-Monteith dados incompletos	0,7456	1,38	0,9998	0,892	Ótimo
Hamon	0,3791	3,53	0,9995	0,731	Bom
Turc	0,3614	3,59	0,9995	0,763	Muito bom
McGuinness-Bordne	0,3784	1,83	0,9997	0,758	Muito bom
Thorntwaite	0,3530	3,49	0,9995	0,693	Bom
Thorntwaite modificado	0,6307	2,62	0,9996	0,831	Muito bom

**CONCLUSÕES:** Os modelos empíricos que apresentaram melhores desempenhos para estimativa da evapotranspiração de referência para localidade de Planalto, PR foram os de Penman-Monteith com dados incompletos e Jesen-Haise.

**AGRADECIMENTOS:** À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e à Fundação Araucária pelo apoio financeiro.

#### REFERÊNCIAS:

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration : guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998.
- ALMOROX, J.; QUEJ, V. H.; MARTÍ, P. Global performance ranking of temperature-based approaches for evapotranspiration estimation considering Köppen climate classes. **Journal of Hydrology**, v. 528, n. September, p. 514–522, 2015.
- BAIER, W.; ROBERTSON, G. W. Estimation of latente evaporation from simple wether observations. **Canadian Jounal Plant Science**, v. 45, n. 2, p. 276–284, 1965.
- CAMARGO, A. P. **Balanço hídrico no Estado de São Paulo**. 3. ed. Campinas: Instituto

Agronômico, 1971.

CAMARGO, A. P.; MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C.; PICINI, A. G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e superúmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 2, p. 252–257, 1999.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89–97, 1997.

COMUNELLO, É.; PAULO, S. C.; FIETZ, C. R.; FLUMIGNAN, D. L.; CECCON, G. Avaliação de um conjunto lisimétrico na determinação da demanda hídrica de milho cultivado no outono-inverno. **Irriga**, v. 23, n. 2, p. 204–219, 2018.

CUNHA, F. F.; MAGALHÃES, F. F.; CASTRO, M. A. Método para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul - MS. **Engenharia na Agricultura**, v. 21, n. 2, p. 159–172, 2013.

DINPASHOH, Y.; JHAJHARIA, D.; FAKHERI-FARD, A.; SINGH, V. P.; KAHYA, E. Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. **Journal of Hydrology**, v. 399, n. February, p. 422–433, 2011.

HAMON, W. R. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of Hydraulics Division ASCE**, v. 87, n. 3, p. 107–120, 1961.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 1, n. 2, p. 96–99, 1985.

IRMAK, S.; ALLEN, R. G.; WHITTY, E. B. Daily grass and alfalfa-reference evapotranspiration estimates and alfalfa-to-grass evapotranspiration ratios in Florida. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 129, n. 5, p. 360–370, 2003.

JENSEN, M.; HAISE, H. Estimating Evapotranspiration from Solar Radiation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE**, v. 89, n. 14, p. 15–41, 1963.

LOUDIN, L.; HERVIEU, F.; MICHEL, C.; PERRIN, C.; ANDRÉASSIAN, V.; ANCTIL, F.; LOUMAGNE, C. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model? **Journal of Hydrology**, v. 303, n. 1–4, p. 290–306, 2005.

SHIRI, J. Modeling reference evapotranspiration in island environments: Assessing the practical implications. **Journal of Hydrology**, v. 570, n. December, p. 265–280, 2019.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **American Geographical Society**, v. 38, n. 1, p. 55–94, 1948.

TURC, L. Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle, formule climatique simplifiée et mise à jour. **Annales Agronomiques**, v. 12, n. 1, p. 13–49, 1961.

VALIANTZAS, J. D. Temperature-and humidity-based simplified Penman's ET<sub>0</sub> formulae. Comparisons with temperature-based Hargreaves-Samani and other methodologies. **Agricultural Water Management**, v. 208, n. February, p. 326–334, 2018.

XYSTRAKIS, F.; MATZARAKIS, A. Evaluation of 13 empirical reference potential evapotranspiration equations on the island of crete in southern Greece. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 137, n. 4, p. 211–222, 2011.

ZHANG, Q.; CUI, N.; FENG, Y.; GONG, D.; HU, X. Improvement of Makkink model for reference evapotranspiration estimation using temperature data in Northwest China. **Journal of Hydrology**, v. 566, n. 11, p. 264–273, 2018.