

## DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA UTILIZANDO PREVISÃO METEOROLÓGICA

José Luís Teixeira de Souza<sup>1</sup>, Marcelo Rossi Vicente<sup>2</sup>, Caio Vinicius Leite<sup>3</sup>, Patrícia de  
Oliveira e Lucas<sup>2</sup>

**RESUMO:** A previsão precisa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) é fundamental para quantificar a demanda hídrica da cultura e contribuir na tomada de decisão do gerenciamento dos sistemas de abastecimento de água. O presente trabalho objetivou avaliar a viabilidade do uso de dados meteorológicos, obtidos via serviço de previsão do tempo, para a previsão da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) para dois municípios do Norte de Minas Gerais, Salinas e Taiobeiras. Os métodos utilizados para a estimativa da  $ET_0$  foram o de Hargreaves (HG Prev) e o de Penman-Monteith com dados faltantes (PM Prev), em cinco intervalos de previsão após recebimento (1° dia; 1° e 2° dias; 1°, 2° e 3° dias; 1°, 2°, 3° e 4° dias e 1°, 2°, 3°, 4° e 5° dias). Utilizaram-se indicadores estatísticos para a validação do uso de dados da previsão para a estimativa de  $ET_0$ . Ambos os métodos, HG Prev e PM Prev mostraram-se inadequados para a estimativa da  $ET_0$  através de dados obtidos pela previsão meteorologia, independentemente do intervalo avaliado e da localidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hargreaves, Penman-Monteith Fao, Norte de Minas Gerais.

## DETERMINING REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION USING METEOROLOGICAL FORECAST

**ABSTRACT:** Accurate prediction of reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) is critical to quantifying crop water demand and contributes to decision-making in the management of water supply systems. The present work aimed to evaluate the feasibility of using meteorological data, obtained through the weather forecasting service, to forecast reference

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Florestal, Bolsista PIBIC CNPq, IFNMG – *Campus* Salinas, Salinas, MG.

<sup>2</sup> Professores, IFNMG – *Campus* Salinas, Fazenda Varginha Km 02 Rod. Salinas/Taiobeiras - Salinas/MG - CEP:39560-000, Salinas, MG.  
Fone: (38) 3841-7000. E-mail: marcelo.vicente@ifnmg.edu.br

<sup>3</sup> Professor, IFB - *Campus* Planaltina, Planaltina, DF.

evapotranspiration ( $ET_0$ ) for two municipalities of Northern Minas Gerais State, Salinas and Taiobeiras. The methods used to estimate  $ET_0$  were Hargreaves (HG Prev) and FAO Penman-Monteith with missing data (PM Prev) at five forecast intervals after receipt (1<sup>st</sup> day; 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> days; 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> days, 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup>; and 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup>, 4<sup>th</sup> and 5<sup>th</sup> days). Statistical indicators were used to validate the use of forecast data for  $ET_0$  estimation. Both methods, HG Prev and PM Prev were inadequate for the estimation of  $ET_0$  through meteorological forecast data, regardless of the evaluated range and location.

**KEYWORDS:** Hargreaves, Fao Penman-Monteith, Northern Minas Gerais

## INTRODUÇÃO

A previsão precisa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) é fundamental para quantificar a demanda hídrica da cultura e contribuí na tomada de decisão do gerenciamento dos sistemas de abastecimento de água.

O método completo de Penman-Monteith FAO (PEREIRA et al., 2015) demanda valores das variáveis climáticas: radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar. É comum a indisponibilidade de todas ou de parte destas variáveis, havendo a necessidade de recorrer a modelos que permitam trabalhar com menos variáveis climáticas, como foi apresentado em Vicente et al. (2015; 2018), onde foram encontrados resultados satisfatórios utilizando os métodos de Hargreaves e o método de Penman-Monteith FAO com dados faltantes para o Vale do Jequitinhonha.

Uma alternativa para a ausência de mensuração das variáveis no local é o uso de dados de previsão climática disponíveis ao público em geral. Através destes sistemas é possível proceder à previsão da  $ET_0$ , possibilitando aos irrigantes e gestores: o planejamento de bombeamento/irrigação para a otimização do uso da tarifa noturna de energia elétrica; o planejamento de alocação de água para canais públicos em perímetros irrigados; e a gestão de reservatórios de irrigação.

O presente trabalho objetivou avaliar a viabilidade do uso de dados meteorológicos, obtidos via serviço de previsão do tempo, para a estimativa da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) para dois municípios do Norte de Minas Gerais.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em duas localidades, Salinas e Taiobeiras, ambas do Norte do Estado de Minas Gerais. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima de Salinas é considerado As, clima tropical com estação seca de verão, e o clima de Taiobeiras é considerado como Cwa, caracterizando clima temperado húmido com inverno seco e verão quente (ALVAREZ et al., 2013).

O período de análise foi de fevereiro de 2017 a dezembro de 2018. Através de dados de previsão climática (temperatura máxima e mínima) obtidos via serviço de previsão climática fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), determinou-se a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) por meio dos métodos de Hargreaves (HG Prev.) e de Penman-Monteith-FAO com dados faltantes (PM-FAO Prev.). Compararam-se a  $ET_0$  obtida pelos métodos HG PREV e PM-FAO PREV com o modelo de Penman-Monteith – FAO (PM-FAO) utilizando dados das estações do INMET instaladas nos municípios.

Também procedeu a comparação dos métodos de Hargreaves (HG) e Penman-Monteith - FAO com dados faltantes (PM-FAO DF) utilizando os dados meteorológicos reais com o modelo Penman-Monteith – FAO (PM-FAO) para fins de validação do uso dos dados de previsão meteorológica.

As previsões meteorológicas eram recebidas via e-mail duas vezes por semana (quartas-feiras e aos sábados), cada uma com cinco dias subsequentes. Foram avaliados cinco intervalos de previsão (1° dia; 1° e 2° dias; 1°, 2° e 3° dias; 1°, 2°, 3° e 4° dias e 1°, 2°, 3°, 4° e 5° dias).

Os indicadores utilizados para a validação do uso de dados da previsão foram: o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ); o coeficiente de determinação ( $R^2$ ); a raiz do erro médio quadrático (RMSE); o índice de concordância ( $d$ ) de Willmott (1981); o erro relativo (RE); e o índice de confiança ( $c$ ) proposto por Camargo & Sentelhas (1997), conforme a Tabela 2.

**Tabela 1.** Classificação dos métodos de estimativa de  $ET_0$  pelo índice de desempenho, conforme Camargo & Sentelhas (1997)

Índice de desempenho (c)	Classificação
>0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
$\leq 0,40$	Péssimo

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na Tabela 2 e 3 os indicadores estatísticos utilizados na avaliação dos métodos de determinação de  $ET_0$  com dados de previsão meteorológica. Independentemente do período avaliado (1° dia; 1° e 2° dias; 1°, 2° e 3° dias; 1°, 2°, 3° e 4° dias e 1°, 2°, 3°, 4° e 5° dias), da localidade, dos métodos de estimativa e da utilização ou não dos dados de previsão meteorológica, os valores de  $ET_0$  foram superiores ao observado pelo método PM-FAO, demonstrando que os métodos superestimam a  $ET_0$ , como já haviam observado para o Norte de Minas Gerais (Alencar et al., 2015; Vicente et al., 2015; Vicente et al., 2018).

Os métodos, HG Prev e PM Prev, obtiveram índice de confiança (Camargo & Sentelhas, 1997) classificado como Péssimo. Quando os métodos HG e PM FAO DF foram avaliados, a classificação variou de Bom a Muito Bom, demonstrando que os dados oriundos de previsão meteorológica prejudicaram a estimativa de  $ET_0$ . Também observou piora em todos os índices estatístico de desempenho analisados.

Analisando os valores de RMSE no uso de dados de previsão, para ambas as localidades, o aumento do número de dias avaliados, proporcionou melhoria nos valores de RMSE, entretanto permanecendo acima dos métodos HG e PM FAO DF.

Segundo Stockle et al. (2004), o desempenho de um modelo é considerado bom quando  $RE \leq 0,20$  e  $d \geq 0,95$ , Cai et al. (2007) adicionam também que o b tende a 1,0 ( $1,0 \pm 0,10$ ) e  $R^2 > 0,80$ . Analisando os parâmetros citados por Stockle et al. (2004) e Cai et al. (2007), observou-se que os métodos HG Prev e PM Prev não atingiram os índices determinados pelos autores.

**Tabela 2.** Índices estatísticos de  $ET_0$  (mm d<sup>-1</sup>) calculados a partir dos dados de previsão do tempo e calculados com conjuntos de dados medidos, em Salinas – MG.

Método	$ET_0$ (mm d <sup>-1</sup> )	$ET_0$ PM-FAO (mm d <sup>-1</sup> )	RMSE (mm d <sup>-1</sup> )	d	r	c	R <sup>2</sup>	a	b	RE
1° Dia										
HG PREV	6,16	3,98	2,422	0,557	0,650	0,362 <sup>P</sup>	0,423	0,619	3,695	0,61
PM PREV	5,95		2,220	0,570	0,645	0,368 <sup>P</sup>	0,416	0,525	3,695	0,56
HG	4,78		1,024	0,853	0,872	0,744 <sup>B</sup>	0,761	0,841	1,427	0,26
PM-FAO DF	4,44		0,783	0,897	0,873	0,783 <sup>MB</sup>	0,762	0,765	1,398	0,20
1° e 2° Dias										
PREV	6,15	4,01	2,383	0,559	0,659	0,369 <sup>P</sup>	0,434	0,621	3,663	0,59
PM PREV	5,94		2,175	0,574	0,662	0,380 <sup>P</sup>	0,438	0,531	3,663	0,54
HG	4,82		1,044	0,848	0,869	0,736 <sup>B</sup>	0,755	0,834	1,481	0,26
PM-FAO DF	4,49		0,793	0,895	0,874	0,782 <sup>MB</sup>	0,763	0,761	1,436	0,20
1°, 2° e 3° Dias										
HG PREV	5,55	4,02	2,031	0,606	0,545	0,330 <sup>P</sup>	0,297	0,624	3,039	0,51
PM PREV	5,30		1,859	0,617	0,500	0,309 <sup>P</sup>	0,250	0,539	3,039	0,46
HG	4,83		1,028	0,851	0,877	0,747 <sup>B</sup>	0,770	0,841	1,452	0,26
PM-FAO DF	4,50		0,776	0,898	0,881	0,792 <sup>MB</sup>	0,777	0,764	1,426	0,19
1°, 2°, 3° e 4° Dias										
HG PREV	5,22	4,00	1,838	0,640	0,536	0,343 <sup>P</sup>	0,287	0,623	2,729	0,46
PM PREV	4,95		1,689	0,650	0,490	0,318 <sup>P</sup>	0,240	0,544	2,729	0,42
HG	4,81		1,026	0,853	0,877	0,748 <sup>B</sup>	0,769	0,832	1,476	0,26
PM-FAO DF	4,47		0,778	0,899	0,881	0,791 <sup>MB</sup>	0,776	0,757	1,443	0,19
1°, 2°, 3°, 4° e 5° Dias										
HG PREV	5,04	3,99	1,723	0,656	0,529	0,347 <sup>P</sup>	0,280	0,600	2,642	0,43
PM PREV	4,75		1,589	0,664	0,484	0,321 <sup>P</sup>	0,234	0,525	2,642	0,40
HG	4,80		1,026	0,854	0,879	0,751 <sup>MB</sup>	0,772	0,839	1,449	0,26
PM-FAO DF	4,46		0,777	0,901	0,883	0,795 <sup>MB</sup>	0,779	0,764	1,412	0,19

<sup>P</sup> – Péssimo; <sup>B</sup> – Bom; <sup>MB</sup> – Muito bom (Camargo & Sentelhas, 1997)

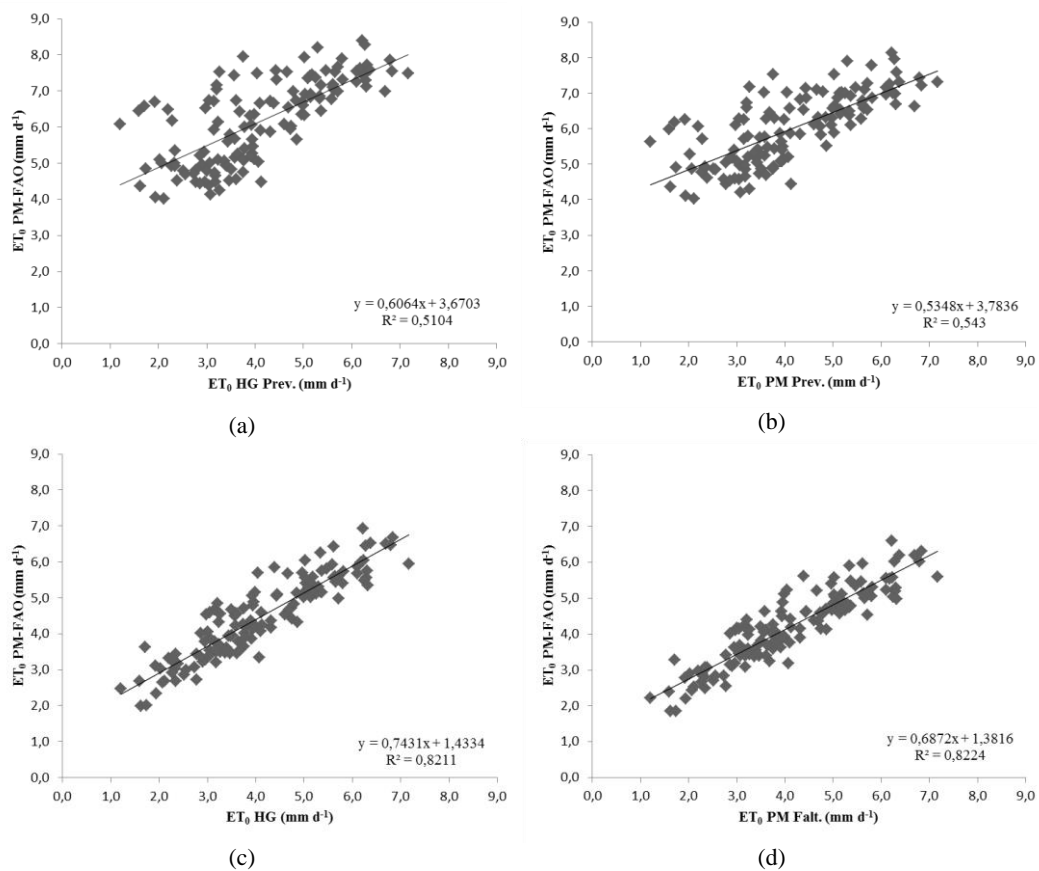
**Tabela 3.** Índices estatísticos de  $ET_0$  (mm d<sup>-1</sup>) calculados a partir dos dados de previsão do tempo e calculados com conjuntos de dados medidos, em Taiobeiras – MG.

Método	$ET_0$ (mm d <sup>-1</sup> )	$ET_0$ PM-FAO (mm d <sup>-1</sup> )	RMSE (mm d <sup>-1</sup> )	d	r	c	R <sup>2</sup>	a	b	RE (mm d <sup>-1</sup> )
1° Dia										
HG PREV	6,15	4,08	2,278	0,585	0,714	0,418 <sup>M</sup>	0,510	0,606	3,670	0,56
PM PREV	5,97		2,095	0,599	0,737	0,441 <sup>M</sup>	0,543	0,535	3,670	0,51
HG	4,47		0,700	0,920	0,906	0,833 <sup>MB</sup>	0,821	0,743	1,433	0,17
PM-FAO DF	4,19		0,615	0,931	0,907	0,844 <sup>MB</sup>	0,822	0,687	1,382	0,17
1° e 2° Dias										
HG PREV	6,12	4,12	2,230	0,585	0,703	0,411 <sup>M</sup>	0,494	0,612	3,607	0,54
PM PREV	5,94		2,040	0,600	0,723	0,434 <sup>M</sup>	0,523	0,539	3,607	0,50
HG	4,52		0,735	0,908	0,887	0,805 <sup>MB</sup>	0,787	0,741	1,467	0,18
PM-FAO DF	4,24		0,641	0,922	0,887	0,818 <sup>MB</sup>	0,787	0,685	1,420	0,16
1°, 2° e 3° Dias										
HG PREV	5,45	4,13	1,889	0,636	0,550	0,350 <sup>P</sup>	0,302	0,619	2,898	0,46
PM PREV	5,23		1,751	0,646	0,515	0,332 <sup>P</sup>	0,265	0,552	2,898	0,42
HG	4,53		0,730	0,909	0,892	0,811 <sup>MB</sup>	0,795	0,740	1,480	0,18
PM-FAO DF	4,25		0,637	0,923	0,892	0,823 <sup>MB</sup>	0,795	0,682	1,441	0,15
1°, 2°, 3° e 4° Dias										
HG PREV	5,11	4,12	1,703	0,672	0,541	0,363 <sup>P</sup>	0,292	0,620	2,554	0,41
PM PREV	4,87		1,595	0,678	0,504	0,342 <sup>P</sup>	0,254	0,557	2,554	0,39
HG	4,53		0,739	0,908	0,891	0,809 <sup>MB</sup>	0,793	0,730	1,520	0,18
PM-FAO DF	4,25		0,648	0,921	0,891	0,820 <sup>MB</sup>	0,793	0,674	1,474	0,16
1°, 2°, 3°, 4° e 5° Dias										
HG PREV	4,90	4,12	1,581	0,693	0,543	0,376 <sup>P</sup>	0,295	0,619	2,351	0,38
PM PREV	4,65		1,496	0,696	0,506	0,352 <sup>P</sup>	0,256	0,557	2,351	0,36
HG	4,52		0,734	0,909	0,892	0,810 <sup>MB</sup>	0,795	0,733	1,506	0,18
PM-FAO DF	4,25		0,644	0,922	0,891	0,821 <sup>MB</sup>	0,794	0,676	1,463	0,16

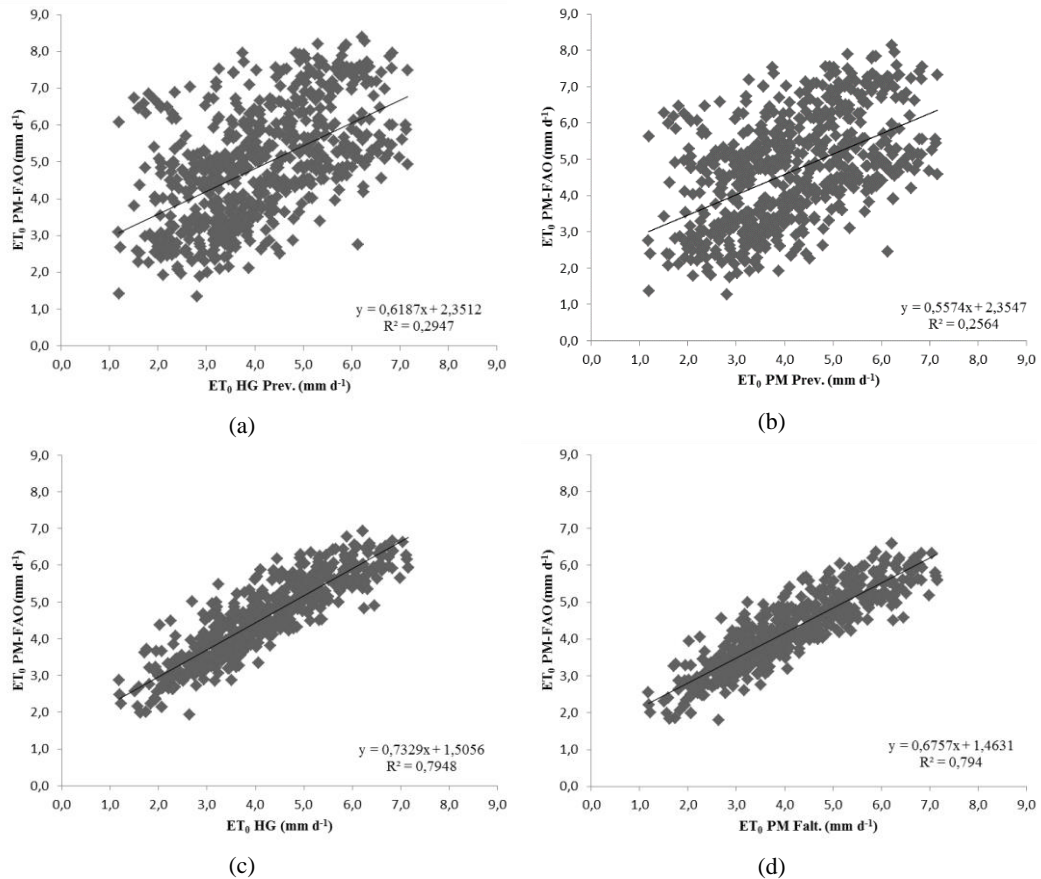
<sup>M</sup> – Mau; <sup>P</sup> – Péssimo; <sup>MB</sup> – Muito bom (Camargo & Sentelhas, 1997)

Os resultados apresentados nas Tabelas 2 e 3 contrapõe aos encontrados por Cai et al. (2007) e Cai et al. (2009), onde concluíram que a previsão diária de  $ET_0$  estimada através de um serviço público de mensagens de previsão do tempo na China, são adequadas ao gerenciamento da irrigação. Resultados semelhantes aos apresentados pelos autores acima foram encontrados por Yang et al. (2016) e Yang et al. (2019).

Observam-se, nas Figuras 1 e 2, os gráficos das análises de regressão dos valores estimados de  $ET_0$  pelos diferentes métodos analisados (HG-Prev. (a); PM Prev. (b); HG (c); e PM Falt. (d)) em relação aos valores estimados pelo método padrão Penman-Monteith FAO (PM-FAO), para Taiobeiras, em dois intervalos de previsão: 1º dia (Figura 1) e 1º, 2º, 3º, 4º e 5º dias (Figura 2). Independente do intervalo avaliado, os métodos de estimativa sem a utilização dos dados de previsão (HG e PM Falt.) apresentaram maiores coeficiente de determinação ( $R^2$ ) que os métodos de estimativa que utilizaram os dados de previsão (HG-Prev. e PM Prev), ou seja, um indicativo que os dados oriundos de previsão meteorológica prejudicaram a estimativa de  $ET_0$ .



**Figura 1.** Equações e coeficientes de determinação obtidos dos valores estimados de  $ET_0$  pelos diferentes métodos analisados em relação aos valores estimados pelo método padrão FAO Penman-Monteith (PM-FAO), no 1º dia de previsão, para Taiobeiras, MG. (a) HG-Prev. (b) PM Prev. (c) HG (d) PM Falt.



**Figura 2.** Equações e coeficientes de determinação obtidos dos valores estimados de  $ET_0$  pelos diferentes métodos analisados em relação aos valores estimados pelo método padrão FAO Penman-Monteith (PM-FAO), nos 1°, 2°, 3°, 4° e 5° dias de previsão, para Taiobeiras, MG. (a) HG-Prev. (b) PM Prev. (c) HG (d) PM Falt.

## CONCLUSÕES

Diante do observado, concluiu-se que o uso do serviço de previsão meteorológica testado não é adequado à estimativa da evapotranspiração de referência, utilizando os métodos de Hargreaves e Penman-Monteith FAO com dados faltantes, para Salinas – MG e Taiobeiras – MG. Há necessidade de continuidade nos estudos, com outras localidades, métodos de estimativa e outros serviços gratuitos de previsão meteorológica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, L. P. DE; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub> padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 1, p. 39-50, 2015 .

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, 1998. (FAO Irrigation and Drainage Paper n. 56.)

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013

CAI, J. B.; LIU, Y.; XU, D.; PAREDES, P.; PEREIRA, L. S. Simulation of the soil water balance of wheat using daily weather forecast messages to estimate the reference evapotranspiration. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 13, n. 7, p.1045-1059, 2009.

CAI, J.; LIU, Y.; LEI, T.; PEREIRA, L. S. Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman–Monteith equation using daily weather forecast messages. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 145, p.22–35, 2007.

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.

PEREIRA, L. S., ALLEN, R. G., SMITH, M., RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**, v.147, p. 4-20, 2015.

STOCKLE, C.O.; KJELGAARD, J.; BELLOCCHI, G. Evaluation of estimated weather data for calculating Penman–Monteith reference evapotranspiration. *Irrigation Science*, v. 23, p.39–46, 2004.

VICENTE, M. R.; LEITE, C. V. SANTOS, R. M. LUCAS, P. O.; DIAS, S. H. B.; SANTOS, J. A.. Evapotranspiração de referência utilizando o método fao penman-monteith com dados faltantes. **Global Science and Technology**, v. 11, n. 3, 2018.



VICENTE, M. R.; SANTOS, J. A.; SANTOS, R. M.; LEITE, C. V. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o Vale do Jequitinhonha. **Global Science and Technology**, v. 07, n. 02, 2014. p.106 – 118.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v. 2, p. 184–194, 1981.

YANG, Y.; CUI, Y.; BAI, K.; LUO, T.; DAI, J.; WANG, W.; LUO, Y. Short-term forecasting of daily reference evapotranspiration using the reduced-set Penman-Monteith model and public weather forecasts. **Agricultural Water Management**, v. 211, p. 70–80, 2019.

YANG, Y.; CUI, Y.; LUO, Y.; LYU, X.; TRAORE, S.; KHAN, S.; WANG, W. Short-term forecasting of daily reference evapotranspiration using the Penman-Monteith model and public weather forecasts. **Agricultural Water Management**, v.177, p.329–339, 2016.