

MODELOS PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA**MÁRCIO JOSÉ DE SANTANA¹; JOÃO LUIZ OLIVEIRA DE TOLEDO² E ANDRÉ LUIS TEIXEIRA FERNANDES³**

¹Prof. Dr. Irrigação e Drenagem, IFTM Campus Uberaba, Rua João Batista Ribeiro, 4000, Uberaba, MG, bolsista PET MEC; marciosantana@iftm.edu.br; ORCID (<https://orcid.org/0000-0003-1985-6880>)

²Eng. Agrônomo, Mestre em Produção Vegetal IFTM Uberaba, joao.toledo@estudante.iftm.edu.br; ORCID (<https://orcid.org/0000-0001-7863-3682>)

³Prof. Dr. Irrigação e Drenagem, UNIUBE, Uberaba, MG, andre.fernandes@uniube.com.br; ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-2727-3477>)

1 RESUMO

A estimativa da evapotranspiração de referência pode ocorrer pelo método de Penman-Monteith recomendado pelo Boletim 56 da FAO. Entretanto, esse modelo matemático demanda variáveis meteorológicas completas que não estão disponíveis em muitas regiões. O presente trabalho teve como objetivo verificar a performance dos modelos de estimativa de ETo: Hargreaves-Samani (HS), Thornthwaite (TH), Thornthwaite e Camargo (TC), Camargo (CO), Priestley-Taylor (PT), Blaney-Criddle (BC), Makink (MK), Linacre (LN), Radiação Solar (RS) e Jensen-Haise (JH) para o cálculo da evapotranspiração de referência nas regiões de Buritis-MG e São Desidério-BA. Foram avaliados os coeficientes de determinação (R^2), correlação (r), exatidão (d) e desempenho (c), bem como os Erros médio aleatório (EMA), máximo (EM), aleatório (E_a) e sistêmico (E_s) para análise das performances dos métodos utilizados. Para as duas regiões, a metodologia de Priestley-Taylor apresentou o melhor desempenho, bem como uma superestimativa de ETo média anual de 6 e 7% para as cidades de Buritis – MG e São Desidério – BA, respectivamente.

Palavras-chave: modelos de estimativa, irrigação, Penman-Monteith

**SANTANA, M. J.; TOLEDO J. L.O. de E FERNANDES A. L. T.
MODELS FOR ESTIMATING REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION**

2 ABSTRACT

The Penman–Monteith methodology is presented in the FAO Bulletin 56 as the standard equation because it requires a range of information related to the climate to determine the reference evapotranspiration (ETo); however, for regions with a lack of information, other methods can be applied, present as alternatives to estimate ETo. The present work aimed to verify the performance of the ETo estimation models Hargreaves-Samani (HS), Thornthwaite (TH), Thornthwaite and Camargo (TC), Camargo (CO), Priestley-Taylor (PT), Blaney-Criddle (BC), Makink (MK), Linacre (LN), Solar Radiation (RS) and Jensen-Haise (JH) for the calculation of reference evapotranspiration in the regions of Buritis-MG and São Desidério-BA. The index of determination (R^2), correlation (r), accuracy (d) and performance (c) were

evaluated, as were the mean random (EMA), maximum (EM), random (Ea) and systemic (Es) errors for performance analysis of the methods used. For both regions, the Priestley–Taylor methodology showed the best performance, as well as an overestimation of the average annual ETo of 6 and 7% for the cities of Buritis - MG and São Desidério - BA, respectively.

Keywords: Estimation models, irrigation, Penman-Monteith.

3 INTRODUÇÃO

Quando bem conduzida, a irrigação se apresenta como sendo uma prática que traz benefícios à agricultura, condicionando as culturas à altas produtividades (Campos *et al.*, 2014). Sendo a análise da evapotranspiração diária da cultura de suma importância para verificação da demanda hídrica do sistema para a adoção de um manejo sustentável.

De acordo com Fanaya Júnior *et al.* (2012), a aplicação do método padrão FAO para determinação da evapotranspiração pode não ser verificado em algumas situações, pelo fato de estações meteorológicas não apresentarem os equipamentos necessários para aferição dos dados de clima, bem como na falha do registro dos dados ou pelo mal funcionamento dos sensores. Os autores ainda apontam que estações com maior aporte tecnológico, estabelecem maior dificuldade para aquisição, devido ao seu valor de mercado, cominando para uma inviabilização no investimento deste equipamento, principalmente, para a situação de pequenos produtores.

Doria *et al.* (2015) ressalta que a evapotranspiração é de suma importância para verificação da demanda hídrica de uma cultura, sendo um elemento de suma importância para que haja o uso racional da água em um sistema de produção irrigado.

As metodologias para verificação da evapotranspiração de uma determinada região pode ser avaliada de forma direta ou indireta. Os métodos diretos envolvem o uso de lisímetros e metodologias de controle de umidade do solo e entrada e saída,

metodologias que se destacam pela aplicabilidade, contudo, apresentam alto custo de investimento. Já para os modelos indiretos, destacam-se os evaporímetros (tanque classe A, atmômetros) e equações desenvolvidas para atuar em um contexto geral e outras aferidas para determinadas regiões (Bernardo *et al.*, 2019).

Em relação à utilização de formas indiretas para cálculo da evapotranspiração de referência, a Food and Agriculture Organization (FAO - ONU) aponta a metodologia aplicada por Penman-Monteith como a equação padrão para cálculo da evapotranspiração de referência de diversas regiões, devido à utilização de uma grande quantidade de dados, demonstrando superioridade, na maioria dos casos, em relação às demais equações empíricas (Alencar; Sediya; Mantovani, 2015).

Objetivou-se com o presente trabalho, verificar a performance de metodologias para cálculo de evapotranspiração de duas regiões do cerrado brasileiro (Buritis-MG e São Desidério-BA).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram coletados no banco de dados da estação meteorológica automática situada no município de Buritis – MG e outra em São Desidério – BA.

A estação meteorológica automática situada no município de Buritis - MG, localizada nas coordenadas 15°49'21,43"S e 46°30'55,39"O e altitude 935m ao nível do mar. Este equipamento apresenta os instrumentos para coleta de dados diários de

temperatura máxima, média e mínima (°C), umidade relativa do ar média (%), velocidade do vento (m s^{-1}), radiação solar (W m^2), e precipitação (mm).

Os dados trabalhados para a região de São Desidério foram coletados por meio do histórico climático da estação meteorológica automática localizada nas coordenadas $12^{\circ}45'15''\text{S}$ e $45^{\circ}15'07''\text{O}$ e altitude 750m ao nível do mar. A estação apresenta instrumentos para coleta de dados diários de temperatura máxima, média e mínima (°C), umidade relativa do ar média

(%), velocidade do vento (m s^{-1}), radiação solar (W m^2), e precipitação (mm).

Os dados são da Empresa Irriger e o período de série temporal selecionado foi de 2010 a 2019.

Os métodos utilizados para obtenção da evapotranspiração (mm dia^{-1}) foram Penman-Monteith (PM), Hargreaves-Samani (HS), Blaney-Criddle (BC), Thornthwaite (TH), Thornthwaite-Camargo (TC), Camargo (CO), Priestley-Taylor (PT), Linacre (LN), Makink (MK), Jensen-Haise (JH) e Radiação Solar (RS), conforme exposto na Tabela 1.

Tabela 1. Metodologias propostas para estimativa de evapotranspiração de referência para os municípios de Burits, MG, e São Desidério, BA.

Metodologia	Equação
	ET_0PM
Penman-Monteith (PM)	$= \frac{0,408\Delta \times (R_n - G) + y \times \left(\frac{900}{T + 273}\right) \times \mu_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + y(1 + 0,34\mu_2)}$
Hargreaves-Samani (HS)	$ET_0HS = 0,0023 \times R_a \times (T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})^{0,5} \times (T_{\text{méd}} + 17,8)$
Blaney-Criddle (BC)	$ET_0BC = a + b \times [f \times (0,46 \times T_{\text{méd}} + 8,13)]$
Thornthwaite (TH)	$ET_0TH = \left(\frac{ET_p}{30}\right) \times \left(\frac{N}{12}\right)$
Thornthwaite-Camargo (TC)	$ET_0TC = 16 \times \left(10 \times \left(\frac{T_{ef}}{I}\right)^\alpha \times \left(\frac{N}{12}\right) \times \left(\frac{1}{30}\right)\right)$
Camargo (CO)	$ET_0CO = 0,01 \times R_a \times T_{\text{méd}} \times K$
Priestley-Taylor (PT)	$ET_0PT = \frac{\alpha \times W \times (R_n - G)}{\lambda}$
Linacre (LN)	$ET_0LN = \frac{J(T_m + 0,006h)}{100 - \varphi } + 15 \times (T_m + T_0)$
Makkink (MK)	$ET_0MK = 0,61 \times WS_r - 0,12$
Radiação Solar (RS)	$ET_0RS = c_0 + c_1 \times W \times S_r$
Jensen-Haise (JH)	$ET_0JH = S_r \times (0,0252 \times T_m + 0,078)$

Em que: ET_0 = Evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); R_n = Radiação líquida à superfície da cultura ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); G = Densidade do fluxo de calor do solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); T = Temperatura do ar a 2m de altura (°C); μ_2 = Velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}); e_s = Pressão de vapor de saturação (kPa); e_a = Pressão atual de vapor (kPa); $e_s - e_a$ = Déficit de pressão de vapor

de saturação (kPa); Δ = Declividade da curva de pressão de vapor de saturação x temperatura ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); Γ = Constante de psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_a = Radiação no topo da Atmosfera (MJ m^{-2}); $T_{\text{máx}}$ = Temperatura máxima (°C); $T_{\text{méd}}$ = Temperatura média (°C); $T_{\text{mín}}$ = Temperatura mínima (°C); a e b = Fatores

de ajuste conforme Doorenbos e Pruitt (1975); f = Percentual de horas de luz solar, conforme descrito por Doorenbos e Pruitt (1975); ET_o TH = Evapotranspiração de referência ($mm\ dia^{-1}$); ET_p = Evapotranspiração potencial para um mês de 30 dias; N = Fotoperíodo (h); T_{ef} = Temperatura Efetiva ($^{\circ}C$); $T_{máx}$ = Temperatura máxima ($^{\circ}C$); $T_{mín}$ = Temperatura mínima ($^{\circ}C$); ET_oCO = Evapotranspiração de referência ($mm\ dia^{-1}$); K = Fator de ajuste em função da temperatura; $J = 500$ (Constante da fórmula considerando albedo = 0.25); $|\varphi|$ = Latitude em graus ($^{\circ}$); T_o = Temperatura média mensal ($^{\circ}C$); R = Diferença entre as temperaturas mais quente e mais fria do mês ($^{\circ}C$); h = Altitude (m); ET_oPT = Evapotranspiração de referência ($mm\ dia^{-1}$); λ = Calor Latente de Evaporação ($2,45\ MJ\ Kg^{-1}$); W = Valor de ponderação; γ =

Constante psicrométrica (γ) para diferentes altitudes; Δ = declividade da curva de pressão vapor (Δ) para diferentes temperaturas; W = Valor de ponderação; S_r = Radiação solar global ($mm\ dia^{-1}$); $C_o = -0,3\ mm\ d^{-1}$ (Constante da fórmula); RH = Umidade relativa do ar (%).

Com o intuito de verificar o desempenho das metodologias comparadas à equação padrão, foram realizadas avaliações dos coeficientes de ajustes das equações lineares para verificação da precisão das estimativas, por meio coeficiente de determinação R^2 , do índice de correlação “r”, índice de exatidão “d” aplicado por Willmont, Ackleson e Davis (1985) em que os valores cuja variação está entre 0 (nenhuma concordância) a 1 (concordância perfeita), e o índice de desempenho “c” descrito em Camargo e Sentelhas (1997).

Tabela 2. Escala de classificação do coeficiente de desempenho (c).

Coeficiente de desempenho	Desempenho
> 0,85	Ótimo (O)
0,76 - 0,85	Muito bom (MB)
0,66 - 0,75	Bom (B)
0,61 - 0,65	Mediano (Me)
0,51 - 0,60	Tolerável (T)
0,41 - 0,50	Mau (M)
$\leq 0,40$	Péssimo (P)

Para quantificação de erros, foi verificado o erro médio absoluto (EMA), erro máximo (EM), erro aleatório (Ea) e erro sistemático (Es), apresentados nas equações 1 a 5, respectivamente.

$$EMA = \left(\frac{1}{N}\right) \times \sum_i^n (P_i - O_i)^2 \quad (1)$$

$$EM = \max(|O_i - P_i|)_1^n \quad (2)$$

$$Ea = \left(\frac{1}{N}\right) \times \sum_i^n (P_i - P^*)^2 \quad (3)$$

$$Es = \left(\frac{1}{N}\right) \times \sum_i^n (P^* - O_i)^2 \quad (4)$$

Em que:

N = Número de estimativas

$$P^* = a + bO_i \quad (5)$$

“a” e “b” estimado pelo método dos mínimos quadrados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nota-se pela Figura 1 que é possível notar que, para a cidade de Buritis, a equação de Prestley-Taylor demonstrou melhor

coeficiente de determinação, com valor de 0,9368, seguido pelas metodologias de Camargo ($R^2 = 0,9262$), Radiação Solar ($R^2 = 0,9213$) e Makink ($R^2 = 0,9100$). Já as equações de Thornthwaite e Linacre não apresentaram bons coeficientes, com índices de $R^2 = 0,2974$ e $R^2 = 0,4685$ respectivamente. Vale salientar que, para ambas as regiões, devem ser avaliados os coeficientes de exatidão, correlação e desempenho, a partir da análise diária dos valores de evapotranspiração de referência obtidos durante o período de 2010 a 2019 pelas equações empíricas utilizadas, conforme apresentado nas Tabelas 03 e 04. Nota-se, pelos valores obtidos para os coeficientes r , d e c , que para as duas regiões, as metodologias de Thornthwaite (TH), Camargo (CO) e Linacre (LN), apresentaram classificação de desempenho como mau ou péssimo. Esta análise destoa da observação feita por Sypereck et al.

(2008), que verificaram bom desempenho para as metodologias de Camargo e Thornthwaite em um estudo de análise de equações empíricas para cálculo da ETo na cidade de Palotina, PR. O mesmo foi verificado por Borges e Mediondo (2007), que concluíram que os métodos de Thornthwaite (TH) e Camargo (CO), apresentam altos índices de confiabilidade para regiões com temperaturas positivas.

Silva et al. (2005) apontam que na falta de dados de velocidade do vento e insolação, pode-se utilizar a equação de Hargreaves e Samani (HS) para regiões mais quentes. Nota-se que, esta metodologia apresenta bom índice de exatidão e correlação apresentando bom desempenho para Buritis, porém, para o município de São Desidério, os valores de “ d ” e “ r ” foram menores, bem como o seu desempenho, se classificando como tolerável.

Tabela 3. Valores dos índices de exatidão (d), correlação (r) e desempenho (c) obtidos pelas equações empíricas para as regiões de Buritis – MG.

Metodologia	Buritis - MG			
	d	r	c	Desempenho
PM	1	1	1	O
HS	0,84	0,85	0,72	B
TH	0,59	0,55	0,32	P
TC	0,87	0,78	0,67	B
CO	0,54	0,96	0,52	T
PT	0,96	0,94	0,91	O
BC	0,57	0,65	0,37	P
MK	0,94	0,95	0,89	O
LN	0,65	0,68	0,44	M
RS	0,91	0,96	0,87	O
JH	0,82	0,97	0,79	MB

Tabela 4. Valores dos índices de exatidão (d), correlação (r) e desempenho (c) obtidos pelas equações empíricas para as regiões de São Desidério – BA.

Metodologia	São Desidério - BA			
	d	r	c	Desempenho
PM	1	1	1	O
HS	0,71	0,75	0,53	T
TH	0,6	0,51	0,3	P
TC	0,75	0,72	0,53	T
CO	0,49	0,94	0,46	M
PT	0,95	0,93	0,88	O
BC	0,52	0,6	0,31	P
MK	0,92	0,92	0,84	O
LN	0,62	0,67	0,42	M
RS	0,79	0,91	0,72	B
JH	0,67	0,94	0,63	Me

Tabela 5. Evapotranspiração de referência anual (mm) obtida através dos modelos de estimativa de ETo no período de 2010 a 2019 para a região de Buritis, MG.

ANO	PM	HS	TH	TC	CO	PT	BC	MK	LN	RS	JH
2010	1.404	1.573	1.034	1.384	627	1.441	969	1.222	1.721	1.659	1.799
2011	1.340	1.511	983	1.306	585	1.367	953	1.153	1.563	1.556	1.686
2012	1.396	1.572	1.038	1.369	622	1.427	980	1.203	1.674	1.640	1.787
2013	1.269	1.538	1.010	1.343	583	1.365	967	1.138	1.559	1.488	1.679
2014	1.338	1.583	1.010	1.385	621	1.439	965	1.215	1.692	1.617	1.786
2015	1.375	1.647	1.089	1.458	647	1.470	998	1.228	1.802	1.654	1.852
2016	1.331	1.611	1.068	1.459	633	1.443	995	1.210	1.749	1.596	1.812
2017	1.259	1.578	1.032	1.379	584	1.357	975	1.127	1.729	1.492	1.677
2018	1.224	1.547	1.017	1.361	580	1.363	968	1.129	1.613	1.445	1.669
2019	1.285	1.633	1.072	1.460	605	1.402	992	1.151	1.794	1.504	1.734
Média	1.322	1.579	1.035	1.390	609	1.408	976	1.178	1.690	1.565	1.748

PM = Penman-Monteith; HS = Hargreaves e Samani; TH = Thornthwaite; TC = Thornthwaite-Camargo; CO = Camargo; PT = Priestley-Taylor; BC = Blaney-Criddle; MK = Makink; LN = Linacre; RS = Radiação Solar; JH = Jensen-Haise.

Figura 1. Análise de Regressão Linear entre os valores diários de ETo estimados pelo método padrão Penman-Monteith (PM) para a região de Buritis - MG, durante o período de 2010 a 2019.

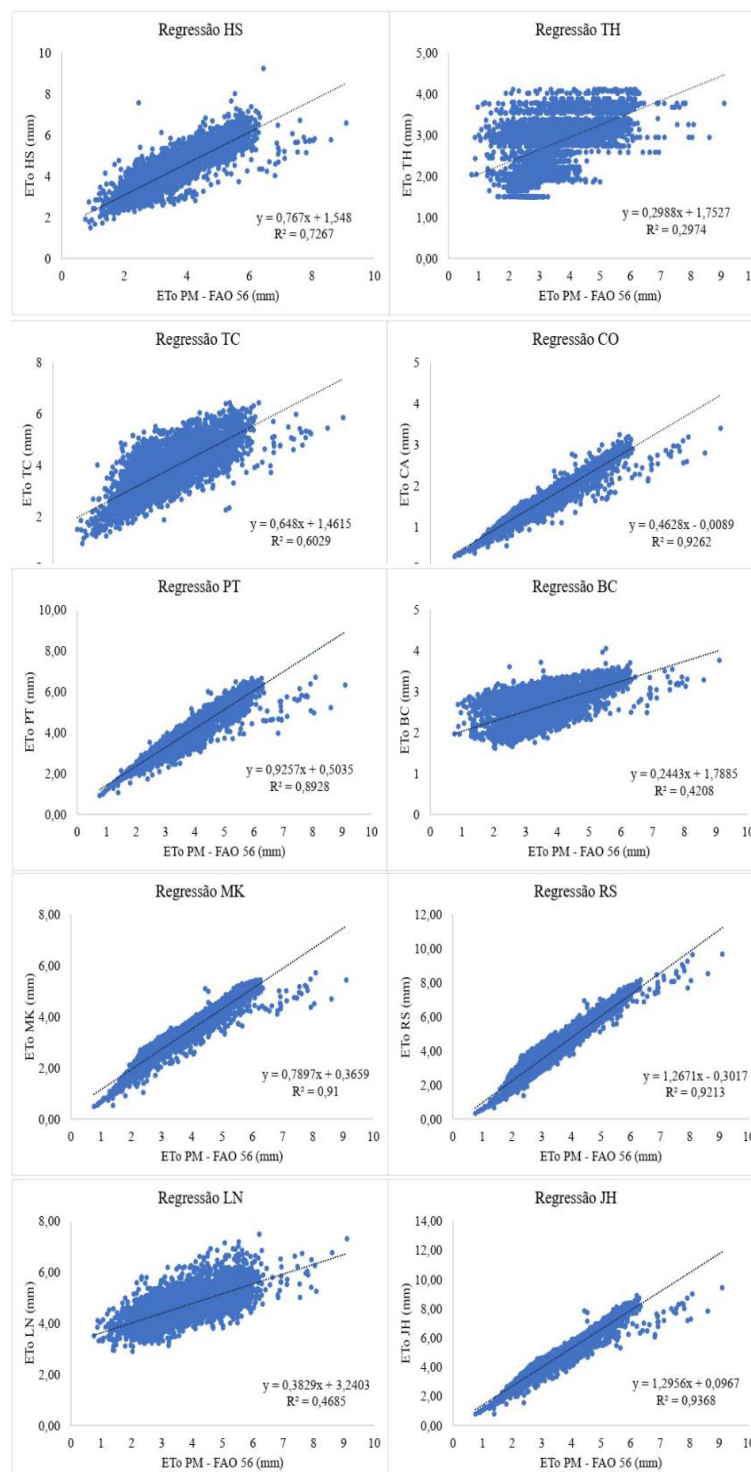
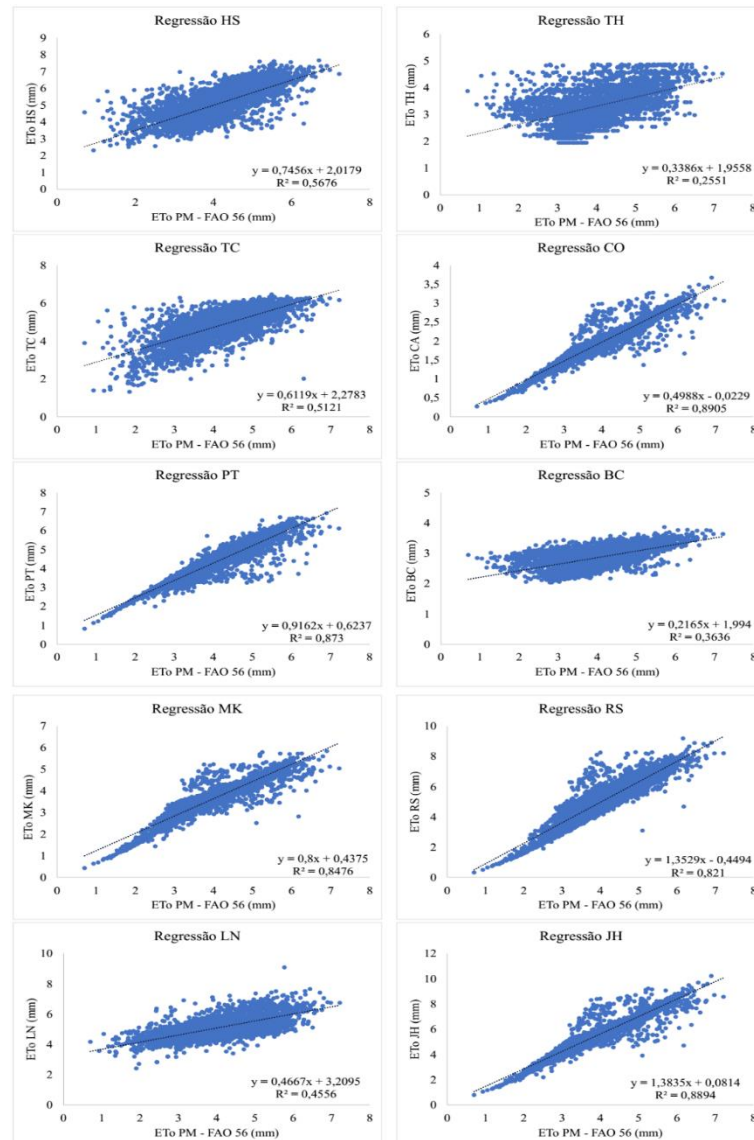


Figura 2. Análise de Regressão Linear entre os valores diários de ETo estimados pelo método padrão Penman-Monteith (PM) para a região de São Desidério – BA, durante o período de 2010 a 2019

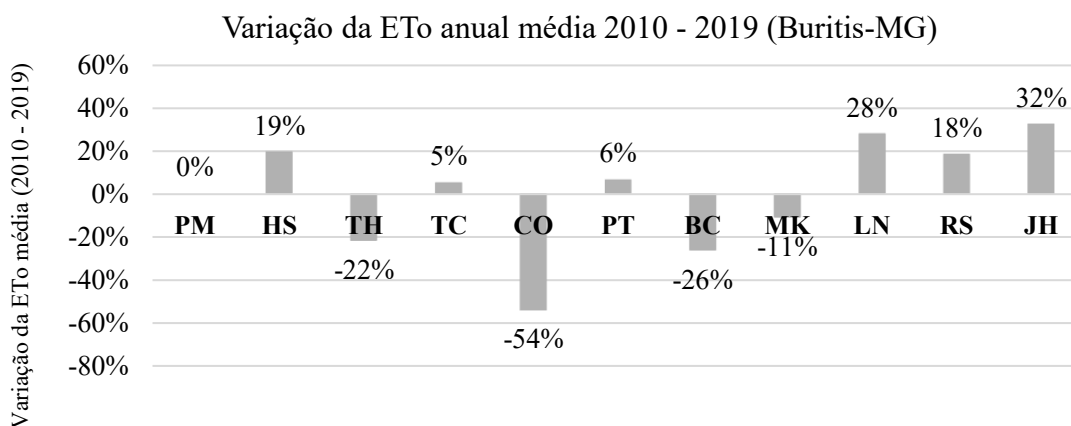


De posse dos valores de ETo acumulados anualmente, foi calculada a média anual de evapotranspiração de referência para o período estudado, gerando análises de subestimativas e superestimativas para as duas regiões a partir da diferença entre o valor obtido pela metodologia padrão (PM) e as demais equações avaliadas. Tais estimativas estão dispostas nas Tabelas 5 e 6 e Figuras 3 e 4.

Avaliando a média dos anos para a região de Buritis, é possível verificar que os

modelos propostos por Jensen-Haise (JH) e Linacre (LN) superestimaram a ETo em 32 e 28% respectivamente, já a equação de Camargo subestimou em 54%, seguida por Blaney-Criddle em 26%. Ainda nos dados referente à média de dez anos, nota-se que a equação proposta por Thornthwaite-Camargo e Priestley-Taylor apresentam a menor variação, superestimando a ETo em 5 e 6%, respectivamente.

Figura 3. Subestimativas e superestimativas da média anual de ETo para os anos de 2010 a 2019 na região de Buritis/MG.



PM = Penman-Monteith; HS = Hargreaves e Samani; TH = Thornthwaite; TC = Thornthwaite-Camargo; CO = Camargo; PT = Priestley-Taylor; BC = Blaney-Criddle; MK = Makink; LN = Linacre; RS = Radiação Solar; JH = Jensen-Haise.

Verifica-se que assim como para Buritis, a equação de Jensen-Haise superestimou em maior proporção o valor médio de ETo para o município de São Desidério quando comparada à equação de PM. O modelo de Camargo apresentou

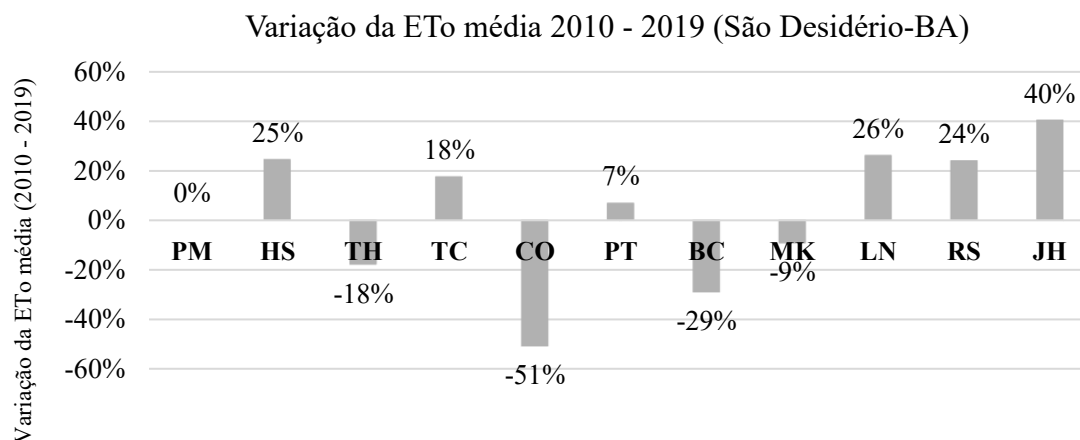
maior subestimativa de ETo. A equação de Priestley-Taylor foi a que mais se aproximou da metodologia padrão, superestimando em 7%, seguida pela metodologia de Makink, que subestimou a média de acumulado anual de evapotranspiração em -9%.

Tabela 6. Evapotranspiração de referência anual (mm) obtida através dos modelos de estimativa de ETo no período de 2010 a 2019 para a região de São Desidério, BA.

ANO	PH	HS	TH	TC	CO	PT	BC	MK	LN	RS	JH
2010	1.413	1.826	1.139	1.734	702	1.561	1.023	1.321	1.838	1.751	2.006
2011	1.349	1.787	1.083	1.677	666	1.500	1.002	1.270	1.693	1.660	1.907
2012	1.593	1.855	1.210	1.760	735	1.579	1.051	1.357	1.871	1.941	2.095
2013	1.417	1.783	1.173	1.682	700	1.540	1.035	1.295	1.759	1.760	1.994
2014	1.489	1.830	1.208	1.731	741	1.604	1.047	1.367	1.874	1.859	2.109
2015	1.511	1.924	1.276	1.804	754	1.615	1.066	1.369	1.983	1.891	2.140
2016	1.519	1.902	1.345	1.820	790	1.654	1.091	1.413	1.897	1.966	2.236
2017	1.515	1.808	1.270	1.678	781	1.650	1.066	1.421	1.929	1.975	2.218
2018	1.406	1.756	1.166	1.637	687	1.526	1.032	1.280	1.772	1.700	1.960
2019	1.537	1.895	1.265	1.821	717	1.563	1.063	1.304	1.988	1.810	2.038
Média	1.475	1.837	1.214	1.735	727	1.579	1.048	1.340	1.860	1.831	2.070

PM = Penman-Monteith; HS = Hargreaves e Samani; TH = Thornthwaite; TC = Thornthwaite-Camargo; CO = Camargo; PT = Priestley-Taylor; BC = Blaney-Criddle; MK = Makink; LN = Linacre; RS = Radiação Solar; JH = Jensen-Haise

Figura 4. Subestimativas e superestimativas da média anual de ETo para os anos de 2010 a 2019 na região de São Desidério/BA.



PM = Penman-Monteith; HS = Hargreaves e Samani; TH = Thornthwaite; TC = Thornthwaite-Camargo; CO = Camargo; PT = Priestley-Taylor; BC = Blaney-Cridle; MK = Makink; LN = Linacre; RS = Radiação Solar; JH = Jensen-Haise.

A metodologia de Hargreaves e Samani superestimou a ETo em 25% para o município de São Desidério, e 18% para Buritis. Comparando metodologias de estimativa de evapotranspiração. Oliveira et al. (2005) verificaram que a equação de HS superestimou a ETo em 24,5% quando comparada à equação de PM para a região do cerrado goiano, no município de Santo Antônio de Goiás no estado de Goiás.

Quanto às metodologias de Thornthwaite e Makink, ambas subestimaram a ETo para as duas regiões. O mesmo foi verificado por Barreto, Webdkabdm e Marcuzzo (2009), avaliando o desempenho de equações empíricas para estimativa do acumulado anual de evapotranspiração de referência para o ano

de 2005 no município de Brotas, estado de São Paulo. Para Passos, Raposo e Mendes (2017) as metodologias que se baseiam em temperatura do ar, para cálculo da estimativa de ETo, tendem a apresentar valores superestimados em regiões de climas úmidos.

A partir da análise da equação de regressão linear, foi avaliado o coeficiente de determinação (R^2) em escala diária durante o período de 2010 a 2019 para as metodologias utilizadas para estimativa de evapotranspiração de referência, em relação à equação padrão Penman-Monteith.

Na Tabela 7 estão os valores dos erros encontrados nos municípios para os diferentes modelos.

Tabela 7. Avaliação de erros para estimativa diária de ETo (mm dia⁻¹) para os municípios de Buritis e São Desidério.

Metodologia	Buritis - MG				São Desidério - BA			
	EMA	EM	Ea	Es	EMA	EM	Ea	Es
Penman-Monteith	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hargreaves-Samani	-0,70	5,12	0,31	0,57	-0,99	4,55	0,42	1,04
Thornthwaite	0,79	5,66	0,29	1,30	0,72	3,53	0,33	0,94
Thornthwaite-Camargo	-0,19	3,25	0,39	0,21	-0,71	4,33	0,35	0,65
Camargo	1,95	5,82	0,02	4,22	2,05	4,51	0,03	4,44
Prestley-Taylor	-0,23	3,39	0,14	0,06	-0,29	2,46	0,12	0,09
Blaney-Cridle	0,95	5,33	0,11	1,69	1,17	3,59	0,08	1,98
Makink	0,40	5,33	0,09	0,22	0,37	3,59	0,11	0,18
Linacre	-1,01	3,48	0,23	1,54	-1,06	3,93	0,26	1,40
Radiação Solar	-0,67	2,51	0,19	0,54	-0,98	4,25	0,39	1,08
Jensen-Haize	-1,17	3,41	0,16	1,48	-1,63	4,55	0,23	2,80

Além de apresentar os coeficientes de exatidão mais baixos e a maior discrepância de subestimativa de evapotranspiração média anual quando comparada ao método padrão para as duas regiões avaliadas, a metodologia de Camargo (CO) apresentou os maiores erros médio absoluto e sistêmico para as duas cidades e o maior erro máximo para a Buritis, MG, conforme apresentado na Tabela 13. Nota-se que, para a região de São Desidério, o método de Hargreaves Samani apresentou o maior erro máximo e erro aleatório, enquanto a equação de Thornthwaite e Camargo (TC) obteve o maior erro aleatório para a região de Buritis.

6 CONCLUSÕES

Para a cidade de Buritis, a equação de Priestley-Taylor apresentou a melhor performance dentre os demais métodos, contudo, as metodologias de Makink, Radiação Solar, Jensen-Haise, Thornthwaite e Camargo, Hargreaves e Samani se dispõem como alternativa para o cálculo da estimativa de ETo, por demonstrarem bons resultados para os índices de exatidão, correlação e desempenho. A metodologia de Priestley-Taylor apresentou o melhor

desempenho para a região de São Desidério, BA, seguida pelas equações de Makink e Radiação Solar, se apontado como opção de uso para cálculo da ETo na região.

7 REFERÊNCIA

- ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimativa da evapotranspiração de referência (ETo Padrão FAO), para Minas Gerais, na ausência de alguns dados climáticos. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, jan./fev. 2015.
- BARRETO, C. E. A. G.; WEBDKABDM, E.; MARCUZZO, F. F. N. Estimativa da evapotranspiração a partir da variação de nível estático de aquífero. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 52-61, 2009.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. 9. ed. Viçosa: UFV, 2019.
- BORGES, A. C.; MEDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 293-300, 2007.

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

CAMPOS, P. F.; ALVES JÚNIOR, J.; CASAROLI, D.; FONTOURA, P. R.; EVANGELISTA, A. W. P. Variedades de cana-de-açúcar submetidas à irrigação suplementar no cerrado goiano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 6, p. 1139-1149, nov./dez. 2014.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water Requirements**. Roma: FAO, 1975. (FAO Irrigation and Drainage Paper, n. 24).

DORIA, B. R. S.; TAVARES, L. O. G. de S.; RAMOS, F. S. de M.; SOUZA, J. A.; SANTOS, D. M.; FACCIOLI, G. G. Determinação da demanda hídrica das culturas cenoura e beterraba, irrigadas com água residuária em condições de casa de vegetação em São Cristóvão. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 25., 2015, São Cristóvão. **Anais [...]**. São Cristóvão: UFS, 2015. p. 880-886.

FANAYA JÚNIOR, E. D.; LOPES, A. S.; OLIVEIRA, G. Q. de.; JUNG, L. H. Métodos empíricos para estimativa da evapotranspiração de referência para

Aquidauana, MS. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 4, p. 418-434, out./dez. 2012.

OLIVEIRA, R. Z.; OLIVEIRA, L. F. C.; WEHY, T. R.; BORGES, L. B.; BONONO, R. Comparação de metodologias de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Goiânia, GO. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 19-27, 2005.

PASSOS, M. L. V.; RAPOSO, A. B.; MENDES, T. J. Evapotranspiração de referência por diferentes métodos para o município de Chapadinha-MA. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v. 13, n. 2, p. 146-153, abr./jun. 2017.

SILVA, K. O. da.; MIRADA, J. H. de.; DUARTE, S. N.; FOLEGATTI, M. V. N. Análise de métodos de estimativa de evapotranspiração na otimização de sistemas de drenagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, abr./jun. 2005.

SYPERRECK, V. L. G.; KLOSOWSKI, E. S.; GRECO, M.; FURLANETTOET, C. Avaliação de desempenho de métodos para estimativas de evapotranspiração de referência para a região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, p. 603-609, 2008.

WILLMONT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.