

MÉTODOS ALTERNATIVOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA OS PRINCIPAIS TIPOS CLIMÁTICOS DO PARANÁ

GURSKI, B.C.¹; SOUZA J.L.M.²; JERSZURKI D.³; BARROCA, M.V.⁴

¹Doutorado em Ciência do Solo, UFPR; ²Professor, DSEA/SCA/UFPR, e-mail: jmoretti@ufpr.br; ³Ben Gurion University of the Negev, Israel; ⁴Mestrado em Ciência do Solo, UFPR

RESUMO

Teve-se por objetivo no presente trabalho analisar e identificar os melhores métodos alternativos de estimativa de evapotranspiração de referência (*ET_o*) (Budyko; Camargo; Hargreaves-Samani; Linacre; Thornthwaite) para os principais tipos climáticos (Cfa e Cfb) do Estado do Paraná. As estimativas alternativas foram comparadas com a *ET_o* estimada com o método de Penman-Monteith ASCE (*ET_{oPM}*) entre 1986 e 2015, em oito estações meteorológicas. O desempenho dos métodos alternativos foi obtido a partir do coeficiente de determinação (R^2), índice “*d*” de concordância, índice “*c*” de desempenho e raiz quadrada do erro médio (*RMSE*). O método de Hargreaves-Samani tem melhor desempenho entre os métodos testados para estimar a evapotranspiração de referência para os principais tipos climáticos do Estado do Paraná. O método de Camargo possibilita menores erros entre valores medidos e estimados. Os métodos de Thornthwaite, Linacre e Budyko não são adequados para estimar a *ET_o* em nenhum tipo climático do Estado do Paraná.

Palavras-chave: ciclo hidrológico, relações hídricas, Penman-Monteith ASCE

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração de referência (ET_o) tem papel fundamental no estudo e determinação das relações hídricas em atividades da engenharia rural, sendo uma das variáveis hidrológicas mais importantes para o cálculo da evapotranspiração da cultura, estimativa e interpretação de balanços hídricos agrícolas e manejo da irrigação (YAN et al., 2012). A ET_o pode ser medida diretamente em lisímetros e evapotranspirômetros, ou estimada a partir de métodos físicos e empíricos, tendo como entrada variáveis climáticas (THORTHWAITE, 1948; HARGREAVES e SAMANI, 1985; ALLEN et al., 1998; ASCE-EWRI, 2005).

Devido ao alto custo dos equipamentos de medida direta e à difusão das estações meteorológicas, a estimativa da ET_o vem sendo utilizada com desempenho satisfatório em várias regiões do mundo (PANDEY et al., 2016). Dentre os principais modelos, o método combinado de Penman-Monteith parametrizado pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* – FAO (ALLEN et al., 1998) e *American Society of Civil Engineers* – ASCE (ASCE-EWRI, 2005), é reconhecido como método padrão para a estimativa da ET_o (CHAUHAN e SHRIVASTAVA 2009). Entretanto, a utilização do método padrão muitas vezes é limitada em muitas regiões brasileiras, devido: às variáveis necessárias para o cálculo; limitações técnicas e econômicas para a instalação de novas estações meteorológicas e manutenção das existentes; e, existências de séries de dados incompletos ou inconsistentes (SOUZA et al., 2014; ALENCAR et al., 2015).

Por isso, métodos alternativos que utilizem dados de entrada facilmente medidos em estações meteorológicas ou estimados indiretamente são promissores para a estimativa alternativa da ET_o , representando avanço em estudos quando da indisponibilidade de dados climáticos (CHAUHAN e SHRIVASTAVA, 2009). Dentre os inúmeros métodos desenvolvidos ao longo do tempo (PENMAN, 1948; THORNTHWAITE, 1948; CAMARGO, 1971; BUDYKO, 1974; LINACRE, 1977; HARGREAVES e SAMANI, 1985), a literatura muitas vezes enfatiza apenas seus desempenhos frente ao método padrão de Penman Monteith, em locais com apenas um tipo climático (TRAJKOVIC e KOLAKOVIC, 2009), existindo poucos trabalhos que analisam métodos de estimativa da ET_o para diferentes tipos climáticos (TODOROVIC et al., 2013).

Devido à variabilidade climática existente no Estado do Paraná, estudos dessa natureza são importantes, pois possibilitariam a identificação de tendências e limitações dos métodos alternativos, bem como a escolha do melhor método para cada tipo climático.

Nesse contexto, teve-se como objetivo no presente trabalho definir os principais métodos alternativos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) em relação ao método padrão de Penman Monteith ASCE, para os principais tipos climáticos do Estado do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas séries históricas com 30 anos (jan/1986 a dez/2015) de dados diários de temperatura mínima, média e máxima (°C), umidade relativa (%), horas de brilho solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e velocidade do vento a dez metros de altura (m s^{-1}). Os dados foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2016), sendo analisadas oito estações meteorológicas automáticas localizadas no Estado do Paraná (FIGURA 1; Curitiba, Campo Mourão, Castro, Irati, Ivaí, Londrina, Maringá, Paranaguá), distribuídas nos tipos climáticos Cfa (verde) e Cfb (azul), os quais representam 61,7% e 37,0% da área do Estado, respectivamente.



FIGURA 1 – Localização das estações meteorológicas dos principais tipos climáticos no Estado do Paraná, sendo Cfa – verde e Cfb – azul.

Segundo Köppen (1936), o tipo climático Cfa é subtropical, com verões quentes, temperatura média anual entre 16 e 18 °C. O clima Cfb é temperado, sem estação seca definida, tendo verões temperados e precipitação média de 1500 mm ano^{-1} (ÁLVARES et al. 2013).

A ET_{oPM} diária padrão foi estimada com o método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), parametrizado pela *American Society of Civil Engineers - ASCE* (ASCE-EWRI, 2005).

$$ET_{oPM} = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma_{psy} \cdot \frac{C_n}{(T + 273)} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma_{psy} \cdot (1 + C_d \cdot u_2)}$$

Sendo: ET_{oPM} – evapotranspiração de referência estimada com o método de Penman-Monteith (mm dia^{-1}); Δ – declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar

(kPa °C⁻¹); R_n – radiação líquida na superfície (MJ m⁻² dia⁻¹); G – balanço do fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); γ_{psy} – constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); T – temperatura média do ar (°C); u_2 – velocidade do vento a dois metros de altura (m s⁻¹); e_s – pressão de saturação de vapor (kPa); e_a – pressão atual do vapor (kPa); C_n – constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados, sendo considerado igual a 900 para a grama batatais (adimensional); C_d – constante relacionada à superfície de referência e intervalo de tempo adotados, sendo considerado igual a 0,34 para a grama batatais (adimensional).

O déficit de pressão de vapor diário foi estimado fazendo-se a diferença entre a pressão de vapor saturada e atual ($e_s - e_a$). A pressão de saturação de vapor foi calculada com a equação de Tetens. A pressão atual de vapor foi obtida multiplicando-se a pressão de vapor saturada pela umidade relativa. A radiação solar diária (R_n), radiação de onda longa (R_{nl}), radiação de onda curta (R_{ns}), radiação solar incidente (R_s), radiação extraterrestre (R_a) foram obtidas conforme Pereira et al. (2015). O fluxo de calor do solo (G) foi calculado utilizando a temperatura do ar (PEREIRA et al., 1997). A velocidade do vento a 2 m de altura foi obtida a partir da velocidade do vento medida a 10 m de altura (ALLEN et al., 1998).

Os métodos alternativos de estimativa da ET_o analisados foram escolhidos baseando-se em aspectos dispostos na literatura, como simplicidade e recomendação para os tipos climáticos existentes no Estado do Paraná, sendo: Budyko (1974), Camargo (1971), Hargreaves e Samani (1985), Linacre (1977) e Thornthwaite (1948). Os métodos consideram como variáveis de entrada dados de fácil obtenção, como temperatura do ar e radiação solar incidente:

– Método de Budiko (1974):

$$ET_{OB,i} = 0,20 \cdot T_{MED,i}$$

Sendo: $ET_{OB,i}$ – evapotranspiração de referência estimada com o método de Budyko para o i -ésimo dia (mm dia⁻¹); $T_{MED,i}$ – temperatura média do ar no i -ésimo dia (°C).

– Método de Camargo (1971):

$$ET_{OCM,i} = Q_{O,i} \cdot F \cdot T_{MED,i}$$

Sendo: $ET_{OCM,i}$ – evapotranspiração de referência estimada com o método de Camargo (1971) para o i -ésimo dia (mm dia⁻¹); $Q_{O,i}$ – radiação solar no topo da atmosfera do i -ésimo dia, expressa em equivalente de evaporação (mm dia⁻¹); F – fator de ajuste que varia com a temperatura média anual do local; $T_{MED,i}$ – temperatura média do ar no i -ésimo dia (°C).

A transformação dos valores de radiação solar no topo da atmosfera do i -ésimo dia em equivalente de evaporação ($Q_{O,i}$ – mm dia⁻¹) foi realizada a partir da relação:

$$Q_{O,i(\text{mm dia}^{-1})} = \frac{R_{a,i}}{2,45}$$

Sendo: $Q_{O,i(\text{mm dia}^{-1})}$ – radiação solar no topo da atmosfera do i -ésimo dia, em equivalente de evaporação (mm dia⁻¹); $R_{a,i}$ – radiação solar no topo da atmosfera no i -ésimo dia (MJ m⁻² dia⁻¹).

– Método de Hargreaves e Samani (1985):

$$ET_{OHS,i} = 0,0023 \cdot Q_{o,i} \cdot (T_{MED,i} + 17,8) \cdot (T_{MAX,i} - T_{MIN,i})^{0,5}$$

Sendo: $ET_{OHS,i}$ – evapotranspiração de referência estimada com o método de Hargreaves e Samani (1985) para o i -ésimo dia (mm dia^{-1}); $Q_{o,i}$ – radiação solar extraterrestre no i -ésimo dia, expressa em equivalente de evaporação (mm dia^{-1}); $T_{MED,i}$ – temperatura média do ar no i -ésimo dia ($^{\circ}\text{C}$); $T_{MAX,i}$ – temperatura máxima do ar no i -ésimo dia ($^{\circ}\text{C}$); $T_{MIN,i}$ – temperatura mínima do ar no i -ésimo dia ($^{\circ}\text{C}$).

– Método de Linacre (1977):

$$ET_{OL,i} = \frac{700 \cdot \frac{T_{MED,i} + 0,006 \cdot z}{100 - \varphi} + 15 \cdot (T_{MED,i} - Td_i)}{80 - T_{MED,i}}$$

Sendo: $ET_{OL,i}$ – evapotranspiração de referência estimada com o método de Linacre no i -ésimo dia ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$); $T_{MED,i}$ – temperatura média do ar no i -ésimo dia ($^{\circ}\text{C}$); z – altitude do local (m); φ – latitude do local (graus); Td_i – temperatura de ponto de orvalho no i -ésimo dia ($^{\circ}\text{C}$).

– Método de Thornthwaite (1948):

A estimativa da ET_o considerou um mês de 30 dias e 12 horas de fotoperíodo, seguindo o procedimento de Souza et al. (1994), considerando a temperatura média diária do ar ($T_{MED,i}$).

$$ET_{OT,i} = \frac{N_i}{12} \cdot \frac{1}{30} \cdot 16 \cdot \left(\frac{10 \cdot T_{MED,i}}{I} \right)^a, \quad \text{sendo: } T_{MED,i} > 0 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49239$$

$$I = \sum_{m=1}^{12} (0,2 \cdot T_m)^{1,514}, \quad \text{sendo: } T_m > 0 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Sendo: $ET_{OT,i}$ – evapotranspiração de referência estimada com o método de Thornthwaite (1948) no i -ésimo dia (mm dia^{-1}); N_i – fotoperíodo do i -ésimo dia (horas); $T_{MED,i}$ – temperatura média do ar no i -ésimo dia ($^{\circ}\text{C}$); a – função cúbica do índice de calor I da região (adimensional); I – índice de calor da região (adimensional); T_m – temperatura média normal do m -ésimo mês do ano ($^{\circ}\text{C}$).

A comparação dos valores de ET_o padrão, obtida com o método de Penman-Monteith, e valores estimados com os métodos alternativos foi realizada empregando: o coeficiente de determinação (R^2); índice “ d ” de concordância de Willmott et al. (1985); índice “ c ” de Camargo e Sentelhas (1997), que serve como indicador de desempenho dos métodos alternativos; e, raiz quadrada média do erro ($RMSE$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Vários autores demonstraram claramente a influência do tipo climático sobre a estimativa da *ET_o*, bem como sobre o desempenho dos métodos alternativos (TRAJKOVIC e KOLAKOVIC, 2009; PANDEY et al., 2016). Nas análises realizadas no presente trabalho, também foram observados desempenhos contrastantes entre os métodos alternativos para os tipos climáticos (TABELAS 1 e 2). De forma geral, os métodos de Hargreaves-Samani e Camargo apresentaram os melhores desempenhos para os climas Cfa e Cfb, sendo que o método de Camargo apresentou os menores erros (*RMSE*). Syperreck et al. (2008) avaliaram métodos alternativos para uma única localidade do Paraná, com clima Cfa, também constataram melhores resultados para o método de Hargreaves-Samani ($R = 0,86$; $d = 0,85$; $c = 0,73$), seguido pelos métodos de Thornthwaite e Camargo. Camargo e Sentelhas (1997) comparando 20 métodos alternativos de estimativa da *ET_o* com medidas realizadas em evapotranspirômetros, em São Paulo (Cfa), obtiveram melhores estimativas para o método de Camargo e Thornthwaite.

A utilização da radiação solar em métodos alternativos é reconhecida na literatura, propiciando bons resultados (YODER et al., 2005; IRMAK et al., 2006). Os métodos de Hargreaves-Samani e Camargo utilizam como variável de entrada a radiação solar ou insolação diária (Yan et al., 2012), o que resultou nas melhores estimativas da *ET_o*. Segundo Hupet e Vanclooster (2001), a radiação solar apresenta grande influência sobre a *ET_o* em climas frios e úmidos, devido à menor magnitude e influência das demais variáveis climáticas, concordando com os resultados encontrados para os tipos climáticos paranaenses. Souza et al. (2014) também concordam que a utilização da radiação solar em métodos alternativos resulta em estimativas consistentes da *ET_o*, tanto para climas quentes e secos quanto frios e úmidos. No entanto, Gardiman Junior et al. (2012) consideraram que os métodos de estimativa que consideram a radiação solar são mais adequados em tipos climáticos quentes e secos.

De acordo com Souza et al. (2014), o método de Hargreaves-Samani tende a apresentar melhor desempenho em regiões de clima quente com temperaturas médias altas ao longo do ano, já que o método se baseia na temperatura média e na temperatura máxima do dia. A consideração dos autores contradiz os resultados do presente trabalho, pois os climas Cfa e Cfb, geralmente possuem temperaturas médias baixas ao longo do ano.

O método de Linacre obteve melhor desempenho apenas em Campo Mourão (clima Cfa; “bom”), sendo que no restante dos municípios obteve apenas desempenho entre “péssimo” e “sofrível”. O método de Linacre foi desenvolvido a partir de dados obtidos de diferentes localidades da África e América do Sul (SOUZA et al., 2014), sendo uma simplificação do modelo de Penman (1948), utilizando funções da temperatura do ar, como a diferença entre a temperatura média e a temperatura de ponto de orvalho.

Os métodos de Thornthwaite e Budyko não foram adequados para estimar a *ET_o* nos tipos climáticos estudados no Paraná. Por basearem-se apenas na temperatura do ar, Mendonça et al. (2003), Cavalcante Júnior et al. (2011) e Todorovic et al. (2013) observaram melhor ajustamento desses métodos para climas quentes e secos, o que justifica seus baixos desempenhos nos climas frios e úmidos do Estado do Paraná.

TABELA 1. Coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de correlação (R), raiz quadrada do erro quadrático médio ($RMSE$), índices “ d ” e “ c ” de desempenho dos métodos alternativos de evapotranspiração de referência em relação ao padrão (ET_{OPM}) para o tipo climático “Cfa”, no período anual, entre 1986 e 2015.

Especificação	Métodos de estimativa da ET_o *					
	PM	B	C	HS	L	T
----- Campo Mourão -----						
Média	3,14	4,07	2,84	4,08	2,69	1,50
Linear**		-1,37	0,45	-0,24	-0,25	1,56
Angular**		1,11	0,95	0,83	1,26	1,05
R^2		0,45	0,57	0,78	0,63	0,77
R		0,67	0,75	0,88	0,79	0,88
Índice “ d ”		0,88	0,93	0,92	0,92	0,76
Índice “ c ”		0,59	0,70	0,82	0,72	0,66
Desempenho		“sofrível”	“bom”	“muito bom”	“bom”	“bom”
$RMSE$		1,35	0,91	1,15	0,94	1,76
----- Londrina -----						
Média	2,23	4,30	3,00	4,17	3,33	1,82
Linear**		-1,33	0,27	-0,16	0,56	1,71
Angular**		0,88	0,73	0,62	0,65	0,82
R^2		0,26	0,35	0,43	0,29	0,64
R		0,51	0,59	0,65	0,54	0,80
Índice “ d ”		0,74	0,63	0,60	0,66	0,62
Índice “ c ”		0,38	0,37	0,39	0,35	0,50
Desempenho		“péssimo”	“péssimo”	“péssimo”	“péssimo”	“mau”
$RMSE$		2,17	1,23	2,06	1,33	1,57
----- Maringá -----						
Média	3,06	4,44	3,10	4,05	3,84	2,01
Linear**		-1,63	0,44	-0,01	0,86	1,92
Angular**		1,10	0,91	0,81	0,63	0,77
R^2		0,43	0,56	0,70	0,40	0,65
R		0,66	0,75	0,84	0,63	0,80
Índice “ d ”		0,88	0,69	0,72	0,68	0,62
Índice “ c ”		0,58	0,52	0,60	0,43	0,50
Desempenho		“sofrível”	“sofrível”	“sofrível”	“mau”	“mau”
$RMSE$		1,52	0,86	1,08	1,24	1,65
----- Paranaguá -----						
Média	1,95	4,32	3,00	3,41	2,45	1,31
Linear**		-1,63	0,16	0,07	-0,10	1,62
Angular**		0,90	0,70	0,65	0,96	0,87
R^2		0,41	0,53	0,60	0,43	0,67
R		0,64	0,73	0,78	0,66	0,82
Índice “ d ”		0,74	0,76	0,74	0,74	0,58
Índice “ c ”		0,47	0,55	0,58	0,49	0,47
Desempenho		“mau”	“sofrível”	“sofrível”	“mau”	“mau”
$RMSE$		2,20	1,07	1,39	0,80	1,60

* PM – Penman Monteith; B – Budyko; C – Camargo; HS – Hargreaves e Samani; L – Linacre; T – Thornthwaite;

** Coeficientes linear (a) e angular (b) da regressão linear, em que $y = a + b \cdot x$.

TABELA 2. Coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de correlação (R), raiz quadrada do erro quadrático médio ($RMSE$), índices “ d ” e “ c ” de desempenho dos métodos alternativos de evapotranspiração de referência em relação ao padrão (ET_{OPM}) para o tipo climático “Cfb”, no período anual, entre 1986 e 2015.

Especificação	Métodos de estimativa da ET_o *					
	PM	B	C	HS	L	T
----- Castro -----						
Média	2,86	3,41	2,36	3,63	2,27	0,93
Linear**		-0,33	0,73	0,04	0,09	2,15
Angular**		0,95	0,92	0,79	1,24	1,11
R^2		0,32	0,45	0,58	0,42	0,32
R		0,56	0,67	0,76	0,65	0,57
Índice “ d ”		0,76	0,72	0,78	0,68	0,51
Índice “ c ”		0,43	0,48	0,59	0,44	0,29
Desempenho		“mau”	“mau”	“sofrível”	“mau”	“péssimo”
$RMSE$		1,21	1,13	1,17	1,21	2,49
----- Curitiba -----						
Média	2,67	3,48	2,42	3,46	2,50	1,06
Linear**		-0,28	0,65	0,53	0,66	1,62
Angular**		0,85	0,84	0,62	0,81	1,09
R^2		0,40	0,59	0,57	0,38	0,59
R		0,64	0,77	0,75	0,61	0,77
Índice “ d ”		0,88	0,63	0,62	0,55	0,48
Índice “ c ”		0,56	0,49	0,47	0,33	0,37
Desempenho		“sofrível”	“mau”	“mau”	“péssimo”	“péssimo”
$RMSE$		1,16	0,73	1,16	0,87	1,85
----- Irati -----						
Média	2,30	3,46	2,43	3,60	2,45	1,09
Linear**		-0,47	0,58	0,02	-0,21	1,56
Angular**		0,93	0,89	0,75	1,17	1,22
R^2		0,38	0,53	0,70	0,63	0,58
R		0,61	0,73	0,84	0,79	0,76
Índice “ d ”		0,87	0,72	0,77	0,66	0,55
Índice “ c ”		0,53	0,52	0,64	0,52	0,42
Desempenho		“sofrível”	“sofrível”	“mediano”	“sofrível”	“mau”
$RMSE$		1,21	0,90	1,15	0,75	1,96
----- Ivaí -----						
Média	3,12	3,65	2,55	3,82	2,60	1,27
Linear**		-0,52	0,76	0,06	0,16	1,93
Angular**		1,00	0,93	0,81	1,15	1,07
R^2		0,37	0,51	0,71	0,51	0,52
R		0,61	0,71	0,84	0,71	0,72
Índice “ d ”		0,74	0,71	0,78	0,64	0,56
Índice “ c ”		0,45	0,51	0,66	0,46	0,40
Desempenho		“mau”	“sofrível”	“bom”	“mau”	“péssimo”
$RMSE$		1,17	1,10	1,02	1,09	2,21

* PM – Penman Monteith; B – Budyko; C – Camargo; HS – Hargreaves e Samani; L – Linacre; T – Thornthwaite;

** Coeficientes linear (a) e angular (b) da regressão linear, em que $y = a + b \cdot x$.

CONCLUSÕES

O método de Hargreaves-Samani tem melhor desempenho (entre “mau” e “muito bom”)—entre os métodos testados para estimar a evapotranspiração de referência para os principais tipos climáticos do Estado do Paraná. O método de Camargo possibilita menores erros entre valores medidos e estimados.

Os métodos de Thornwaite, Linacre e Budyko não são adequados para estimar a *ET_o* em nenhum tipo climático do Estado do Paraná, tendo desempenho predominante entre “péssimo” e “mau”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, L. P.; SEDIYAMA, G. C.; MANTOVANI, E. C. Estimation of reference evapotranspiration (*ET_o*) under FAO standards with missing climatic data in Minas Gerais, Brazil. **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**. 1 ed. Rome: FAO, 1998.
- ÁLVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. J.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate Classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 2, p. 711-728, 2013.
- ASCE-EWRI. **The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation**: Report of the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration, Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers, 2005, p. 171.
- BUDYKO, M. I. **Climate and life**. New York: Academic Press, 1974.
- CAMARGO, A. P. **Balanço hídrico no estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1971. 28p.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. M.; SOBRINHO, J. E. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semi-árido Nordeste. **Semina**, v. 32, p. 1699-1708, 2011.
- CHAUHAN, S.; SHRIVASTAVA, R. K. Performance evaluation of reference evapotranspiration estimation using climate based methods and artificial neural networks. **Water Resource Management**, v. 23, n. 5, p. 825-837, 2009.
- GARDIMAN JUNIOR, B. S.; MAGALHÃES, I. A. L.; CECILIO, R. A. Comparação entre diferentes métodos de estimativas de evapotranspiração de referência (*ET_o*) para Linhares-ES. **Nucleus**, v. 9, n. 2, p. 103-112, 2012.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering Agriculture**, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.
- HUPET, F.; VANCLOOSTER, M. Effect of the sampling frequency of meteorological variables on the estimation of reference evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v. 243, p. 192-204, 2001.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa/BDMEP**. 2016. Acesso em 22 jun. 2016. Disponível em: <<http://www.bdmpe.inmet.br/>>.

- IRMAK, S.; PAYERO, J. O.; MARTIN, D. L.; IRMAK, A.; HOWELL, T. A. Sensitivity analyses and sensitivity coefficients of standardized daily ASCE-Penman-Monteith equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.132, p. 564–578, 2006.
- KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. Handbuch der Klimatologie. **Gebruder Borntrager**, v. 1, p. 01-44, 1936.
- LINACRE, E. T. A simple formula for estimating evapotranspiration rates in various climates, using temperature data alone. **Agricultural Meteorology**, v. 18, p. 409-424, 1977.
- MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação de estimativa entre métodos de evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 276-279, 2003.
- PANDEY, K. P.; DABRAL P. P.; PANDEY, V. Evaluation of reference evapotranspiration methods for the northeastern region of India. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 4, p. 56-67, 2016.
- PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of the Royal Society**, v. 193, p. 120-145, 1948.
- PEREIRA, A. R.; VILA NOVA, N. A.; SEDYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: ESALQ, 1997.
- PEREIRA, L. S.; ALLEN, L. G.; SMITH, M.; RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: past and future. **Agricultural Water Management**, v. 147, p. 04-20, 2015.
- SOUZA, J. L. M.; VILLA NOVA, N. A.; CASTRO NETO, P. Avaliação do efeito da energia advectiva na estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Lavras/MG. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 1-2, p. 41-47, 1994.
- SOUZA, J. M.; PEREIRA, L. R.; RAFAEL, A. M.; SILVA, L. D.; REIS, E. F.; BONOMO, R. Comparison of methods for estimating reference evapotranspiration in two locations of Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 2, p. 114-126, 2014.
- SYPERRECK, V. L. G.; KLOSOWSKI, E. S.; GRECO, M.; FURLANETTO, C. Avaliação de desempenho de modelos para estimativas de evapotranspiração de referência para a região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, p. 603-609, 2008.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.
- TODOROVIC, M.; KARIC, B.; PEREIRA, L. S. Reference evapotranspiration estimate with limited weather data across a range of Mediterranean climates. **Journal of Hydrology**, v. 481, p. 166-176, 2013.
- TRAJKOVIC, S.; KOLAKOVIC, S. Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions. **Water Resources Management**, v. 23, p. 3057-3067, 2009.
- WILLMOTT, C. J.; ROWE, C. M.; MINTZ, Y. Climatology of terrestrial seasonal water cycle. **Journal of Climatology**, v. 5, p. 589-606, 1985.
- YAN, H.; WANG, S. Q.; BILLESBACH, D.; OECHEL, W.; ZHANG, J. H.; MEYERS, T. Global estimation of evapotranspiration using a leaf area index-based surface energy and water balance model. **Remote Sensing of Environment**, v. 124, p. 581–595, 2012.
- YODER, R. E.; ODHIAMBO, L. O.; WRIGHT, W. C. Evaluation of methods for estimating daily reference crop evapotranspiration at a site in the humid southeast United States. **Applying Engineering Agriculture**. v. 21, p. 197-202, 2005.