

ERROS E DESEMPENHO DE EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA PRESSÃO ATUAL DE VAPOR EM CLIMAS BRASILEIROS

SANTOS, A. A.¹; SOUZA, J. L. M.²; ROSA, S. L. K.¹

¹Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFPR; ²Professor, DSEA/SCA/UFPR, e-mail:
jmoretti@ufpr.br

RESUMO

Teve-se por objetivo no presente trabalho analisar os erros e desempenho de equações utilizadas para estimar a pressão atual de vapor (ea) horária para algumas regiões e tipos climáticos Brasileiros (Af, Am, Aw, Bsh, Cfa, Cfb, Cwa e Cwb). Quatro equações para o cálculo da pressão atual de vapor (ea) foram testadas, sendo considerado padrão o método que estima a ea com uso da umidade relativa (UR). Foram utilizadas séries de dados climáticos de oito estações meteorológicas automáticas, obtidas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), compreendendo período entre 12 de dezembro de 2018 e 11 de dezembro de 2019. Os resultados obtidos com as três equações alternativas foram comparados com a equação padrão por meio do coeficiente de correlação de Pearson (r), coeficiente de determinação (R^2), índices concordância (“ d ”) e desempenho (“ c ”), erro absoluto médio (MAE), erro quadrado médio (MSE), raiz quadrada do erro quadrado médio ($RMSE$) e normalização da raiz quadrada do erro quadrado médio ($NRMSE$). Observou-se que as equações alternativas não foram estatisticamente diferentes da equação padrão nas localidades e tipos climáticos brasileiros, apresentando desempenho “ótimo” nas análises. A escolha da equação para cálculo da ea deve basear-se na disponibilidade e qualidade da série de dados existente no local.

Palavras-chave: Déficit de pressão; métodos indiretos; psicometria; agrometeorologia.

INTRODUÇÃO

A variação dos componentes climatológicos ao longo do tempo promovem incertezas na produção agrícola. Na busca da redução destas incertezas, estudos sobre variações atmosféricas são realizados, os quais visam o desenvolvimento e aperfeiçoamento de técnicas de manejo dos recursos hídricos e do solo (Miranda et al., 2006; Radin e Matzenauer, 2016).

Dentre as componentes meteorológicas mais analisadas em estudos estão a precipitação (P), temperatura (T), umidade relativa (UR) do ar, velocidade do vento (u_2), radiação solar (Rs) e pressão de vapor de água na atmosfera (Costa, 2003; Oliveira, 2009).

A pressão de vapor da água na atmosfera pode ser explicada por meio do déficit de pressão de valor (Δe), que consiste na diferença entre a pressão exercida pela quantidade de vapor de água existente no ar em determinado instante e temperatura (ea ; pressão atual de vapor), e a pressão máxima que esse mesmo ar pode alcançar na mesma temperatura (es ; pressão de saturação). A diferença mede o poder evaporante do ar, tendo relação direta com os processos de evaporação, pois depende do gradiente de pressão de vapor entre a superfície evaporante e o ar (Costa, 2003; Miranda et al., 2006; Vieira, 2009).

Doorenbos e Pruitt (1977) descrevem que a pressão atmosférica é importante nos cálculos da evapotranspiração de referencia (ET_o). Lyra et al. (2004) e Hosseini et al. (2013) consideram que a ea está entre as variáveis que apresentaram maior sensibilidade para estimativas da ET_o .

A obtenção da ea pode ser realizada de diversas maneiras, e a maior dificuldade encontra-se nas variáveis de entrada das equações, uma vez que os dados nem sempre se encontram disponíveis nas estações automáticas (Delgado, 2007). O Manual ASCE (ASCE-EWRI, 2005) apresenta quatro equações para o cálculo da ea , as quais consideram diferentes dados de entrada, como UR , T e temperatura no ponto de orvalho (T_{dew}).

Diante da importância da pressão de vapor, em particular a ea para realização de estimativas mais precisas de ET_o , teve-se por objetivo no presente estudo analisar os erros e o desempenho de equações utilizadas para estimar a pressão atual de vapor (ea) em algumas regiões e tipos climáticos brasileiros.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os dados horários disponíveis no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), compreendendo o período entre 11 de novembro de 2018 e 11 de novembro de 2019. Os dados são de oito estações automáticas, cada uma localizada em um tipo climático brasileiro (Figura 1; Af, Am, Aw, Bsh, Cfa, Cfb, Cwa e Cwb). Conforme classificação de Koppen (1936), os climas analisados são os mais representativos para o Brasil (Alvares et al., 2013). Foi necessária a série dos seguintes dados climáticos horários: umidade relativa máxima e mínima do ar (UR); temperaturas máxima (T_{max}) e mínima (T_{min}) do ar; e; temperatura do ponto de orvalho máximo, mínimo e no instante (T_{dew}).

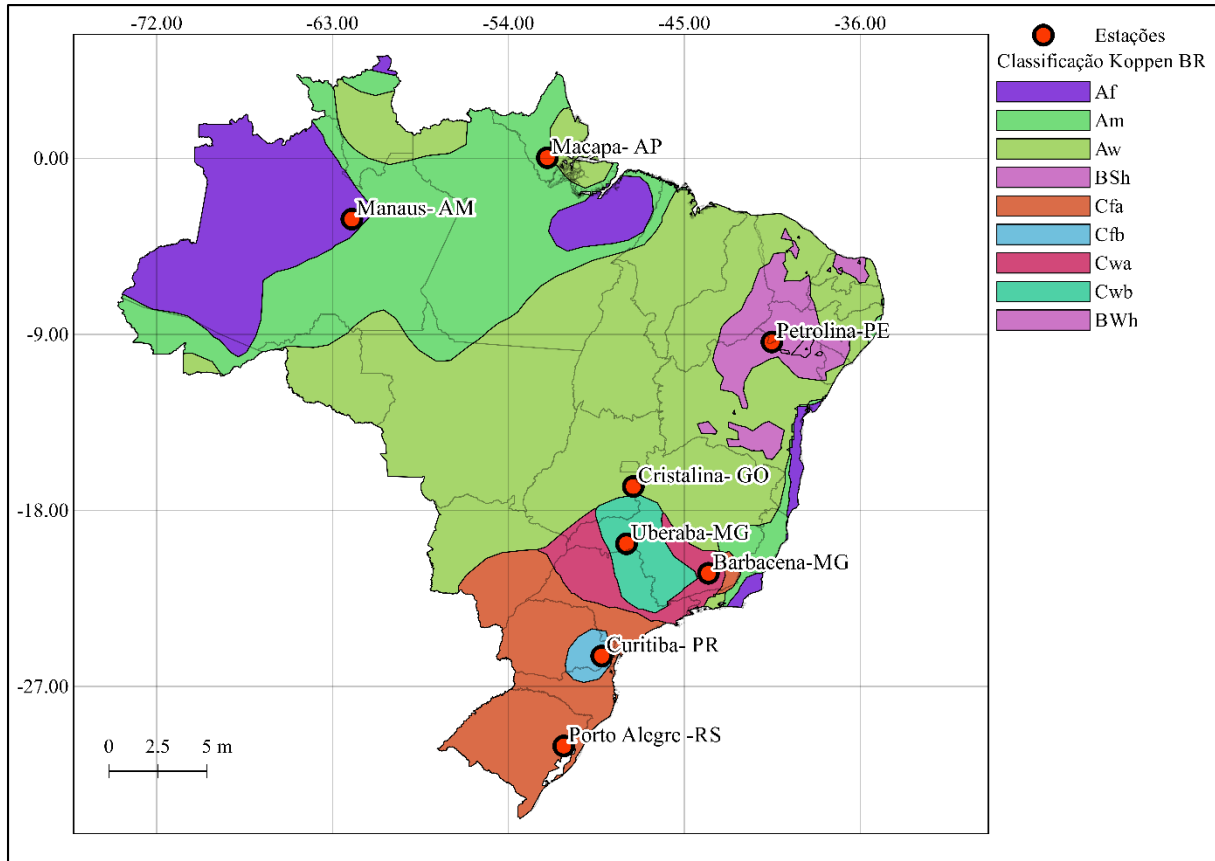


Figura 1 – Distribuição das oito classificações climáticas consideradas, e localização das estações meteorológicas analisadas no Brasil.

Quatro equações para o cálculo da pressão atual de vapor (e_a) foram testadas (Equações 1 a 4), sendo considerado padrão o método que estima a e_a com uso da umidade relativa (Equação 1; Allen et al., 1998):

– Equação que considera a UR e pressão de saturação (e_s) como variáveis. A equação é considerada padrão, pois os valores de UR e e_s são medidos ou obtidos com precisão:

$$e_a = \frac{UR}{100} \cdot e^o(T) \quad (1)$$

– Equação de Tetens (1930), considerando com variável a T_{dew} :

$$e_a = e^o(T_{dew}) = 0,6108 \cdot \exp \left[\frac{17,27 \cdot T_{dew}}{T_{dew} + 237,3} \right] \quad (2)$$

– Equação que considera a média da e_a no período, calculada com as Equações 1 e 2:

$$e_a = \frac{0,6108 \cdot \exp \left[\frac{17,27 \cdot T_{dew}}{T_{dew} + 237,3} \right] + \frac{UR_{méd}}{100} \cdot e^o(T)}{2} \quad (3)$$

– Equação que considera a média do produto entre as Equações 1 e 2, calculadas com os valores mínimos e máximos no período:

$$e_a = \frac{0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T_{\min}}{T_{\min} + 237,3}\right) \cdot \left(\frac{UR_{\max}}{100}\right) + 0,6108 \cdot \exp\left(\frac{17,27 \cdot T_{\max}}{T_{\max} + 237,3}\right) \cdot \left(\frac{UR_{\min}}{100}\right)}{2} \quad (4)$$

Sendo: e_a – pressão atual de vapor (kPa); T_{dew} – temperatura do ponto de orvalho (°C); UR – umidade relativa média (%); $e^o(T)$ – função da pressão de vapor de saturação (kPa); T – temperatura do ar (podendo ser mínima, máxima ou média em °C).

Foram realizadas análises horárias associando $ea_{padrão}$ (Equação 1) vs $ea_{alternativa}$ (Equação 2 a 4):

$ea_{padrão}$ (Equação 1) vs ea (Equação 2);

$ea_{padrão}$ (Equação 1) vs ea (Equação 3);

$ea_{padrão}$ (Equação 1) vs ea (Equação 4);

As comparações entre os valores de ea padrão e alternativa foram verificados em análises de regressão. Utilizou-se os principais índices e coeficientes recomendados na literatura:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_{p_i} - Y_{a_i}|}{n}$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_{p_i} - Y_{a_i}|^2}{n}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_{p_i} - Y_{a_i})^2}$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{p_i} - Y_{a_i})}{n}\right)^2}}{D_{Y_p}} \cdot 100$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(Y_{p_i} - \bar{Y}_p) \cdot (Y_{a_i} - \bar{Y}_a)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{p_i} - \bar{Y}_p)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_{a_i} - \bar{Y}_a)^2}}$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n [(Y_{p_i} - \bar{Y}_p) \cdot (Y_{a_i} - \bar{Y}_a)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{p_i} - \bar{Y}_p)^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_{a_i} - \bar{Y}_a)^2}}$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{ai} - Y_{pi})^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (|Y_{ai} - \bar{Y}_p| \cdot |Y_{pi} - \bar{Y}_p|)^2}}$$

$$c = d \cdot r$$

Sendo: *MAE* – erro absoluto médio (kPa); *MSE* – erro quadrado médio (kPa); *RMSE* – raiz quadrada do erro quadrado médio (kPa); *NRMSE* – normalização da raiz quadrada do erro quadrado médio (%); *r* – coeficiente de correlação de Pearson (adimensional); *R*² – coeficiente de determinação (adimensional); *d* – índice de concordância “*d*” de Willmott (1982) (adimensional); *c* – índice “*c*” de desempenho (adimensional); *Y_{pi}* – valores de *ea* obtidos com o método padrão na *i*-ésima hora (kPa); *Y_{ai}* – valor de *ea* obtido com a equação alternativa na *i*-ésima hora (kPa); *n* – número de horas analisadas (adimensional); $\bar{Y}_p$ – média dos valores de *ea* obtidos com o método padrão para todas as horas analisadas (kPa); $\bar{Y}_a$ – média dos valores de *ea* obtidos com as equações alternativas para todas as horas analisadas (kPa).

O desempenho com o índice “*c*” tem a seguinte classificação: “ótimo” (“*c*” > 0,85); “muito bom” (0,76 ≤ “*c*” ≤ 0,85); “bom” (0,66 ≤ “*c*” ≤ 0,75); “mediano” (0,61 ≤ “*c*” ≤ 0,65); “sofrível” (0,51 ≤ “*c*” ≤ 0,60); “mau” (0,41 ≤ “*c*” ≤ 0,50); ou, “péssimo” (“*c*” ≤ 0,40).

Os valores de *ea* e índice “*c*” de desempenhos foram calculados em planilhas eletrônicas (*software* Exel 2010), previamente preparadas para esta finalidade, e os demais erros foram calculados no *software* R (versão 3.1), utilizando-se o pacote *hydroGOF* e a função *GOF* (Zambrano-Bigiarin, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A série de dados das oito estações tem 210240 leituras. Contudo, quando alguma das variáveis (*T*, *T_{dew}* e *UR*) não estavam disponíveis, optou-se pela exclusão da respectiva hora. Assim, a composição final do banco de dados foi de 193902, resultante da exclusão de 7,77% das horas analisadas (Tabela 1). Na Tabela 1 encontram-se os valores médios de *T*, *T_{dew}* e *UR* para cada tipo climático brasileiro analisado.

Considerando-se a equação padrão (Equação 1; Allen et al., 1998) observou-se baixos erros e coeficiente de correlação (*r*) próximos a 1 nos oito climas analisados para o Brasil. Obteve-se índices “*c*” com desempenho “ótimo” para todas as equações alternativas testadas (Equações 2, 3 e 4), em todas as oito localidades brasileiras (Tabela 2). Um dos poucos aspectos a serem observados refere-se ao menor *NRMSE*, sempre ocorrido nas associações *ea_{padrão}* (Equação 1) *vs* *ea_{alternativo}* (Equação 3), e os maiores verificados nas associações *ea_{padrão}* (Equação 1) *vs* *ea_{alternativo}* (Equação 2).

Tabela 1. Média mensal da temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR), e temperatura de ponto de orvalho (T_{dew}), para oito tipos climáticos brasileiros.

Variável	Mês											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
----- Tipo climático Af (Estação Manaus-AM) -----												
T (°C)	26,82	26,71	27,68	27,30	27,11	27,91	28,23	28,83	29,62	28,18	28,18	27,02
T_{dew} (°C)	22,60	22,82	22,89	23,20	23,16	22,08	21,09	20,40	21,04	21,98	22,48	22,43
UR (%)	78,59	80,06	76,13	79,16	79,86	71,95	66,87	62,30	61,82	70,73	72,50	77,22
----- Tipo climático Am (Estação Macapá-AP) -----												
T (°C)	31,43	26,05	26,08	25,94	26,71	26,98	27,14	28,13	28,70	28,99	28,74	27,90
T_{dew} (°C)	21,38	23,00	22,97	23,40	23,69	23,43	22,89	22,99	22,62	22,30	22,72	22,98
UR (%)	56,00	84,14	83,71	86,37	84,29	81,94	78,71	74,87	71,06	68,75	71,55	76,08
----- Tipo climático BSh (Estação Petrolina-PB) -----												
T (°C)	29,04	28,91	28,20	28,33	28,06	25,40	24,82	25,02	27,20	28,54	29,73	29,05
T_{dew} (°C)	14,59	17,44	17,85	18,00	16,21	15,71	14,86	13,99	13,80	13,95	13,98	14,20
UR (%)	43,83	52,76	55,98	55,67	51,18	57,86	56,46	53,13	47,05	43,85	41,28	43,21
----- Tipo climático Aw (Estação Cristalino-GO) -----												
T (°C)	23,00	22,51	21,75	21,86	20,82	18,66	18,38	20,57	24,05	23,89	22,77	22,24
T_{dew} (°C)	15,11	16,66	17,17	16,80	15,33	11,14	8,00	8,21	7,10	11,57	15,50	16,12
UR (%)	63,26	71,90	76,60	74,36	72,59	63,50	53,65	47,87	38,35	50,21	66,66	70,72
----- Tipo climático Cwa (Estação Barbacena-MG) -----												
T (°C)	22,36	21,50	20,28	20,13	18,61	16,51	15,81	15,96	19,02	19,67	19,16	20,35
T_{dew} (°C)	16,33	16,76	16,89	16,50	14,61	12,32	8,78	10,56	12,62	14,32	16,11	16,46
UR (%)	70,81	76,89	82,21	81,29	79,59	78,27	66,25	73,86	71,01	74,03	84,01	80,01
----- Tipo climático Cwb (Estação Uberaba-MG) -----												
T (°C)	25,01	23,95	23,40	23,47	21,57	19,59	18,92	21,21	25,53	25,16	24,22	23,86
T_{dew} (°C)	18,51	19,60	19,36	18,84	16,41	12,35	9,64	11,33	12,55	16,03	19,08	19,69
UR (%)	69,85	78,80	79,91	77,60	74,91	65,85	58,53	57,16	49,55	60,84	75,19	79,57
----- Tipo climático Cfb (Estação Curitiba-PR) -----												
T (°C)	25,17	23,26	21,80	21,45	19,25	18,13	16,64	17,03	19,72	21,41	20,13	23,05
T_{dew} (°C)	17,40	16,32	15,88	14,67	13,79	11,47	9,75	9,58	12,10	13,95	14,09	15,70
UR (%)	64,27	67,48	70,97	67,26	72,05	67,21	66,24	64,47	65,35	66,26	70,29	65,80
----- Tipo climático Cfa (Estação Porto Alegre-RS) -----												
T (°C)	26,68	24,60	23,01	21,82	19,08	18,49	13,66	15,59	16,93	20,61	22,25	24,67
T_{dew} (°C)	22,13	19,77	18,78	19,06	17,29	14,48	10,07	10,66	12,25	16,23	16,83	18,54
UR (%)	77,85	76,51	78,63	85,47	90,11	79,20	80,57	74,57	76,04	78,72	73,60	71,46

Tabela 1. Erro absoluto médio (*MAE*), erro quadrado médio (*MSE*), raiz quadrada do erro quadrado médio (*RMSE*), normalização da raiz quadrada do erro quadrado médio (*NRMSE*), coeficiente de correlação (*r*), coeficiente de determinação (*R*²), índices “*d*” e “*c*”, e desempenhos obtidos nas associações entre *ea*_{padrão} (Equação 1) vs *ea*_{alternativo} (Equação 2 a 4) horária, para oito diferentes tipos climáticos localizados no Brasil.

Clima ⁽¹⁾	Eq. Padrão VS Eq. Alternativa	<i>MAE</i>	<i>MSE</i>	<i>RMSE</i>	<i>NRMSE</i>	<i>d</i>	<i>r</i>	<i>R</i> ²	<i>c</i>	Desempenho
		----- (kPa) -----			(%)	----	Adimensional	----		
Af	Eq. 1 vs Eq.2	0,02	0,00	0,02	10,60	1,00	0,99	0,99	0,99	"Ótimo"
	Eq. 1 vs Eq.3	0,00	0,00	0,01	3,80	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 1 vs Eq.4	0,01	0,00	0,01	5,30	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Am	Eq. 1 vs Eq.2	0,01	0,00	0,02	14,10	1,00	0,99	0,98	0,99	"Ótimo"
	Eq. 1 vs Eq.3	0,00	0,00	0,01	4,10	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 1 vs Eq.4	0,01	0,00	0,01	7,10	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Aw	Eq. 1 vs Eq.2	0,01	0,00	0,02	3,90	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 1 vs Eq.3	0,00	0,00	0,01	1,60	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 1 vs Eq.4	0,01	0,00	0,01	1,90	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Bsh	Eq. 1 vs Eq.2	0,01	0,00	0,02	4,70	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 1 vs Eq.3	0,00	0,00	0,01	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 1 vs Eq.4	0,01	0,00	0,01	2,40	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Cfa	Eq. 1 vs Eq.2	0,01	0,00	0,02	3,00	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 1 vs Eq.3	0,00	0,00	0,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 1 vs Eq.4	0,01	0,00	0,01	1,50	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Cfb	Eq. 1 vs Eq.2	0,01	0,00	0,02	5,80	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 1 vs Eq.3	0,00	0,00	0,01	2,40	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 1 vs Eq.4	0,01	0,00	0,01	2,90	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Cwa	Eq. 1 vs Eq.2	0,01	0,00	0,02	4,20	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 1 vs Eq.3	0,00	0,00	0,01	1,90	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 1 vs Eq.4	0,01	0,00	0,01	2,10	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
Cwb	Eq. 1 vs Eq.2	0,01	0,00	0,02	6,90	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 1 vs Eq.3	0,00	0,00	0,01	2,20	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"
	Eq. 1 vs Eq.4	0,01	0,00	0,01	3,40	1,00	1,00	1,00	1,00	"Ótimo"

⁽¹⁾ Local de ocorrência dos tipos climáticos: Af – Estação Manaus-AM; Am – Estação Macapá-AP; BSh – Estação Petrolina-PB; Aw – Estação Cristalino-GO; Cwa – Estação Barbacena-MG; Cwb – Estação Uberaba-MG; Cfb – Estação Curitiba-PR; Cfa – Estação Porto Alegre-RS.

Lyra et al. (2004) em estudo sobre o déficit de pressão de vapor em relação a evapotranspiração de referência, concluíram que os métodos que utilizaram a média da umidade relativa do ar para cálculo da pressão atual de vapor apresentaram correlações estreitas. Este fato também foi observado nas equações utilizadas no presente estudo, com a utilização de médias de temperatura e umidade relativa para gerar os valores de pressão atual, sendo obtidas

correlações estreitas com coeficiente de determinação $R^2 \cong 1$. Além disso, as associações $ea_{padrão}$ (Equação 1) *vs* $ea_{alternativo}$ (Equação 2 a 4) indicaram que os dados climáticos disponibilizados têm boa qualidade, visto que valores médios de UR ou T utilizados nas equações proporcionaram resultados similares.

Jerszurki et al. (2017) em estudo que buscou o desenvolvimento de um método alternativo para estimativa da ET_o obtiveram, em análise de sensibilidade, grande variabilidade no déficit de saturação (Δe) entre os tipos climáticos, principalmente comparando-se climas úmidos aos mais áridos. Apesar de haver a variação dos valores de Δe entre climas, justificado por haver diferença nas amplitudes das variáveis de temperatura e umidade relativa para cada clima, as equações para estimativa da ea mostraram-se adequadas em qualquer um dos oito climas analisados.

Santos et al. (2019) analisando as mesmas equações alternativas testadas no presente estudo (Equações 1 a 4) para o cálculo da pressão atual de vapor (ea) na periodicidade horária, também não encontraram diferenças estatísticas nos resultados obtidos para 25 estações climatológicas no Estado do Paraná, possuindo climas Cfa ou Cfb . Os resultados obtidos no presente estudo com os encontrados por Santos et al. (2019), no Estado do Paraná, evidenciam que qualquer uma das equações testadas (Equações 1 a 4) podem ser utilizadas sem problema, com o mesmo desempenho, na estimativa da pressão atual de vapor na periodicidade horária.

CONCLUSÕES

As quatro equações de estimativa da pressão atual de vapor (ea) horária, testadas para os oito tipos climáticos brasileiros (Af , Am , Aw , Bsh , Cfa , Cfb , Cwa e Cwb), não apresentaram diferenças estatísticas, obtendo desempenho “ótimo” em todas as análises.

A escolha da equação mais adequada para estimar a ea deve se basear na disponibilidade e qualidade dos dados climáticos necessários para os cálculos.

LITERATURA CITADA

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

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

ASCE-EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Report of the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. Reston: **Institute of the American Society of Civil Engineers**; 2005.

COSTA, E. V. Medidas da Umidade Relativa do Ar em um Ambiente Fechado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 25, n. 3, Setembro, 2003.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. **FAO Irrigation and drainage paper 24**. Revised. 1977.

- HOSSEINI, S.; JAFARI, J.; GHORBANI, M. Sensitivity of the FAO-Penman Monteith Reference Evapotranspiration Equation to Change in Climatic Variables in the North-Western Iran. **Research in Civil and Environmental Engineering**, v.1; p. 28-40, 2013.
- DELGADO, R. C. Avaliação do modelo físico-matemático para estimativa da umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor a partir de dados de temperatura do ar. **Dissertação do Programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola**, Universidade Federal de Viçosa-Minas Gerais, 2007.
- JERSZURKI, D.; SOUZA, J. L. M.; SILVA, L. C. R. Expanding the geography of evapotranspiration: An improved method to quantify land-to-air water fluxes in tropical and subtropical regions. **PLOS ONE**, v.12, n.6, 2017. Doi:10.1371/journal.pone.0180055.
- KOPPEN, W. Das geographische System der Klimate. – KOPPEN, W., R. GEIGER – Gebruder Borntrager, Berlin, (Eds.): **Handbuch der Klimatologie**, part C. v.1, p.1-44, 1936.
- LYRA, G. B.; PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; LYRA, G. B.; et al. Média diária do déficit de pressão de saturação do vapor d'água do ar e sua influência na evapotranspiração de referência pelo modelo de Penman-Monteith (FAO 56) em Piracicaba – SP. **Eng. Agríc.** Jaboticabal, v.24, n.2, p.328-337, 2004.
- MIRANDA, J. H.; ANGELOCCI, L. R.; SILVA, K. O. DUARTE, S. N.; NOVA, N. A. V. Aplicação de métodos numéricos para estimativa de variáveis psicrométricas. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.26, n.3, p. 686-694, 2006.
- OLIVEIRA, A. G. A importância dos dados das variáveis climáticas nas pesquisas em Geografia: um estudo de caso empregando a precipitação pluviométrica. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia v. 10, n. 32, 2009.
- RADIN, B.; MATZENAUER, R. Uso das informações meteorológicas na agricultura do Rio Grande do Sul. SBAGro. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.24, n.1, p. 41-54, 2016.
- TETENS, O. **Über einige meteorologische Begriffe**. Zeitschrift Geophysic, Wurzburg, v. 6, p. 297-309, 1930.
- SANTOS, A. A.; SOUZA J. L. M.; ROSA, S. L. K.; COELHO, J. V.; SILVA, D. P.1; GRABARSKI, F. A. P. Desempenho de equações para estimativa da pressão atual de vapor. **Anais. CONVIBRA**, 2019. 9p. (Evento Online: www.convibra.org)
- VIEIRA, L. Meteorologia e climatologia agrícola: notas de aula. 2009. Disponível em: >http://www.professormendoncauenf.com.br/ag_meteorologia_livro.pdf<. Acesso em 09 de março de 2019.
- WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin American Meteorology Society**. v. 63, n. 11, p. 1309-1313, 1982.
- ZAMBRANO-BIGIARINI, M. hydroGOF: Goodness-of-fit functions for comparison of simulated and observed hydrological time series. **R package version 0.3-10**. URL <<https://github.com/hzambran/hydroGOF>>. 2017. DOI:10.5281/zenodo.840087.