REVISTA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Amazonian Journal
of Agricultural and Environmental Sciences
www.ajaes.ufra.edu.br

http://dx.doi.org/10.4322/rca.2322

ARTIGO ORIGINAL

Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Pelotas, Rio Grande do Sul

Methods for estimating reference evapotranspiration for Pelotas, Rio Grande do Sul

Márcia Oliveira Curi Hallal[1]
Edgar Ricardo Schöffel[1]*
Gabriel Franke Brixner[1]
Antônio Ribeiro da Cunha[2]

[1] Universidade Federal de Pelotas – UFPEL, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Departamento de Fitotecnia, Programa de Pós-graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Caixa Postal 354, 96100-900, Pelotas, RS, Brasil
[2] Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, Departamento de Proteção Vegetal, Caixa Postal 237, 18603-970, Botucatu, SP, Brasil
***Autor Correspondente:**
E-mail: ricardo_schoffel@ufpel.edu.br

PALAVRAS-CHAVE
Penman-Monteith
Métodos empíricos
Índice de desempenho

KEYWORDS
Penman-Monteith
Empirical methods
Performance rate

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo comparar os métodos indiretos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) com o método padrão Penman-Monteith nas escalas diária, quinquidial, mensal e estações do ano para a região de Pelotas, RS, e indicar o método alternativo de melhor desempenho. Foram utilizados dados do período 1971-2010 de uma estação meteorológica convencional para estimar a evapotranspiração de referência através dos métodos: Tanque Classe A, Thornthwaite, Camargo, Makkink, Radiação Solar, Jensen-Hayse, Linacre, Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle e Penman-Monteith. A partir da ETo média diária, constata-se que todos os métodos apresentaram a mesma tendência, apresentando valores mais elevados nos meses do verão e menores no inverno. Destaca-se os métodos que utilizam a radiação solar incidente no cálculo da ETo, pois tiveram desempenho superior aos que se utilizam apenas da temperatura do ar. Verificaram-se diferenças de desempenho entre os métodos nas escalas de tempo analisadas, sendo que o método que melhor se ajustou ao padrão, em todas as escalas, foi o Blaney-Criddle, seguido dos métodos Makkink e Radiação Solar. Devido ao baixo desempenho, não se recomenda os métodos Thornthwaite e Tanque Classe A.

ABSTRACT: *This study aimed to compare the indirect methods for estimating reference evapotranspiration (ETo) with the standard method Penman-Monteith in daily, quinquidial and monthly scales, considering the seasons in the region of Pelotas-RS, and indicate the alternative method of better performance. Data from the period between 1971-2010 of a conventional meteorological station were used to estimate the reference evapotranspiration by the methods: Class A pan, Thornthwaite, Camargo, Makkink, Solar Radiation, Jensen-Hayse, Linacre, Hargreaves-Samani, Blaney-Criddle and Penman-Monteith. All methods showed the same trend, with the highest values in the summer months and the lowest values in winter. The methods using solar radiation to calculate ETo exhibited superior performance compared to those using only the air temperature. There were differences in performance between the methods at the time scales analyzed. The method that best fit compared to standard at all time scales was the Blaney-Criddle, and in followed the methods Makkink and Solar Radiation. Is not advisable the methods of Thornthwaite and Class A pan due to the low performance.*

Recebido: 10 mar. 2016
Aceito: 19 maio 2017

1 Introdução

Atualmente, as atividades agrícolas têm exigido maior eficiência na utilização da água, visando o aumento da produtividade por litro de água consumida nas lavouras (Silveira Filho, 2005). A transferência de água pela evaporação do solo e pela transpiração das plantas é chamada de evapotranspiração. A evapotranspiração de uma superfície de grama com altura entre 0,08 e 0,15 m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo e sem restrição de água é definida como evapotranspiração de referência (ETo) (Doorenbos & Pruitt, 1977; Allen et al., 2006).

Dentre os muitos métodos para estimar a ETo, o método de Penman-Monteith é recomendado pela FAO como o mais adequado e preciso, pois incorpora aspectos termodinâmicos e aerodinâmicos da cultura, considerando as resistências aerodinâmica e da vegetação (Allen et al., 2006).

No entanto, o método de Penman-Monteith requer variáveis meteorológicas muitas vezes não disponíveis em estações meteorológicas e, por esse motivo, pesquisas têm sido desenvolvidas no sentido de avaliar métodos que utilizem menor número de variáveis meteorológicas e apresentem melhor desempenho em relação ao método padrão. Entre essas pesquisas destacam-se as de: Conceição & Mandelli (2005), em Bento Gonçalves, RS; Back (2008), em Urussanga, SC; Barros et al. (2009), na Região de Seropédica, RJ; Pereira et al. (2009), na Serra da Mantiqueira, MG; Bragança et al. (2010), para três locais no Estado do Espírito Santo; Souza et al. (2010), em quatro locais no Estado de Sergipe; Silva et al. (2011), em Uberlândia, MG; Fanaya Júnior et al. (2012), em Aquidauana, MS; Pilau et al. (2012), em dois locais do Rio Grande do Sul; Tagliaferre et al. (2012), em três locais da Bahia; Cunha et al. (2013), em Chapadão do Sul, MS; e Moura et al. (2013), para a bacia de Pernambuco.

Diferenças de clima e condições atmosféricas de cada região justificam as diferenças nas estimativas de cada método e demandam sejam feitos estudos regionais e sazonais para identificar o método de cálculo da ETo mais adequado às condições locais. No Brasil, atualmente, existe uma rede de estações meteorológicas automáticas, vinculada ao INMET, o qual disponibiliza os dados horários para aproximadamente 500 cidades, facilitando, assim, a determinação da ETo pelo método de Penman-Monteith. Porém estudos desse gênero ainda apresentam relevância científica, pois a disponibilidade desses dados de estação meteorológicas automáticas é limitada e recente. Estudos climatológicos necessitam utilizar métodos precisos para determinar a ETo em, por exemplo, zoneamentos agrícolas e em mudanças climáticas.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho dos métodos indiretos de cálculo da evapotranspiração de referência em comparação com o método Penman-Monteith, nas escalas diária, quinquidial, mensal e estações do ano, para as condições climáticas da região de Pelotas, RS, de forma a indicar o método alternativo de melhor desempenho.

2 Material e Métodos

Para este estudo foram analisados os dados meteorológicos diários de 40 anos (1971-2010) de uma estação convencional, Estação Agroclimatológica de Pelotas (31º52'S, 52º21'W, 13 m), no Rio Grande do Sul. O clima da região é do tipo subtropical úmido, com temperatura média do mês mais frio (julho) de 12,3 °C e do mês mais quente (janeiro) de 23,2 °C (UFPEL, 2017).

Os valores da evapotranspiração de referência (ETo, mm) foram estimados pelos métodos Tanque Classe A (EToTA), Thornthwaite (EToTH), Camargo (EToCA), Makkink (EToMK), Radiação Solar (EToRS), Jensen-Hayse (EToJH), Linacre (EToLI), Hargreaves-Samani (EToHS), Blaney-Criddle (EToBC) e Penman-Monteith (EToPM), cujas expressões são descritas em Pereira et al. (1997) e Hallal (2012).

Para o cálculo da EToPM, o saldo de radiação (MJ m^{-2} d^{-1}) foi calculado, conforme metodologia recomendada pelo documento FAO 56 e utilizado por Pereira et al. (2009) e Silva et al. (2011), somando-se o saldo de radiação de ondas curtas, estimados por meio da insolação, e utilizando-se coeficientes calibrados mensalmente para a região de Pelotas (Steinmetz et al., 1999), com o saldo de radiação de ondas longas (MJ m^{-2} d^{-1}).

Após o cálculo diário da ETo para cada método, foi feita a média da ETo diária nas demais escalas de tempo (quinquidial, mensal e das estações do ano). Posteriormente foi realizada comparação individual, em cada escala de tempo estudada, com o método padrão de Penman-Monteith. Foi determinado o coeficiente de correlação (r), obtido da correlação linear entre cada método e o método padrão, pela Equação 1 (Meyer 1976):

$$r = \frac{\Sigma\left[\left(x_i - \overline{x}\right)\left(y_i - \overline{y}\right)\right]}{\sqrt{\Sigma\left(x_i - \overline{x}\right)^2 \Sigma\left(y_i - \overline{y}\right)^2}} \quad (1)$$

em que: x_i são os valores a ser comparados com o método padrão; y_i são valores estimados pelo método padrão; e $\overline{x}$ e $\overline{y}$, as médias respectivas de x_i e y_i.

O grau de significância do coeficiente de correlação (r) foi determinado através do teste t Student e comparado com o valor crítico de t com (n-2) graus de liberdade. A prova estatística foi feita pela Equação 2:

$$t = r\sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (2)$$

A significância do coeficiente de correlação é determinada por valor do t calculado ser maior que o valor de t crítico no nível de 1% de significância, enquanto que a exatidão foi determinada pelo índice de Willmott (d), segundo metodologia apresentada por Camargo & Sentelhas (1997), expressa pela Equação 3:

$$d = 1 - \left[\frac{\Sigma\left(x_i - y_i\right)^2}{\Sigma\left(\left|x_i - y\right| + \left|y_i - \overline{y}\right|\right)^2}\right] \quad (3)$$

Índice de desempenho (c = rd) com o método padrão: considerado ótimo (OT) quando apresenta valores maiores que 0,86; muito bom (MB) para valores entre 0,76 e 0,85; bom (BO) para valores entre 0,66 e 0,75; mediano (ME) para valores entre 0,61 e 0,65; sofrível (SO) para valores entre 0,51 e 0,60; mau (MA) para valores entre 0,41 e 0,50; e péssimo (PE) para valores inferiores a 0,41.

Para dar suporte a essa classificação também foi calculado o valor do Erro Padrão de Estimativa (EPE), Equação 4, através da expressão:

$$EPE = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - y_i\right)^2} \quad (4)$$

Os resultados das comparações diárias e quinquidiais foram tabulados sazonalmente, para facilitar sua apresentação e uso em projetos de irrigação. Foi utilizado o teste Tukey ao nível de 5% para comparação de médias.

3 Resultados e Discussão

Ao se analisarem as médias diárias mensais da evapotranspiração de referência (ETo, mm d^{-1}) constantes na Tabela 1, observa-se que nenhum dos métodos apresenta valores médios mais próximos dos valores estimados pelo método padrão de Penman-Monteith (EToPM), em todos os meses do ano.

Todos eles apresentaram tendência semelhante ao longo do ano, ou seja, decrescente de janeiro a junho e crescente de julho a dezembro, o que é devido à disponibilidade energética, que ocorre em função da posição relativa Terra-Sol (Figura 1). Os maiores valores de ETo foram observados de novembro a fevereiro, e os menores, entre os meses de março a outubro (Tabela 1 e Figura 1). Ao se analisar a ETo entre os meses observa-se que EToLI foi o método que apresentou menor variabilidade – menor amplitude da ETo entre todos os meses do ano. Mesmo sendo esse método baseado numa simplificação da metodologia de Penman-Monteith (Fernandes et al., 2010), ele não foi capaz de reproduzi-lo, pois é um método mais simples e menos sensível. A maior variabilidade da ETo entre os meses foi observada em EToTA, o que possivelmente esteja associado à forma de obtenção dessa estimativa, que depende do uso de um coeficiente de correção (Kp), o qual pode não traduzir satisfatoriamente a variação da adveção local ao longo do ano.

Nos meses de abril a agosto (meses mais frios e de menor demanda atmosférica), todos os métodos analisados superestimaram em relação à EToPM. De janeiro a março (meses mais quentes e de maior demanda atmosférica), a maior parte dos métodos superestimaram, com exceção dos métodos EToMK e EToLI, o que corrobora Oliveira et al. (2005), Alencar et al. (2011) e Silva & Souza (2011), que observaram esse mesmo comportamento desses métodos em regiões brasileiras de clima quente. Nos meses de outubro a dezembro (meses com grande demanda atmosférica), a EToMK subestimou a EToPM, assim

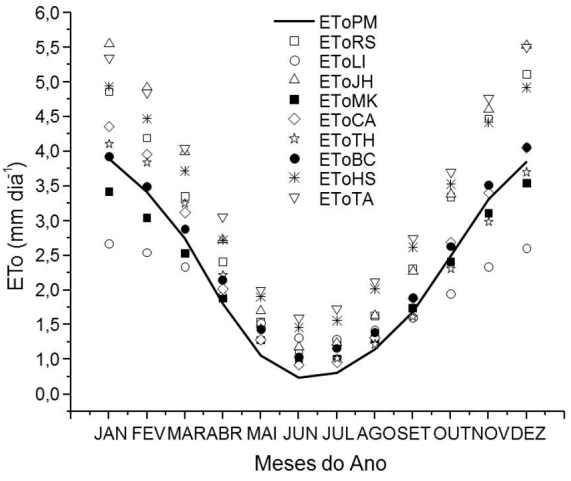

Figura 1. Tendência mensal normal da evapotranspiração de referência (ETo) para a região de Pelotas, RS, 1971-2010.

Figure 1. Normal monthly trend of reference evapotranspiration (ETo) to Pelotas region, RS, from 1971 to 2010.

Tabela 1. Média diária da evapotranspiração de referência (ETo, mm d^{-1}) estimada para cada mês pelos métodos Penman-Monteith (EToPM), Radiação Solar (EToRS), Linacre (EToLI), Jensen-Hayse (EToJH), Makkink (EToMK), Camargo (EToCA), Thornthwaite (EToTH), Blaney-Criddle (EToBC), Hargreaves-Samani (EToHS) e Tanque Classe A (EToTA), no período de 1971-2010, em Pelotas, RS.

Table 1. Daily mean of estimating reference evapotranspiration monthly by the methods Penman-Monteith (EToPM), Solar Radiation (EToRS), Linacre (EToLI), Jensen-Hayse (EToJH), Makkink (EToMK), Camargo (EToCA), Thornthwaite (EToTH), Blaney-Criddle (EToBC), Hargreaves-Samani (EToHS) e Class A pan (EToTA), from 1971 to 2010, in Pelotas, RS.

Mês	Métodos (mm d^{-1})									
	EToPM	**EToRS**	**EToLI**	**EToJH**	**EToMK**	**EToCA**	**EToTH**	**EToBC**	**EToHS**	**EToTA**
JAN	3,80 DE	4,74 BC	2,60 F	5,40 A	3,34 E	4,25 CD	4, 01 D	3,82 DE	4,81 BC	5,21 AB
FEV	3,42 E	4,19 C	2,54 G	4,92 A	3,04 F	3,96 CD	3,84 D	3,49 E	4,47 B	4,84 A
MAR	2,75 E	3,35 C	2,33 F	3,99 A	2,53 F	3,12 D	3,25 CD	2,88 E	3,72 B	4,05 A
ABR	1,76 F	2,34 BC	1,86 DEF	2,65 AB	1,83 EF	1,97 DEF	2,16 CD	2,09 CDE	2,64 AB	2,96 A
MAI	1,06 E	1,55 C	1,52 C	1,70 B	1,28 D	1,28 D	1,45 C	1,43 C	1,90 A	2,01 A
JUN	0,72 F	1,10 D	1,28 BC	1,14 CD	0,93 E	0,89 E	1,00 DE	1,00 DE	1,43 AB	1,56 A
JUL	0,79 F	1,18 C	1,26 C	1,20 C	0,98 DE	0,93 EF	0,98 DE	1,13 CD	1,52 B	1,70 A
AGO	1,13 D	1,59 B	1,38 BC	1,59 B	1,27 CD	1,27 CD	1,19 CD	1,36 C	1,97 A	2,07 A
SET	1,65 CD	2,25 B	1,56 D	2,21 B	1,69 CD	1,83 CD	1,57 CD	1,84 C	2,55 A	2,68 A
OUT	2,43 B	3,25 A	1,90 C	3,29 A	2,35 B	2,62 B	2,25 BC	2,56 B	3,44 A	3,60 A
NOV	3,23 BC	4,36 A	2,27 D	4,49 A	3,03 BC	3,31 BC	2,91 C	3,41 B	4,31 A	4,64 A
DEZ	3,76 C	4,98 AB	2,53 D	5,38 A	3,45 C	3,94 C	3,60 C	3,95 C	4,79 B	5,36 AB

Valores médios seguidos da mesma letra na linha não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste Tukey.

como EToTH e EToLI, que também subestimam o método padrão à partir do mês de setembro (Tabela 1 e Figura 1). A EToPM aumentou mais em relação a EToTH, pois a EToPM é mais sensível e detecta melhor as variações do clima devido aos elementos meteorológicos envolvidos no seu cálculo, como UR e U_2, enquanto que métodos dependentes apenas da T são mais "cegos", apesar do aumento na temperatura nos meses citados (UFPEL, 2017).

A maior proximidade das estimativas mensais da EToPM foi obtida por EToBC, entre os meses de outubro até março (meses mais quentes) (Tabela 1 e Figura 1), fato que pode ser atribuído ao EToBC utilizar dados de umidade relativa, velocidade do vento e insolação, os quais melhoram a sua estimativa nesses meses (Fernandes et al., 2010). Já nos meses de abril, agosto e setembro (meses mais frios), foram obtidas melhores estimativas com EToMK, o qual baseia-se no método de Penman-Monteith e utiliza dados de radiação solar global (Fernandes et al., 2010).

Os valores apresentados na Tabela 1 são resultados da média de todos os dias de cada mês, assim, considerando como exemplo EToPM e EtoMK, para o mês de janeiro foram obtidos 3,80 e 3,34 $mmdia^{-1}$, respectivamente, o que apresenta uma diferença de 0,46 $mmdia^{-1}$, a qual não é significativa pelo teste Tukey. Porém isso resultará em uma subestimativa de 14,26 mm (14 L m^{-2}) da ETo para esse mês, que dependendo da cultura e da fase em que ela se encontra, pode acarretar diminuição da produtividade.

A variabilidade mensal apresentada por todos os métodos (Tabela 1) seguiu a mesma tendência da curva mensal observada por Camargo & Sentelhas (1997), Oliveira & Carvalho (1998), Borges & Mendiondo (2007), Souza et al. (2010), Alencar et al. (2011), Fanaya Júnior et al. (2012) e Moura et al. (2013), diferindo apenas quanto aos valores das estimativas, sendo que EToBC, EToCA e EToTH subestimaram os valores em praticamente todos os meses do ano, assim como observado neste estudo (Tabela 1 e Figura 1), possivelmente porque os coeficientes originais dessas equações, especialmente para a variável temperatura do ar, não expressam suficientemente as condições desses ambientes. Em locais de clima mais quente do que o desta pesquisa, autores como Oliveira & Carvalho (1998), em Seropédia e em Campos, RJ, Alencar et al. (2011), em Uberaba, MG, e Moura et al. (2013), no Agreste do Estado de Pernambuco, encontraram superestimativa da ETo em todos os meses do ano para os métodos da Radiação Solar e Hargreaves-Samani.

Comparando-se as estimativas de ETo, em relação ao método padrão (EToPM), observa-se que ao longo de todo o período analisado (1971-2010), destacaram-se EToBC e EToMK, os quais demonstraram desempenho ótimo (c = 0,91) e muito bom (c = 0,85), respectivamente (Tabela 2). Além de apresentarem menor valor de erro padrão de estimativa (EPE), de 0,51 e 0,60 mm dia^{-1}, respectivamente. A EToRS (c = 0,81) e EToJH (c = 0,79) apresentaram desempenho classificado como muito bom e valores de EPE em torno de 1,13 e 1,35 mm dia^{-1}, respectivamente.

Observa-se, ainda, que embora EToLI, EToCA e EToHS tenham apresentado valores de c muito próximos, o valor do R^2 e do EPE indicam que dos três métodos EToLI foi o que melhor se ajustou a EToPM. EToTA (c = 0,63) e EToTH (c = 0,60) apresentaram os piores desempenhos (Tabela 2).

O método Blaney-Criddle, que pode ser aplicado para várias condições climáticas (Doorenbos & Pruitt, 1977; Smith et al., 1996), foi o método que se destacou quanto ao desempenho em todas as escalas de tempo analisadas, mesmo sendo um método desenvolvido para escala mensal. Isso sugere que as modificações sugeridas por Frevert et al. (1983), exigindo dados de umidade relativa do ar, velocidade do vento e insolação, fizeram com que o método ficasse refinado, possibilitando o seu uso em todas escalas.

Os métodos usados que levam em conta apenas a temperatura do ar, como o Thornthwaite, que é baseado apenas num índice de eficiência de temperatura anual (Fernandes et al., 2010), não foi capaz de estimar a ETo com desempenho adequado, tendo apresentado desempenho sofrível (Tabela 2).

Os métodos que levam em conta a radiação solar incidente na superfície para estimar a ETo (Radiação Solar, Jensen-Hayse e Makkink) foram aqueles que apresentaram melhor desempenho (muito bom) (Tabela 2), sendo considerados boas alternativas, o que corrobora Conceição & Mandelli (2005), Reis et al. (2007),

Tabela 2. Erro padrão de estimativa (EPE, mm d^{-1}), coeficientes de determinação (r^2), de correlação (r), de exatidão (d), de desempenho (c) e classificação da comparação da evapotranspiração de referência (ETo) para os métodos Radiação Solar (EToRS), Linacre (EToLI), Jensen-Hayse (EToJH), Makkink (EToMK), Camargo (EToCA), Thornthwaite (EToTH), Blaney-Criddle (EToBC), Hargreaves-Samani (EToHS) e Tanque Classe A (EToTA) em relação ao método Penman-Monteith (EToPM) obtidos com dados diários, para Pelotas, RS, no período de 1971-2010.

Table 2. Standard error of the estimation (EPE, mm d^{-1}), coefficients of determination (r2), correlation (r), accuracy (d), performance (c) and sorting of comparison of reference evapotranspiration (ETo) by the methods Solar Radiation (EToRS), Linacre (EToLI), Jensen-Hayse (EToJH), Makkink (EToMK), Camargo (EToCA), Thornthwaite (EToTH), Blaney-Criddle (EToBC), Hargreaves-Samani (EToHS) and Class A pan (EToTA) in relation to the Penman-Monteith (EToPM) obtained with daily data to Pelotas, RS, from 1971 to 2010.

	EToRS	EToLI	EToJH	EToMK	EToCA	EToTH	EToBC	EToHS	EToTA
EPE	1,13	0,91	1,35	0,6	0,91	1,02	0,51	1,21	1,68
r^2	0,84	0,74	0,85	0,81	0,62	0,51	0,89	0,74	0,66
r	0,92	0,86	0,92	0,9	0,79	0,71	0,94	0,86	0,81
d	0,89	0,8	0,85	0,94	0,88	0,84	0,97	0,83	0,77
c	0,81	0,69	0,79	0,85	0,69	0,6	0,91	0,71	0,63
Classif*	MB	BO	MB	MB	BO	SO	OT	BO	ME

*Classificação para o índice desempenho: OT: ótimo; MB: muito bom; BO: bom; ME: mediano; SO: sofrível.

Barros et al. (2009), Pereira et al. (2009), Souza et al. (2010), Alencar et al. (2011), Silva & Souza (2011) e Moura et al. (2013).

O método Radiação Solar é recomendado quando medidas de velocidade do vento e umidade relativa não estão disponíveis e quando se dispõe de medidas de insolação ou de métodos calibrados de estimativa da radiação (Fernandes et al., 2010). O método Makkink é baseado no método Penman, com bons resultados em clima úmido (Rosemberg et al., 1983), enquanto que o Jensen-Hayse foi desenvolvido para regiões áridas e semiáridas (Fernandes et al., 2010).

Já os métodos que utilizam a radiação solar extraterrestre para estimar a ETo (Camargo e Hargreaves-Samani) apresentaram desempenho inferior (bom). O método Camargo, baseado no Thornthwaite, leva em conta também a radiação solar extraterrestre, enquanto que o método Hargreaves-Samani é bem menos complexo que o Penman-Monteith, podendo ser opção quando não existem dados de radiação solar global, umidade relativa do ar e velocidade do vento (Fernandes et al., 2010). Todavia, em muitos casos, devido às condições atmosféricas, a radiação solar no topo da atmosfera não representa adequadamente a energia que atinge a superfície, como faz a radiação solar global.

O método Linacre apresentou bom desempenho, devido ser baseado numa simplificação da metodologia Penman-Monteith (Fernandes et al., 2010). No entanto, o método Tanque Classe A, baseado na evaporação de água livre, pode apresentar erros de leitura, o que piora o seu desempenho, que nesse caso foi mediano (Tabela 2).

Considerando-se a variabilidade climática no decorrer dos meses do ano, em Pelotas, RS, foi realizada uma análise mês a mês da comparação entre as estimativas da ETo obtidas pelos métodos usados. Assim, supondo-se que a escala de tempo adotada pode gerar diferenças nas estimativas, em função das expressões e variáveis utilizadas em cada método, estimou-se a ETo nas escalas diária, quinquidial e mensal para identificar resultados mais precisos (Tabela 3).

Ainda na Tabela 3, observa-se que a EToBC foi a que teve melhor desempenho (c) e menor EPE ao longo dos meses na escala diária (c = 0,71; bom), quinquidial (c = 0,77; muito bom), e mensal (c = 0,65; mediano). Esse método é recomendado pela FAO quando o método Penman-Monteith não pode ser utilizado (Fernandes et al., 2010; Allen et al., 2006) e é indicado para várias condições climáticas (Doorenbos & Pruitt, 1977).

Em todas as escalas analisadas (diária, quinquidial e mensal), a EToBC (c = 0,71) foi o método que apresentou melhor desempenho ao longo do ano, principalmente entre os meses de outubro a março. Ainda, os maiores erros observados (EPE) foram na escala diária, o que era esperado em função da maior variabilidade dos elementos envolvidos. Independentemente da escala de tempo, o método Blaney-Criddle foi o que teve o melhor desempenho, corroborando Oliveira et al. (2005), Araújo et al. (2007), Borges & Mendiondo (2007), Alencar et al. (2011), Bragança et al. (2010), Cavalcante Junior et al. (2011) e Tagliaferre et al. (2012). Isso está associado ao maior número de elementos climáticos envolvidos no cálculo da ETo (UR, n/N, U_2 e T).

Considerando-se o método usado em relação à escala temporal, os métodos de Radiação Solar, Linacre, Jensen-Hayse, Makkink, Hargreaves-Samani e Tanque Classe A tiveram melhor desempenho nas escalas diária e quinquidial. Destaca-se que o Blaney-Criddle apresentou melhor desempenho em relação a todos os métodos em todas as escalas analisadas. Esses resultados corroboram Fernandes et al. (2010), que apresentam a escala temporal de melhor desempenho para cada método. Enquanto que os métodos Thornthwaite e Camargo tiveram os piores desempenhos entre todos os métodos e em todas as escalas (Tabela 3).

O melhor desempenho do método Thornthwaite foi na escala mensal, com o maior valor para o mês de agosto (0,21), embora, mesmo assim, tenha sido classificado como péssimo (Tabela 3). Já o método Camargo, que é semelhante ao Thornthwaite, não teve seu melhor desempenho na escala mensal (péssimo) e sim na quinquidial. No entanto, Back (2008) observou desempenho muito bom para os métodos Thornthwaite e Camargo em Urussanga, SC.

Na análise dos desempenhos nas escalas diária e quinquidial, nas estações do ano, verificou-se que a maioria dos métodos apresentou melhor desempenho na escala quinquidial (Tabelas 4 e 5), o que está de acordo com Reis et al. (2007) e Barros et al. (2009).

Na escala diária e para as estações verão, outono e primavera, com exceção de EToBC, EToMK e EToRS, os métodos avaliados apresentaram desempenho entre mediano e péssimo, com erros elevados. Para os métodos excetuados a classificação ficou entre bom a ótimo, destacando-se EToBC com o melhor desempenho.

Já na escala quinquidial, os métodos se comportaram diferentemente. Na estação inverno, o método EToBC foi o único que apresentou desempenho classificado como bom. Para a estação outono, os métodos EtoBC, EToMK, EToRS, EToLI, EToCA e EToJH apresentaram desempenho entre bom e ótimo. Porém nas estações verão e primavera o desempenho desses métodos caiu, destacando-se EToRS, EToMK e EToBC com classificação entre bom e ótimo nas duas estações (Tabela 5). Quando os dados são agrupados em intervalos maiores de tempo, há melhoria no desempenho geral de todos os métodos (Tabelas 4 e 5), pois acontece compensação dos desvios das estimativas, o que suaviza a diferença entre o valor estimado pelo método em relação ao método padrão.

Notou-se, nas escalas diária e quinquidial (Tabelas 4 e 5) e para todos os métodos estudados, que o desempenho foi pior nos meses de inverno, período do ano em que a temperatura e a radiação solar são menores, apresentando-se consequentemente menor demanda atmosférica, o que também foi detectado por Alencar et al. (2011) em suas análises. Isso deve-se ao fato de a evapotranspiração diminuir nos meses mais frios e, assim, de a estimativa ser mais precisa nos métodos que levam em consideração maior número de fatores que interferem na ETo.

Com base nos coeficientes estatísticos (Tabelas 4 e 5), observou-se que os métodos EToTH, EToTA e EToHS foram os que apresentaram pior desempenho em todas as estações do ano, independentemente da escala de tempo, corroborando Oliveira et al. (2005), Bragança et al. (2010), Souza et al. (2010), Alencar et al. (2011) e Silva & Souza (2011). Os métodos EToRS, EToLI, EToJH, EToMK, EToCA e EToBC apresentaram melhor

Tabela 3. Erro padrão de estimativa (EPE, mm d^{-1}) e coeficiente de desempenho (c) da evapotranspiração de referência (ETo) para os métodos de Radiação Solar (EToRS), Linacre (EToLI), Jensen-Hayse (EToJH), Makkink (EToMK), Camargo (EToCA), Thornthwaite (EToTH), Blaney-Criddle (EToBC), Hargreaves-Samani (EToHS) e Tanque Classe A (EToTA) em relação ao método Penman-Monteith (EToPM), para Pelotas, RS, nas escalas diária, quinquidial e mensal, apresentado mês a mês, no período 1971-2010.

Table 3. Standard error of estimate (EPE, mm d-1) and coefficient of performance (c) of the reference evapotranspiration (ETo) by the methods Solar Radiation (EToRS), Linacre (EToLI), Jensen-Hayse (EToJH), Makkink (EToMK), Camargo (EToCA), Thornthwaite (EToTH), Blaney-Criddle (EToBC), Hargreaves-Samani (EToHS) and Class A pan (EToTA) in relation to the Penman-Monteith (EToPM), to Pelotas, RS, in daily, quinquidial and monthly scales, presented month by month, from 1971 to 2010.

Valores diários

	EToRS		EToLI		EToJH		EToMK		EToCA		EToTH		EToBC		EToHS		EToTA	
	c	EPE	c	EPE	c	EPE	c	EPE	c	EPE	c	EPE	c	EPE	c	EPE	c	EPE
JAN	0,69	1,42	0,38	1,45	0,55	0,96	0,75	0,77	0,04	1,26	0,03	1,23	0,86	0,49	0,29	1,38	0,42	1,98
FEV	0,74	0,94	0,49	1,47	0,57	1,40	0,78	0,94	0,06	1,06	0,04	1,10	0,88	0,56	0,36	1,01	0,35	1,66
MAR	0,70	0,77	0,52	0,95	0,53	1,20	0,72	0,76	0,17	0,79	0,12	0,90	0,85	0,45	0,34	0,90	0,35	1,48
ABR	0,60	0,74	0,59	0,47	0,44	0,96	0,60	0,54	0,07	0,69	0,00	0,89	0,74	0,40	0,24	0,91	0,26	1,44
MAI	0,41	0,64	0,39	0,46	0,28	0,74	0,36	0,48	0,01	0,52	0,01	0,75	0,56	0,41	0,10	0,85	0,19	1,19
JUN	0,28	0,61	0,34	0,57	0,14	0,61	0,18	0,49	0,05	0,52	0,04	0,71	0,43	0,43	0,00	0,81	0,16	1,10
JUL	0,29	0,64	0,35	0,53	0,18	0,63	0,21	0,50	0,00	0,52	0,00	0,67	0,40	0,51	0,14	0,83	0,12	1,27
AGO	0,45	0,75	0,52	0,42	0,36	0,71	0,41	0,56	0,04	0,61	0,03	0,76	0,62	0,44	0,17	0,92	0,21	1,24
SET	0,55	0,91	0,59	0,57	0,51	0,79	0,58	0,61	0,02	0,76	0,01	0,94	0,70	0,48	0,22	0,98	0,25	1,33
OUT	0,66	1,05	0,55	1,06	0,61	0,99	0,75	0,69	0,04	0,94	0,01	1,17	0,81	0,53	0,34	1,04	0,41	1,44
NOV	0,66	1,29	0,51	1,54	0,60	1,30	0,78	0,84	0,05	1,12	0,04	1,39	0,84	0,59	0,36	1,13	0,40	1,68
DEZ	0,61	1,37	0,46	1,87	0,53	1,60	0,69	1,05	0,06	1,20	0,06	1,36	0,84	0,63	0,31	1,17	0,33	1,88

Valores quinquidiais

	EToRS		EToLI		EToJH		EToMK		EToCA		EToTH		EToBC		EToHS		EToTA	
	c	EPE	c	EPE	c	EPE	c	EPE	c	EPE	c	EPE	c	EPE	c	EPE	c	EPE
JAN	0,61	1,18	0,41	1,40	0,44	1,80	0,68	0,60	0,10	0,90	0,06	0,80	0,91	0,30	0,39	1,10	0,37	1,70
FEV	0,66	0,94	0,44	1,00	0,45	1,58	0,75	0,48	0,08	0,88	0,04	0,83	0,91	0,23	0,36	1,18	0,39	1,58
MAR	0,66	0,75	0,51	0,56	0,45	1,37	0,77	0,34	0,35	0,64	0,23	0,76	0,87	0,21	0,39	1,08	0,36	1,46
ABR	0,60	0,74	0,72	0,27	0,48	1,03	0,74	0,29	0,29	0,48	0,15	0,70	0,77	0,35	0,37	1,01	0,33	1,38
MAI	0,46	0,61	0,46	0,47	0,34	0,77	0,49	0,35	0,21	0,39	0,08	0,62	0,61	0,37	0,23	0,94	0,24	0,12
JUN	0,36	0,50	0,39	0,59	0,21	0,55	0,27	0,35	0,00	0,38	0,00	0,57	0,58	0,33	0,06	0,82	0,21	0,96
JUL	0,27	0,54	0,33	0,53	0,20	0,55	0,24	0,35	0,07	0,32	0,05	0,46	0,39	0,41	0,10	0,83	0,13	1,09
AGO	0,50	0,64	6,00	0,34	0,45	0,62	0,55	0,34	0,22	0,38	0,14	0,47	0,72	0,31	0,28	0,96	0,30	1,11
SET	0,62	0,80	0,67	0,24	0,52	0,70	0,65	0,32	0,13	0,50	0,07	0,56	0,78	0,27	0,27	1,04	0,28	1,22
OUT	0,62	0,98	0,55	0,62	0,58	0,97	0,83	0,27	0,14	0,59	0,08	0,68	0,88	0,23	0,42	1,14	0,40	1,33
NOV	0,56	1,30	0,46	1,07	0,51	1,37	0,82	0,35	0,09	0,63	0,09	0,81	0,90	0,27	0,40	1,20	0,39	1,33
DEZ	0,55	1,35	0,40	1,36	0,58	0,97	0,82	0,27	0,08	0,59	0,10	0,68	0,91	0,23	0,38	1,14	0,38	1,33

Valores mensais

	EToRS		EToLI		EToJH		EToMK		EToCA		EToTH		EToBC		EToHS		EToTA	
	c	EPE	c	EPE	c	EPE	c	EPE	c	EPE	c	EPE	c	EPE	c	EPE	c	EPE
JAN	0,33	1,06	0,28	1,25	0,20	1,70	0,40	0,56	0,07	0,59	0,09	0,43	0,88	0,17	0,25	1,06	0,26	1,49
FEV	0,42	0,83	0,33	0,91	0,28	1,51	0,57	0,42	0,01	0,66	0,00	0,57	0,91	0,14	0,28	1,07	0,26	1,48
MAR	0,36	0,66	0,37	0,45	0,20	1,26	0,51	0,29	0,06	0,46	0,06	0,59	0,86	0,15	0,16	0,98	0,17	1,33
ABR	0,42	0,64	0,83	0,13	0,32	0,94	0,76	0,14	0,23	0,29	0,14	0,48	0,63	0,35	0,27	0,92	0,21	1,28
MAI	0,19	0,51	0,23	0,47	0,14	0,66	0,26	0,25	0,11	0,25	0,08	0,45	0,31	0,37	0,08	0,85	0,08	0,97
JUN	0,18	0,41	0,21	0,58	0,17	0,45	0,20	0,24	0,04	0,24	0,04	0,38	0,35	0,30	0,04	0,74	0,04	0,88
JUL	0,14	0,43	0,21	0,50	0,12	0,45	0,15	0,24	0,07	0,24	0,09	0,28	0,31	0,36	0,09	0,77	0,07	0,95
AGO	0,26	0,51	0,38	0,28	0,28	0,50	0,50	0,19	0,09	0,20	0,21	0,19	0,53	0,25	0,13	0,88	0,12	0,99
SET	0,23	0,65	0,73	0,12	0,26	0,59	0,43	0,15	0,16	0,25	0,18	0,23	0,62	0,22	0,13	0,94	0,04	1,10
OUT	0,29	0,87	0,34	0,56	0,24	0,90	0,69	0,15	0,09	0,33	0,09	0,38	0,77	0,17	0,18	1,05	0,15	1,23
NOV	0,31	1,18	0,29	1,00	0,26	1,31	0,69	0,26	0,03	0,33	0,01	0,50	0,82	0,22	0,22	1,12	0,17	1,51
DEZ	0,15	1,34	0,29	1,28	0,20	1,71	0,17	0,52	0,49	0,37	0,54	0,35	0,69	0,31	0,22	1,13	0,06	1,78

Tabela 4. Erro padrão de estimativa (EPE, mm d^{-1}), coeficientes de determinação (r^2), de correlação (r), de exatidão (d) e de desempenho (c) e classificação do desempenho da evapotranspiração de referência (ETo) dos métodos de Radiação Solar (EToRS), Linacre (EToLI), Jensen-Hayse (EToJH), Makkink (EToMK), Camargo (EToCA), Thornthwaite (EToTH), Blaney-Criddle (EToBC), Hargreaves-Samani (EToHS) e Tanque Classe A (EToTA) em relação ao método Penman-Monteith (EToPM) obtidos com dados diários, para Pelotas, RS, no período 1971-2010.

Table 4. Standard error of the estimation (EPE, mm d^{-1}) coefficients of determination (r2), correlation (r), accuracy (d), performance (c) and sorting of comparison of reference evapotranspiration (ETo) by the methods Solar Radiation (EToRS), Linacre (EToLI), Jensen-Hayse (EToJH), Makkink (EToMK), Camargo (EToCA), Thornthwaite (EToTH), Blaney-Criddle (EToBC), Hargreaves-Samani (EToHS) and Class A pan (EToTA) in relation to the Penman-Monteith (EToPM) obtained with daily data to Pelotas, RS, from 1971 to 2010.

Métodos	EPE	r^2	r	d	c	Classif.	EPE	r^2	r	d	c	Classif.
	Verão						Inverno					
EToRS	1,28	0,81	0,90	0,81	0,73	bom	0,84	0,50	0,71	0,73	0,51	sofrível
EToLI	1,22	0,58	0,76	0,63	0,48	mau	0,56	0,42	0,65	0,74	0,48	mau
EToJH	1,82	0,76	0,87	0,67	0,59	sofrível	0,79	0,41	0,64	0,70	0,45	mau
EToMK	0,68	0,75	0,86	0,90	0,77	muito bom	0,57	0,39	0,62	0,78	0,49	mau
EToCA	1,17	0,09	0,30	0,54	0,16	péssimo	0,64	0,12	0,35	0,59	0,21	péssimo
EToTH	1,18	0,04	0,20	0,50	0,10	péssimo	0,77	0,03	0,17	0,49	0,09	péssimo
EToBC	0,44	0,86	0,93	0,96	0,89	ótimo	0,54	0,59	0,77	0,83	0,64	mediano
EToHS	1,32	0,42	0,65	0,65	0,42	mau	1,04	0,26	0,51	0,55	0,28	péssimo
EToTA	1,95	0,47	0,68	0,62	0,42	mau	1,38	0,28	0,53	0,52	0,27	péssimo
	Outono						Primavera					
EToRS	0,82	0,69	0,83	0,82	0,68	bom	1,44	0,79	0,89	0,79	0,71	bom
EToLI	0,58	0,62	0,78	0,81	0,63	mediano	1,09	0,68	0,83	0,71	0,58	sofrível
EToJH	1,03	0,66	0,81	0,75	0,61	mediano	1,52	0,77	0,88	0,77	0,67	bom
EToMK	0,54	0,60	0,77	0,87	0,68	bom	0,63	0,74	0,86	0,92	0,79	muito bom
EToCA	0,67	0,42	0,64	0,78	0,50	mau	1,04	0,22	0,47	0,66	0,31	péssimo
EToTH	0,91	0,26	0,51	0,68	0,35	péssimo	1,16	0,16	0,40	0,63	0,25	péssimo
EToBC	0,51	0,80	0,89	0,90	0,81	muito bom	0,53	0,84	0,92	0,95	0,87	ótimo
EToHS	1,07	0,50	0,71	0,67	0,48	mau	1,38	0,49	0,70	0,70	0,49	mau
EToTA	1,47	0,47	0,68	0,62	0,42	mau	1,87	0,52	0,72	0,67	0,48	mau

desempenho, com destaque para os métodos EToBC e EToMK, corroborando resultados obtidos por vários autores, entre eles: Oliveira et al. (2005), Alencar et al. (2011), Pilau et al. (2012) e Tagliaferre et al. (2012).

Para Pelotas, a EToLI mostrou alteração no desempenho nas estações do ano nas escalas diária e quinquidial, partindo de mau (verão e inverno) e sofrível (primavera) até mediano (outono), enquanto que para o Estado de São Paulo, o desempenho desse método foi classificado como mau (Camargo & Sentelhas, 1997). Porém, em clima semiárido, mesmo na escala diária, esse método obteve bom desempenho em três regiões e desempenho muito bom em uma região do Estado de Sergipe (Souza et al. 2010).

Ainda, na escala quinquidial, o método Jensen-Hayse mostrou índice c variando de 0,51, no verão, a 0,71, no outono, classificando-se o desempenho do método como mau e bom (Tabela 5), respectivamente, nessas estações, sofrível no inverno e bom na primavera. Esses resultados diferem dos de Pereira et al. (2009) que, na Serra da Mantiqueira, MG, analisando estimativas da evapotranspiração de referência nas escalas diária e mensal durante períodos secos (abril a setembro) e chuvosos (outubro a março), entre 2007 e 2008, identificaram na escala diária o melhor ajuste do método Jensen-Hayse, com desempenho muito bom e ótimo em período seco e chuvoso, respectivamente.

Situações como as exemplificadas evidenciam as diferenças de ajustes entre os vários métodos em relação ao método padrão, associadas a diferenças climáticas regionais e, em muitos casos, a períodos de análise não representativos, o que dificulta a comparação.

De todos os métodos analisados, Blaney-Criddle foi o que se apresentou melhor nos períodos diário e quinquidial, em todas as estações do ano, na região de Pelotas, com maior valor dos coeficientes de correlação e de índices de exatidão e, como consequência, melhor índice de desempenho e menor valor de erro (Tabela 5). Esse conjunto de resultados o identifica como método mais adequado para estimar a ETo na região de Pelotas, RS.

Nota-se que métodos dependentes apenas da temperatura do ar (EToLI, EToCA, EToHS e EToTH) não foram adequados para estimar a ETo na região de Pelotas, RS, pois nas estações do ano de maior demanda atmosférica (verão e primavera) apresentaram desempenho entre sofrível e péssimo. As estimativas dos métodos que levam em conta a radiação solar incidente medida (EToMK, EToRS e EToJH) aproximaram-se mais das estimativas do método padrão que as dos métodos que não a consideram nos cálculos, evidenciando-se que essa é uma variável influente na ETo, atuando como fator climático que interfere diretamente nos demais elementos do clima.

Tabela 5. Erro padrão de estimativa (EPE, mm d^{-1}), coeficientes de determinação (r^2), de correlação (r), de exatidão (d) e de desempenho (c) e classificação do desempenho da evapotranspiração de referência (ETo) dos métodos de Radiação Solar (EToRS), Linacre (EToLI), Jensen-Hayse (EToJH), Makkink (EToMK), Camargo (EToCA), Thornthwaite (EToTH), Blaney-Criddle (EToBC), Hargreaves-Samani (EToHS) e Tanque Classe A (EToTA) em relação ao método Penman-Monteith (EToPM) obtidos com dados de 5 dias, para Pelotas, RS, no período 1971-2010.

Table 5. Standard error of the estimation (EPE, mm d^{-1}) coefficients of determination (r2), correlation (r), accuracy (d), performance (c) and sorting of comparison of reference evapotranspiration (ETo) by the methods Solar Radiation (EToRS), Linacre (EToLI), Jensen-Hayse (EToJH), Makkink (EToMK), Camargo (EToCA), Thornthwaite (EToTH), Blaney-Criddle (EToBC), Hargreaves-Samani (EToHS) and Class A pan (EToTA) in relation to the Penman-Monteith (EToPM) obtained with quinquidial scales to Pelotas, RS, from 1971 to 2010.

Métodos	EPE	r^2	r	d	c	Classif.	EPE	r^2	r	d	c	Classif.
	Verão						Inverno					
EToRS	1,06	0,84	0,91	0,75	0,69	bom	0,63	0,69	0,83	0,71	0,59	sofrível
EToLI	1,16	0,71	0,84	0,55	0,46	mau	0,43	0,52	0,72	0,69	0,50	sofrível
EToJH	1,64	0,81	0,90	0,57	0,51	mau	0,59	0,65	0,81	0,69	0,56	sofrível
EToMK	0,51	0,78	0,88	0,87	0,77	muito bom	0,34	0,61	0,78	0,84	0,65	mediano
EToCA	0,82	0,19	0,43	0,63	0,27	péssimo	0,39	0,40	0,63	0,75	0,48	mau
EToTH	0,81	0,10	0,31	0,57	0,18	péssimo	0,50	0,15	0,38	0,62	0,24	péssimo
EToBC	0,23	0,91	0,96	0,98	0,93	ótimo	0,35	0,76	0,87	0,85	0,74	bom
EToHS	1,15	0,63	0,79	0,62	0,49	mau	0,93	0,62	0,79	0,51	0,41	péssimo
EToTA	1,61	0,64	0,80	0,57	0,45	mau	1,12	0,57	0,75	0,48	0,36	péssimo
	Outono						Primavera					
EToRS	0,66	0,84	0,91	0,84	0,77	muito bom	1,20	0,86	0,93	0,75	0,69	bom
EToLI	0,44	0,81	0,90	0,84	0,76	muito bom	0,95	0,85	0,92	0,70	0,64	mediano
EToJH	0,90	0,86	0,93	0,77	0,71	bom	1,29	0,89	0,94	0,72	0,68	bom
EToMK	0,33	0,80	0,89	0,93	0,83	muito bom	0,38	0,83	0,91	0,95	0,86	muito bom
EToCA	0,44	0,70	0,84	0,89	0,75	muito bom	0,62	0,51	0,72	0,82	0,59	sofrível
EToTH	0,66	0,54	0,74	0,80	0,59	sofrível	0,73	0,43	0,66	0,79	0,52	sofrível
EToBC	0,35	0,92	0,96	0,94	0,90	ótimo	0,27	0,92	0,96	0,98	0,94	ótimo
EToHS	0,96	0,82	0,90	0,71	0,64	mediano	1,19	0,77	0,87	0,68	0,60	sofrível
EToTA	1,23	0,78	0,88	0,65	0,58	sofrível	1,57	0,71	0,84	0,62	0,52	sofrível

4 Conclusões

Os métodos que utilizam a radiação solar incidente na estimativa da evapotranspiração de referência tiveram desempenho superior aos que utilizam apenas a temperatura do ar.

O método de cálculo da evapotranspiração de referência mais recomendado para a região de Pelotas, RS, quando não for possível utilizar o método Penman-Monteith, é o Blaney-Criddle, nas escalas diária, quinquidial e mensal; em segundo plano, recomenda-se os métodos Makkink e de Radiação Solar.

Na escala diária, não se recomendam os métodos Camargo, Thornthwaite, Hargreaves-Samani e Tanque Classe A e, na escala quinquidial, não se recomendam os métodos Thornthwaite e Tanque Classe A, devido a seu baixo desempenho.

Referências

ALENCAR, L. P.; DELGADO, R. C.; ALMEIDA, T. S.; WANDERLEY, H. S. Comparação de diferentes métodos de estimativa diária da evapotranspiração de referência para a região de Uberaba. *Agrária*, v. 6, n. 2, p. 337-343, 2011. http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v6i2a1124.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.* Roma: FAO, 2006. 323 p. (Estudio FAO Riego Y Drenaje, 56).

ARAÚJO, W. F.; COSTA, S. A. A.; SANTOS, A. E. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) para Boa Vista-RR. *Caatinga*, v. 20, p. 84-88, 2007.

BACK, A. J. Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para a estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga, SC. *Irriga*, v. 13, p. 449-466, 2008.

BARROS, V. R.; SOUZA, A. P.; FONSECA, D. C.; SILVA, L. B. D. Avaliação da evapotranspiração de referência na Região de Seropédica, Rio de Janeiro, RJ, utilizando lisímetros de pesagem e modelos matemáticos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 4, n. 2, p. 198-203, 2009. http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v4i2a13.

BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M. Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 3, p. 293-300, 2007. http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000300008.

BRAGANÇA, R.; REIS, E. F.; GARCIA, G. O.; PEZZOPANE, J. E. M. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência no período chuvoso para três localidades no estado do Espírito Santo. *Idesia*, v. 28, n. 2, p. 21-29, 2010. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292010000200003.

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, p. 89-97, 1997.

CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. M.; ESPÍNOLA SOB, J. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordestino. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 32, n. 4Sup1, p. 1699-1708, 2011. http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n4Sup1p1699.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; MANDELLI, F. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Bento Gonçalves. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 13, p. 303-307, 2005.

CUNHA, F. F.; MAGALHÃES, F. F.; CASTRO, M. A. Métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul-MS. *Engenharia Agrícola*, v. 21, p. 159-172, 2013.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. *Crop water requirements: guidelines for predicting*. Rome: FAO, 1977. 144 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).

FANAYA JÚNIOR, E. D.; LOPES, A. S.; OLIVEIRA, G. Q.; JUNG, L. H. Métodos empíricos para estimativa da evapotranspiração de referência para Aquidauana-MS. *Irriga*, v. 17, n. 4, p. 418-434, 2012. http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2012v17n4p418.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L.; AMORIM, A. O. *Evapotranspiração: uma revisão sobre os métodos empíricos*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2010. 44 p. (Documentos, 263).

FREVERT, D. R.; HILL, R. W.; BRAATEN, B. C. Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 109, n. 2, p. 265-270, 1983. http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1983)109:2(265).

HALLAL, M. C. *Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração potencial para a região de Pelotas (RS)*. 2012. 74 f. Tese (Doutorado)-Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas, 2012.

MEYER, P. L. *Probabilidade: aplicações à estatística*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos S.A., 1976. 391 p.

MOURA, A. R. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; AZEVEDO, J. R. G.; SILVA, B. B.; OLIVEIRA, L. M. M. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no estado de Pernambuco-BR. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 28, n. 2, p. 181-191, 2013. http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862013000200007.

OLIVEIRA, M. A. A.; CARVALHO, D. F. Estimativa da evapotranspiração de referência e da demanda suplementar de irrigação para o milho em Seropédia e Campos, estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 2, p. 132-135, 1998. http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v02n02p132-135.

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

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDYAMA, G. C. *Evapo(transpi)ração.* Piracicaba: Fealq, 1997. 183 p.

PEREIRA, D. R.; YANAGI, S. N. M.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M.; SILVA, L. A. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Serra da Mantiqueira, MG. *Ciência Rural*, v. 39, n. 9, p. 2488-2493, 2009. http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009000900016.

PILAU, F. G.; BATTISTI, R.; SOMAVILLA, L.; RIGHI, E. Z. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência nas localidades de Frederico Westphalen e Palmeira das Missões, RS. *Ciência Rural*, v. 42, n. 2, p. 283-290, 2012. http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012000200016.

REIS, E. F.; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. O.; PEPOZZONE, J. E. M.; TAGLIAFERRE, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado do Espírito Santo no período seco. *Idesia*, v. 25, p. 75-84, 2007.

ROSEMBERG, N. J.; BLADE, B. L.; VERMA, S. B. *Microclimate: the biological environment*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1983. 495 p.

SILVA, A. P. N.; SOUZA, L. R. Estimativa de evapotranspiração de referência no Semiárido Pernambucano. *Engenharia Ambiental*, v. 8, p. 3-22, 2011.

SILVA, V. J.; CARVALHO, H. P.; SILVA, C. R.; CAMARGO, R.; TEODORO, R. E. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG. *Bioscience Journal*, v. 27, p. 95-101, 2011.

SILVEIRA FILHO, I. L. A Agricultura e os comitês de bacias hidrográficas. In: FEDERAÇÃO DOS CLUBES DE INTEGRAÇÃO E TROCA DE EXPERIÊNCIA-FEDERACITE (Ed.). *As estiagens e as perdas na agricultura: fenômeno natural ou imprevidência?* 1. Ed. Porto Alegre: Ideograf Editora Gráfica, 2005. p. 11-16. (v. 1).

SMITH, M.; ALLEN, R.; PEREIRA, P. Revised FAO methodology for crop water requirements. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EVAPOTRANSPIRATION AND IRRIGATION SCHEDULING, 1996, San Antonio. *Proceedings*... San Antonio: American Society of Agricultural Engineers, 1996. p. 116-123.

SOUZA, I. F.; SILVA, V. P. R.; SABINO, F. G.; NETTO, A. O. A.; SILVA, B. K. N.; AZEVEDO, P. V. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado do Sergipe. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 6, p. 633-644, 2010. http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000600010.

STEINMETZ, S.; ASSIS, F. N.; SOARES, W. R. Estimativa da radiação solar global a partir da insolação na região de Pelotas, Rio Grande do Sul. *Agropecuária Clima Temperado*, v. 2, p. 77-85, 1999.

TAGLIAFERRE, C.; SILVA, J. P.; PAULA, A.; GUIMARÃES, D. U. G.; BARROSO, N. I. S. Estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado da Bahia. *Revista Caatinga*, v. 25, p. 136-143, 2012.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PELOTAS – UFPEL. *Normais climatológicas mensais do período 1971-2000*. Pelotas, 2017. Disponível em: <http://wp.ufpel.edu.br/agrometeorologia/informacoes/clima-de-pelotas>. Acesso em: 10 mar. 2016.

Contribuição dos autores: Márcia Oliveira Curi Hallal realizou fez o tratamento de dados, revisão bibliográfica e a escrita científica; Edgar Ricardo Schöffel orientou o trabalho com contribuição na análise estatística na avaliação do trabalho; Gabriel Franke Brixner contribuiu com a revisão bibliográfica e a escrita científica; Antônio Ribeiro da Cunha contribuiu na avaliação do trabalho.

Fonte de financiamento: Não houve fonte de financiamento.

Conflito de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse.