



Estimativa da evapotranspiração de referência diária com base na temperatura do ar para Campos Novos e São José, no estado de Santa Catarina

Luane Valquíria Schiavini Nicodem¹ e Rosandro Boligon Minuzzi^{2(*)}

¹ Paripassu, Rodovia SC-401, 5500, sala 201, CEP 88032-005 Florianópolis, SC. E-mail: nicodemluane@gmail.com

² Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Centro de Ciências Agrárias. Avenida Admar Gonzaga, 1346, CEP 88034-001 Florianópolis, SC.

E-mail: rminuzzi@hotmail.com

(*) Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 9 de abril de 2019

Aceito em 11 de março de 2020

Termos para indexação:

Penman-Monteith
modelagem agrometeorológica
balanço hídrico no solo

RESUMO

O objetivo desse estudo foi avaliar para as condições climáticas de Campos Novos e São José, no estado de Santa Catarina, a eficiência de métodos de estimativa de evapotranspiração de referência (ET_o) com base na temperatura do ar. Foram utilizados dados meteorológicos diários de março de 2015 a fevereiro de 2016, oriundos de estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizadas em ambos os municípios. Tendo como padrão Penman-Monteith, os métodos analisados na escala anual e sazonal foram de Camargo (Ca), Camargo modificado (Ca_{mod}), Hargreaves-Samani (HS), Hargreaves-Samani modificado (HS_{mod}) e Makkink (MK). Com o uso de seis índices para avaliar a precisão na estimativa da ET_o, foi encontrado o melhor desempenho em Campos Novos para o outono, usando os métodos de Cam_{mod}, HS e HS_{mod}. Para o município de São José não se recomenda o uso de nenhum dos métodos de estimativa de ET_o usados neste estudo.

© 2020 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

A evapotranspiração (ET) é o processo de transporte de água na forma de vapor para a atmosfera de uma superfície vegetada, por meio da ocorrência simultânea da evaporação de água do solo e da transpiração das plantas. Este processo físico é afetado por vários fatores, tais como cobertura vegetal do solo, estágio de desenvolvimento da planta, umidade do solo e do ar, radiação solar, temperatura do ar

e velocidade do vento, o que significa que ambientes apresentam diferentes taxas de evapotranspiração. Mendonça e Dantas (2008) enfatizam que o conhecimento da ET é imprescindível para a agricultura, uma vez que permite a realização da irrigação adequada para cada cultura e época do ano, tornando assim o uso da água racional e eficiente.

O procedimento mais preciso para se medir a ET é feito com o uso de lisímetros, que consistem de tanques contendo solo representativo da área de interesse e são utilizados

sobretudo para medir os componentes do balanço de água no sistema solo-planta-atmosfera, sob tratos culturais e condições climáticas específicas. Podem apresentar diversas formas e sistemas de medidas, porém os que usam mecanismos de pesagem são considerados os mais precisos e sensíveis para a determinação direta da ET, pelo balanço de massa de água (Faria et al., 2006).

Apesar de precisos, os lisímetros apresentam alguns problemas que dificultam sua operação em escalas de tempo muito reduzidas tornando um instrumento de manutenção trabalhosa, além do seu alto custo. Dessa forma, os valores de ET geralmente são estimados a partir de elementos climatológicos. Existem vários métodos para a estimativa da ET, desde equações complexas de energia que utilizam muitos elementos climatológicos como o de Penman-Monteith a equações simplificadas, utilizando apenas uma dessas variáveis, como o de Thornthwaite. Allen et al. (1998) define a evapotranspiração de referência (ET_o) como aquela que ocorre em uma cultura hipotética com altura fixa de 0,12 m, albedo igual a 0,23 e resistência da superfície ao transporte de vapor de água igual a 70 s.m⁻¹. A cultura hipotética assemelha-se a uma superfície de gramado, de altura uniforme, em crescimento e desenvolvimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo e sem restrição hídrica. O método de Penman-Monteith é considerado pela FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação) como o método padrão para a estimativa de ET_o, uma vez que combina componentes aerodinâmicos e de balanço de energia (Allen et al., 1998).

De acordo com Andrade Júnior et al. (2003), vários fatores são levados em consideração para escolher o método de estimativa da ET_o, como a disponibilidade dos dados meteorológicos e a escala de tempo pretendida. Sendo assim, apesar do método Penman-Monteith ser considerado padrão pela FAO, ele pode muitas vezes ser limitado, já que emprega um número grande de elementos climáticos (saldo de radiação, umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura do ar) que nem sempre estão disponíveis, tendo em vista o alto custo dos instrumentos para suas medições. Entretanto, conforme Araújo et al. (2012), alguns métodos empíricos demandam uma quantidade menor de elementos climatológicos e podem ser considerados de boa aplicabilidade. Apesar dos vários estudos avaliando diferentes métodos para estimativa de ET_o (Tagliafferi et al., 2010; Alencar et al., 2011; Monteiro et al., 2017), as peculiaridades dos fatores climáticos de cada local exigem a avaliação destes métodos para maior exatidão na estimativa da ET_o, como, por exemplo, nos diferentes resultados de precisão na estimativa de ET_o usando o método de Hargreaves-Samani modificado para vários locais do Brasil feito por Monteiro et al. (2017).

Diante dos empecilhos apresentados para obtenção da ET_o e da grande disponibilidade de dados de temperatura

do ar nas estações meteorológicas e obtenção de termômetros devido ao seu baixo custo, o objetivo do trabalho foi avaliar diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração de referência diária com base na temperatura do ar para Campos Novos e São José no estado de Santa Catarina, tendo como padrão o método de Penman-Monteith.

Material e métodos

Foram utilizados dados diários de temperatura mínima e máxima do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, insolação e radiação solar de março de 2015 a fevereiro de 2016, oriundos de estações meteorológicas localizadas nos municípios de Campos Novos (latitude: 27,40° sul, longitude: 51,22° oeste e altitude: 934 m) e São José (latitude: 27,60° sul, longitude: 48,62° oeste e altitude: 8 m) pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

De acordo com a metodologia de Köppen, o clima de Campos Novos e São José é classificado como subtropical, sem estação seca (Wrege et al., 2011). De acordo com as normais climatológicas do INMET, a amplitude térmica anual de Campos Novos e de São José é de, respectivamente, 18,4°C e 15,1°C, com a maior temperatura máxima em janeiro (27,0°C) e fevereiro (28,4°C) e a menor temperatura mínima em junho (8,6°C) e em julho (13,3°C).

A evapotranspiração de referência diária (mm) com uso apenas da temperatura do ar foi estimada por meio de cinco métodos: Método de Camargo (Ca), Camargo modificado (Ca_{mod}), Hargreaves-Samani (HS), Hargreaves-Samani modificado (HS_{mod}) e Makkink (MK), respectivamente, apresentados nas Equações 1, 2, 3, 4 e 6.

$$ET_o = 0,408 \cdot F \cdot Ra \cdot T_{med} \quad (1)$$

$$ET_o = 0,408 \cdot F \cdot Ra \cdot T_{med_efetiva} \quad (2)$$

$$ET_o = 0,408 \cdot 0,0023 \cdot Ra \cdot (T_{max} - T_{min})^{0,5} \cdot (T_{med} + 17,8) \quad (3)$$

$$ET_o = 0,408 \cdot 0,0023 \cdot Ra \cdot [1 - \exp(-0,005 \cdot (T_{max} - T_{min}))]^{2,4} \cdot (T_{med} + 17,8) \quad (4)$$

onde, F é o fator de ajuste, baseado na temperatura média anual, sendo: F=0,01 para T_{med} < 23 °C, F=0,0105 para T_{med} = 24 °C, F=0,011 para T_{med} = 25 °C, F=0,0115 para T_{med} = 26 °C, e F=0,012 para T_{med} > 26 °C; Ra é a radiação solar extraterrestre ou no topo da atmosfera (MJ.m⁻²); T_{med} é a temperatura média do ar (°C); T_{max} e T_{min} é a temperatura máxima e mínima do ar (°C), respectivamente e, T_{med_efetiva} é a temperatura média efetiva do ar (°C), obtida pela Equação 5:

$$T_{med_efetiva} = 0,36 \cdot (3 \cdot T_{max} - T_{min}) \quad (5)$$

$$ETo=0,61.W.Ra-0,12 \quad (6)$$

sendo, Ra é em mm de evapotranspiração equivalente e W é um fator de ponderação obtido por meio da Equação 7:

$$W=0,483+0,01.T_{med} \quad (7)$$

De acordo com Pereira et al. (1997), o fator W varia em função da temperatura do bulbo úmido, mas na sua ausência pode-se utilizar a temperatura média do ar.

A avaliação da estimativa de ETo pelos referidos métodos foi realizada por meio do erro padrão da estimativa (EPE), do erro médio (EM), dos coeficientes de correlação (r) e de determinação (R²) da regressão linear, do índice de concordância (d) e do índice de confiança (c). O Índice de Concordância (d) (Willmott, 1981) é descrito pela Equação 8.

$$d=1-\left[\frac{\sum_{i=1}^N(Y_i-X_i)^2}{\sum_{i=1}^N(|Y_i-\bar{X}|+|X_i-\bar{X}|)^2}\right] \quad (8)$$

em que, X_i são os valores de ETo estimado pelo método padrão; \bar{X} é a média dos valores de ETo estimado pelo método padrão; Y_i são os valores estimados pelos métodos não padrão; e N= é o número de dados de ETo. O método de Penmam-Monteith (Allen et al., 1998) foi definido como a ETo padrão, tendo sido calculado com o uso do software CropWat 8.0.

Analogamente, para a análise da confiabilidade de ETo estimado pela forma não-padrão, considerou-se o Índice de Confiança (c), proposto por Camargo & Sentelhas (1997), conforme Equação 9. O critério adotado para interpretar os valores de c, consta na Tabela 1.

$$c= r . d \quad (9)$$

O erro padrão da estimativa (EPE), foi calculado utilizando-se a Equação 10:

$$EPE=\left(\frac{\sum_{i=1}^N(Y_i - X_i)^2}{N - 1}\right)^{1/2} \quad (10)$$

O Erro Médio (EM), representa a diferença média de ETo estimada pelo método não padrão e os valores estimados por PM-FAO98. Assim, o EM indica a possível tendência de ETo estimada pelo método não padrão em superestimar (EM>0) ou subestimar (EM<0) a ETo obtida por PM, sendo calculado conforme Equação 11:

$$EM= \sum_{i=1}^N(Y_i-X_i) \quad (11)$$

Tabela 1. Critério de interpretação do índice de confiança (Camargo & Sentelhas, 1997).

Índice de confiança (c)	Desempenho
>0,86	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

A avaliação da estimativa de ETo com base somente na temperatura do ar foi feita para todos os dias do ano e para cada estação do ano. Os seguintes meses foram definidos como representativos de cada período sazonal: dezembro a fevereiro (verão), março a maio (outono), junho a agosto (inverno) e setembro a novembro (primavera).

Resultados e discussões

A avaliação anual e sazonal da estimativa de ETo diária pelos métodos de Camargo (Ca), Camargo modificado (Ca_mod), Hargreaves-Samani (HS), Hargreaves-Samani modificado (HS_mod) e Makkink (MK) é apresentada na Tabela 2 para o município de Campos Novos. A distinção entre os períodos analisados indica o outono como o de melhor precisão na estimativa de ETo através dos métodos de Ca_mod, HS e HS_mod que apresentaram um desempenho ‘muito bom’, com uma variação nas estimativas de 0,41 mm.d⁻¹ a 0,74 mm.d⁻¹. Quando analisados os coeficientes de determinação (R²), os valores apontam que a ETo padrão (PM-FAO98) explicou de 75% a 82% da variação de ETo obtida pelos referidos três métodos. Porém, para o verão e, principalmente, inverno e primavera o desempenho inviabiliza o uso de qualquer método para estimativa de ETo na escala diária. No verão, os métodos de HS e HS_mod ainda apresentam valores relativamente aceitáveis para o seu uso.

Sem distinção das estações do ano, o uso dos métodos torna-se mais viável como o de HS, HS_mod e, principalmente o de Ca_mod que apresentou o melhor desempenho com uma variação de 0,67 mm.d⁻¹ em relação a ETo padrão. Apesar do método de Camargo ter sido desenvolvido com o propósito de estimar valores mensais, ao menos na escala diária onde as variações meteorológicas são mais abruptas do que as mensais, a ETo para alguns períodos do ano em Campos Novos se mostrou relativamente eficiente. Em contrapartida, o método de Makkink (MK) teve o pior desempenho em qualquer uma das análises feitas.

A calibração dos modelos é uma possibilidade de melhorar nas estimativas, mas que nem sempre são passíveis de solucionar o problema. Silva et al. (2018) mesmo calibrando os modelos de estimativa de ETo, não recomenda-

Tabela 2. Avaliação anual e sazonal da estimativa de ETo diária pelos métodos de Camargo (Ca), Camargo Modificado (Ca_mod), Hargreaves-Samani (HS), Hargreaves-Samani Modificado (HS_mod) e Makking (MK) em Campos Novos.

Outono	Ca	Ca_mod	HS	HS_mod	MK
r	0,80	0,91	0,91	0,87	0,82
R ²	0,64	0,82	0,82	0,75	0,67
d	0,82	0,94	0,90	0,89	0,52
EPE	0,67	0,41	0,62	0,74	2,10
EM	-0,39	-0,09	0,43	0,06	1,99
c	0,68	0,85	0,82	0,77	0,43
Desempenho	Bom	Muito Bom	Muito Bom	Muito Bom	Mau
Inverno	Ca	Ca_mod	HS	HS_mod	MK
r	0,80	0,75	0,70	0,61	0,75
R ²	0,64	0,57	0,49	0,37	0,56
d	0,67	0,79	0,80	0,77	0,53
EPE	0,81	0,60	0,68	0,81	1,56
EM	-0,57	-0,17	0,25	-0,01	1,44
c	0,54	0,60	0,56	0,47	0,40
Desempenho	Sofrível	Sofrível	Sofrível	Mau	Péssimo
Primavera	Ca	Ca_mod	HS	HS_mod	MK
r	0,52	0,70	0,69	0,66	0,35
R ²	0,27	0,49	0,47	0,43	0,12
d	0,64	0,81	0,72	0,71	0,33
EPE	0,81	0,66	1,12	1,39	3,14
EM	-0,25	0,14	0,74	0,10	2,98
c	0,33	0,57	0,49	0,47	0,11
Desempenho	Péssimo	Sofrível	Mau	Mau	Péssimo
Verão	Ca	Ca_mod	HS	HS_mod	MK
r	0,57	0,78	0,80	0,82	0,33
R ²	0,33	0,61	0,64	0,68	0,11
d	0,45	0,71	0,78	0,89	0,37
EPE	1,08	0,90	1,09	0,93	3,41
EM	-0,08	0,05	0,79	0,11	3,20
c	0,26	0,55	0,62	0,73	0,12
Desempenho	Péssimo	Sofrível	Mediano	Bom	Péssimo
Anual	Ca	Ca_mod	HS	HS_mod	MK
r	0,76	0,84	0,85	0,80	0,71
R ²	0,58	0,70	0,72	0,64	0,51
d	0,84	0,91	0,88	0,87	0,52
EPE	0,87	0,67	0,89	0,99	2,64
EM	-0,31	-0,02	0,55	0,06	2,39
c	0,64	0,76	0,75	0,70	0,37
Desempenho	Mediano	Muito Bom	Bom	Bom	Péssimo

r=coeficiente de correlação; r²=coeficiente de determinação; d=índice de concordância; EPE=erro padrão de estimativa; EM= Erro médio; c=índice de confiança.

ram o uso daqueles que utilizam apenas dados de temperatura do ar para o município de Jaíba (Minas Gerais). No entanto, a recalibração dos coeficientes da equação feita por Monteiro et al. (2010) permitiu aumentar a sensibilidade dos métodos de ETo ao efeito da amplitude térmica e

reduzir o erro sistemático, como o de HS_mod que resultou em valores muito mais próximos a ETo de PM-FAO98 para várias localidades distribuídas pelo Brasil.

Para o município litorâneo de São José, a Tabela 3 mostra que as estimativas de ETo pelos métodos analisados tiveram um desempenho que praticamente inviabilizam os seus usos na região para a escala diária. Assim como no município interiorano de Campos Novos, em São José o outono foi o período do ano com os desempenhos relativamente melhores. Para fins comparativos, o melhor resultado obtido em São José, foi para a ETo estimada em outono com o método de HS que teve um 'bom' desempenho. Nesta situação, a ETo padrão explicou apenas 59% da variação de ETo por HS.

Mesmo que o método de HS tenha sido originalmente desenvolvido em região de clima semi-árido, Allen et al. (1998) o considera uma exceção para a estimativa de ETo devido ao seu bom desempenho em regiões com diferentes condições climáticas. No entanto, é provável que as diferentes precisões de ETo obtidos pelo método de HS dependam muito da escala temporal a qual está sendo feita a validação. Com a variedade climática que o Brasil possui, os estudos comprovam os distintos desempenhos do método de HS, como no de Tagliaferre et al. (2010) para a região de Eunápolis, BA, de Reis et al. (2007) para três localidades do Espírito Santo e de Alencar et al. (2011) durante o período chuvoso da região norte de Minas Gerais que apresentaram um inexpressivo desempenho. Em contrapartida, França Neto et al. (2011) encontraram o método de HS como o de melhor estimativa para as principais regiões cafeeiras de Minas Gerais e da Bahia, assim como, para Alagoas no estudo de Costa et al. (2017) e de Ide & Silva (2017) na área de influência da transposição das águas do rio São Francisco. Neste último estudo, o autores ressaltaram que os métodos que utilizaram apenas temperatura do ar tiveram desempenho superior aos que dependem de radiação solar. Syperreck et al. (2008) observaram que para as condições da região de Palotina, estado do Paraná, quando avaliada a eficiência de diferentes métodos de estimativa de ETo, os que empregam apenas valores de temperatura do ar como o de HS e de Camargo, apresentaram valores diários semelhantes ao de PM-FAO98. Araújo et al. (2012) em trabalho semelhante, porém para o estado de Roraima, destacaram o método HS_mod como o de melhor desempenho.

Tabari et al. (2013) avaliaram 31 métodos de estimativa de ETo mensal para uma região úmida do Irã. Os métodos de Blaney-Criddle e de Hargreaves-Samani (ajustada para a região úmida dos Bálcãs) foram as de melhor precisão dentre o sete métodos baseados apenas na temperatura do ar. Dentre os quatro métodos ajustados a partir de Hargreaves-Samani, Tabari et al. (2013) mostram que tiveram um R² de 0,90 a 0,95.

Os métodos de HS e o de Ca_mod, apresentam maior

Tabela 3. Avaliação anual e sazonal da estimativa de ETo diária pelos métodos de Camargo (Ca), Camargo Modificado (Ca_mod), Hargreaves-Samani (HS), Hargreaves-Samani Modificado (HS_mod) e Makkink (MK) em São José.

Outono	Ca	Ca_mod	HS	HS_mod	MK
r	0,77	0,77	0,77	0,60	0,77
R ²	0,60	0,60	0,59	0,36	0,59
d	0,82	0,81	0,97	0,73	0,57
EPE	0,76	0,79	0,77	1,30	2,17
EM	-0,12	-0,20	0,16	-0,61	2,02
c	0,64	0,62	0,75	0,44	0,44
Desempenho	Mediano	Mediano	Bom	Mau	Mau
Inverno	Ca	Ca_mod	HS	HS_mod	MK
r	0,70	0,62	0,59	0,30	0,66
R ²	0,49	0,38	0,35	0,09	0,43
d	0,72	0,74	0,76	0,55	0,44
EPE	0,51	0,51	0,59	1,08	1,66
EM	-0,21	-0,14	0,15	-0,40	1,58
c	0,50	0,46	0,45	0,17	0,29
Desempenho	Mau	Mau	Mau	Péssimo	Péssimo
Primavera	Ca	Ca_mod	HS	HS_mod	MK
r	0,42	0,45	0,44	0,32	0,37
R ²	0,18	0,20	0,19	0,10	0,13
d	0,61	0,62	0,63	0,52	0,32
EPE	1,01	0,91	1,09	1,61	3,55
EM	0,43	0,22	0,45	-0,94	3,38
c	0,26	0,28	0,27	0,16	0,12
Desempenho	Péssimo	Péssimo	Péssimo	Péssimo	Péssimo
Verão	Ca	Ca_mod	HS	HS_mod	MK
r	0,55	0,41	0,44	0,45	0,24
R ²	0,30	0,17	0,19	0,20	0,16
d	0,43	0,49	0,65	0,61	0,38
EPE	1,26	1,24	1,39	1,98	3,53
EM	0,25	-0,04	0,36	-0,92	3,27
c	0,24	0,20	0,28	0,27	0,09
Desempenho	Péssimo	Péssimo	Péssimo	Péssimo	Péssimo
Anual	Ca	Ca_mod	HS	HS_mod	MK
r	0,73	0,73	0,72	0,56	0,67
R ²	0,53	0,54	0,52	0,32	0,45
d	0,84	0,84	0,84	0,71	0,52
EPE	0,92	0,89	1,01	1,52	2,83
EM	0,08	-0,04	0,28	-0,71	2,55
c	0,61	0,62	0,61	0,40	0,35
Desempenho	Mediano	Mediano	Mediano	Péssimo	Péssimo

r=coeficiente de correlação; r²=coeficiente de determinação; d=índice de concordância; EPE=erro padrão de estimativa; EM= Erro médio; c=índice de confiança.

sensibilidade devido ao componente de amplitude térmica (Tmax - Tmin) elevada a uma certa potência. Assim, a amplitude térmica é uma forma indireta de expressar parte do efeito dessas variáveis já que dias com maior saldo de radiação e dias mais secos tendem a apresentar maior am-

plitude térmica e vice-versa, como é característica da temperatura do ar no outono e na primavera, apesar que nesta última estação, os desempenhos foram insatisfatórios em ambos locais de Santa Catarina.

A relevância desses métodos em considerar a amplitude térmica pode ser uma das hipóteses para os desempenhos relativamente melhores em Campos Novos do que em São José, haja vista, que em Campos Novos a amplitude anual é 3,3° C maior que em São José, justamente favorecido pelo fator climático da continentalidade.

Outros fatores que podem ser levados em consideração para o melhor desempenho em Campos Novos são os elementos climatológicos empregados na estimativa de ETo por PM-FAO98 que serviu como padrão. Chang (1968) apud Lemos Filho et al. (2010) chama a atenção que em regiões onde ocorrem fortes advecções, a importância relativa do saldo de radiação diminui e a advecção passa a contribuir significativamente na evapotranspiração. Desta forma, aumenta a influência da velocidade do vento (maior em São José na primavera e verão) e da umidade do ar (maior em São José durante todo o ano), isto é, minimizando a influência da temperatura do ar na ETo estimada em São José, no comparativo com Campos Novos. Além disso, a nebulosidade diurna em Campos Novos é menor (maior insolação e radiação solar) que em São José, resultando numa maior contribuição dos elementos que fornecem a energia para a ETo para o município interiorano.

Melo (1998) destacou que entre os componentes da equação de estimativa da ETo por PM-FAO98, a radiação apresentou o maior coeficiente de sensibilidade relativa (0,87). Sentelhas et al. (2010) ratificam esta afirmação para o sul de Ontário (Canadá) e Irmak et al. (2006) em regiões dos Estados Unidos da América com diferentes características climáticas, mas principalmente nas regiões úmidas.

Os valores do erro médio (EM) apenas para as estimativas com os melhores desempenhos (c ≥ 0,66) em ambos os municípios, foram unânimes em indicar uma tendência dos métodos de HS e HS_mod em superestimar a ETo (0,06 mm.d⁻¹ a 0,55 mm.d⁻¹) em relação a obtida por PM-FAO98 e o de Cam_mod em subestimar a ETo nas duas situações analisadas (0,02 mm.d⁻¹ e 0,09 mm.d⁻¹).

Allen et al. (1998) mostraram que geralmente HS superestima a ETo em regiões de clima úmido, concordando com os dados calculados para Santa Catarina e para as regiões úmidas do Irã encontradas por Tabari et al. (2013) com superestimativas de 0,32 mm.d⁻¹ a 0,96 mm.d⁻¹. Porém, Jabloun & Sahli (2008) divergiram em parte quando a ETo por HS mostrou tendência de superestimar nas regiões interiores e subestimar nas áreas costeiras da Tunísia, quando comparado com os valores de ETo por PMF-98.

Por fim, sugere-se para trabalhos futuros, a calibração dos modelos e respectiva avaliação em escalas de tempo diferentes, como a mensal.

Conclusões

Os métodos analisados apresentam melhores desempenhos para Campos Novos. Sendo os mais indicados, principalmente para o outono, o de Camargo modificado (Ca_{mod}), Hargreaves-Samani (HS) e Hargreaves-Samani Modificado.

Não se recomenda a estimativa de ETo diária pelos métodos baseados apenas na temperatura do ar para São José.

Referências

- ALENCAR, L. P. de; SEDIYAMA, G. C.; WANDERLEY, H. S.; ALMEIDA, T. S.; DELGADO, R. C. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades no norte de Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa-MG, v. 19, n. 5, p. 437-449, 2011.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**. Rome: FAO, 1998. 297 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; BASTOS, E. A.; SENTELHAS, P. C.; SILVA, A. A. G. da. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para Parnaíba e Teresina, Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 63-68, 2003.
- ARAÚJO, W. F.; CONCEIÇÃO, M. A. F.; VENÂNCIO, J. B. Evapotranspiração de referência diária em Boa Vista (RR) com base na temperatura do ar. **Irriga**, v. 1, n. 1, p.155, 2012.
- 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**, Santa Maria, v. 5, p. 89-97, 1997.
- COSTA, J. A.; RODRIGUES, G. P.; SILVA, N. D.; LOPES SOBRINHO, O. P.; COSTA, L. D. A. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Alagoas. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 25, n. 1, p.173-179, 2017.
- FARIA, R. T.; CAMPECHE, F. M.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 237-242, 2006.
- FRANÇA NETO, A. C.; MANTOVANI, E. C.; VICENTE, M. R.; VIEIRA, G. H. S.; SEDIYAMA, G. C.; LEAL, B. G. Comparação entre métodos simplificados de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) para regiões produtoras de café brasileiras. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 159-171, 2011.
- IDE, A. K.; SILVA, C. L. da. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência na área de influência dos canais da transposição do rio São Francisco. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 25, n. 6, p.526-539, 2017.
- IRMAK, S.; PAYERO, J. O.; MARTIN, D. L.; IRMAK, A.; HOWELL, T. Sensitivity analyses and sensitivity coefficients of standardized daily ASCE-Penman-Monteith equation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 132, n. 6, p. 564-578, 2006.
- LEMO FILHO, L. C. A.; CARVALHO, L. G.; EVANGELISTA, A. W. P.; ALVES JÚNIOR, J. Análise espacial da influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p.1294-1303, 2010.
- MELLO, J. L. P. **Análise de sensibilidade dos componentes da equação de Penman-Monteith-FAO**. 1998. 78 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MENDONÇA, E. A.; DANTAS, R. T. Estimativa da evapotranspiração de referência no município de Capim, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p.196-202, 2008.
- MONTEIRO, J. E. B. A. Avaliação de métodos de estimativa de evapotranspiração potencial diária em regiões brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2010, Belém, PA. **Anais...** Belém: SBMet, CD-Rom.
- MONTEIRO, J. E. B. A.; CUADRA, S. V.; OLIVEIRA, A. F. de; NAKAI, A. M.; MACIEL, R. J. S. Estimativa da evapotranspiração diária baseada apenas na temperatura. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 25, n. 1, p.227-236, 2017.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997, 183p.
- REIS, E. F. dos; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. de O.; PEZZOPANE, 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, n. 3, p.75-84, 2007.
- SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; SANTOS, E. A. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, p. 635-644, 2010.
- SILVA, G. H.; DIAS, S. H. B.; FERREIRA, L. B.; SANTOS, J. E. O.; CUNHA, F. F. da. Performance of different methods for reference evapotranspiration estimation in Jaíba, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 2, p.83-89, 2018.
- SYPPERRECK, V. L. G.; KLOSOWSKI, E. S.; GRECO, M.; FURLANETTO, C. Avaliação de desempenho de métodos para estimativas de evapotranspiração de referência para a região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, p.603-609, 2008.
- TABARI, H.; GRISMER, M. E.; TRAJKOVIC, S. Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. **Irrigation Science**, v. 31, p.107-117, 2013.
- TAGLIAFERRE, C.; SILVA, R.; ROCHA, F.; SANTOS, L. Estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiração de referência em Eunápolis - BA. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p.103-111, 2010.
- WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. D. de. **Atlas climático da região sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011.
- WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Oxford, v. 2, n. 2, p.184-194, 1981.

REFERENCIAÇÃO

NICODEM, L. V. S.; MINUZZI, R. B. Estimativa da evapotranspiração de referência diária com base na temperatura do ar para Campos Novos e São José, no estado de Santa Catarina. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.27, n.2, p.339-345, dez 2019.



Estimates of daily reference evapotranspiration based on air temperature for Campos Novos and São José, in the State of Santa Catarina, Brazil

Luane Valquiria Schiavini Nicodem¹ and Rosandro Boligon Minuzzi^{2(*)}

¹ Paripassu, Rodovia SC-401, 5500, sala 201, CEP 88032-005 Florianópolis, SC, Brazil. E-mail: nicodemluane@gmail.com

² Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Centro de Ciências Agrárias. Avenida Admar Gonzaga, 1346, CEP 88034-001 Florianópolis, SC, Brazil. E-mail: rbminuzzi@hotmail.com

(*) Corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 9 April 2019

Accepted 11 March 2020

Index terms:

Penman-Monteith
agrometeorological modeling
soil water balance

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate for the conditions of Campos Novos and São José, in the state of Santa Catarina, Brazil, the efficiency of reference evapotranspiration (ET_o) methods based on air temperature. Daily meteorological data from March 2015 to February 2016 were used, coming from stations of the National Institute of Meteorology (INMET) located in both municipalities. With Penman-Monteith as standard, the methods analyzed yearly and seasonally were Camargo (Ca), modified Camargo (Ca_mod), Hargreaves-Samani (HS), modified Hargreaves-Samani (HS_mod) and Makkink (MK). In general, the analyzed methods presented better performances for Campos Novos, where Ca obtained 'very good' performance for autumn and winter and Ca_mod, HS and HS_mod stood out in the summer and fall. In São José, the methods Ca, Ca_mod and HS obtained very good performance only for the autumn.

© 2020 SBAgro. All rights reserved.

CITATION

NICODEM, L. V. S.; MINUZZI, R. B. Estimativa da evapotranspiração de referência diária com base na temperatura do ar para Campos Novos e São José, no estado de Santa Catarina. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.27, n.2, p.339-345, dez 2019.