Revista de Geografia (Recife) V. 42, Nº. 2, 2025
Universidade Federal de Pernambuco

https://doi.org/10.51359/2238-6211.2025.262533

PKS PUBLIC KNOWLEDGE PROJECT
REVISTA DE GEOGRAFIA
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Universidade Federal de Pernambuco
https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia
OJS OPEN JOURNAL SYSTEMS

Avaliação de métodos para estimativa da evapotranspiração de referência em regiões climáticas de Santa Catarina, Brasil

Tassiê Turcato[1] - Orcid: https://orcid.org/0009-0003-4001-9558
Rosandro Boligon Minuzzi[2] - Orcid: https://orcid.org/0000-0001-7148-7707

[1] Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, Brasil *
[2] Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, Brasil **

Artigo recebido em 15/04/2024 e aceito em 02/06/2025

RESUMO
Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de 32 métodos para estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) nas escalas diária e decendial em seis cidades de Santa Catarina. Foram usados seis indicadores (índices de confiança e de concordância, coeficientes de correlação e de determinação, erro quadrático médio e erro médio) tendo o método de Penman-Monteith como padrão. Os métodos baseados na radiação de Ritchie e Stephens-Stew são os mais indicados para estimar a ETo diária e decendial. Na ausência de dados de radiação, há possibilidade de estimar a ETo usando alguns métodos baseados na temperatura em Joaçaba, São Miguel do Oeste e Major Vieira.

Palavras-chave: temperatura; radiação solar; umidade do ar.

Evaluation of methods for estimating reference evapotranspiration in climate regions of Santa Catarina, Brazil

ABSTRACT
This study aimed to evaluate the performance of 32 methods for estimating reference evapotranspiration (ETo) on daily and ten-day period in six cities in Santa Catarina. Six indicators were used (confidence and concordance indexs, correlation and determination coefficients, means quared error and mean error) with the Penman-Monteith method as standard. The radiation methods of Ritchie and Stephens-Stew are the most suitable for estimating daily and ten-day ETo. In the absence of radiation data, it is possible to estimate ETo using some temperature-based methods in Joaçaba, São Miguel do Oeste and Major Vieira.

Keywords: temperature; solar radiation; air humidity.

* Acadêmica em Agronomia, na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). E-mail: tassieturcato@gmail.com
** Doutor em Meteorologia Aplicada e Professor da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). E-mail: rbminuzzi@hotmail.com

Direitos autorais das pessoas autoras, 2025. Licenciado sob Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0). Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original. Texto da Licença: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

Evaluación de métodos para estimar la evapotranspiración de referencia en regiones climáticas de Santa Catarina, Brasil

RESUMEN
Este estudio tuvo como objetivo evaluar El desempeño de 32 métodos para estimar la evapotranspiración de referencia (ETo) en escalas diaria y decenal en seis ciudades de Santa Catarina. Se utilizaron seis indicadores (índices de confianza y acuerdo, coeficientes de correlación y determinación, error cuadrático medio y error medio) con el método de Penman-Monteith como estándar. Los métodos basados en la radiación de Ritchie y Stephens-Stew sonlos más adecuados para estimar la ETo diaria y decenal. En ausencia de datos de radiación, es posible estimar la ETo utilizando algunos métodos basados en la temperatura en Joaçaba, São Miguel do Oeste y Major Vieira.

Palabras clave: temperatura; radiacíon solar; humedad del aire.

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração 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.

Pereira; Sediyama; Villa Nova (2013) apresentam o conceito, a definição e o histórico da evapotranspiração de referência (ETo). Resumidamente, o termo ETo foi utilizado pela primeira vez no início da década de 1970, mas somente no boletim FAO-56 foi definido o conceito de ETo como sendo aquela de uma cultura hipotética, com altura de 0,12 m, albedo igual a 0,23 e resistência ao transporte de vapor d'água constante e igual a 70 $s.m^{-1}$ (Allen et al., 1998).

O método de Penman-Monteith (PM FAO-98) foi adotado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) como padrão para estimar a ETo em regiões com diferentes condições climáticas (Allen et al., 1998), uma vez que incorpora tanto parâmetros físicos e aerodinâmicos, assim como, para validar outros métodos, principalmente aqueles que necessitam de uma menor quantidade de dados (Pereira; Sediyama; Villa Nova, 2013).

Apesar do aumento na disponibilidade de dados instrumentais com a inclusão de estações meteorológicas automáticas, ainda há regiões desprovidas ou com baixa densidade de estações, além dos eventuais problemas eletrônicos presentes neste tipo de estação que resultam em dados duvidosos ou na ausência de sensores que medem as variáveis meteorológicas necessárias para o uso no método de PM FAO-98.

Como alternativa, Araújo; Conceição; Venâncio (2012) afirmaram que alguns métodos empíricos demandam uma quantidade menor de dados meteorológicos e podem ser considerados de boa aplicabilidade. No entanto, a diversidade climática encontrada em vários locais como no estado de Santa Catarina, exige a avaliação destes métodos para averiguar a precisão na estimativa da ETo. Esta questão é atestada no estudo de Gao et al. (2017) que avaliaram métodos empíricos em diferentes regiões climáticas na China e observaram que o de Priestley-Taylor e de Hargreaves apresentaram os melhores resultados em climas secos e semi-áridos, enquanto o método de Makkink estimou melhor nas regiões úmidas. Avaliando a estimativa diária da ETo para cada estação do ano e usando apenas métodos baseados na temperatura do ar em dois municípios de Santa Catarina, Nicodem e Minuzzi (2020) encontraram os melhores desempenhos de ETo em Campos Novos, sendo os mais indicados, o de Camargo modificado, Hargreaves-Samani e Hargreaves-Samani modificado. Para o litoral, representado pelo município de São José, não se recomenda a estimativa de ETo diária pelos métodos usados no estudo.

Como o desempenho de um método empírico para um local e escala de tempo não é garantia de que ele seja adequado ou inadequado para outra região (Pereira; Sediyama; Villa Nova, 2013), se faz necessário uma avaliação da sua precisão. Por isso, este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de 32 métodos na estimativa da ETo nas escalas diárias e decendial para alguns municípios de Santa Catarina.

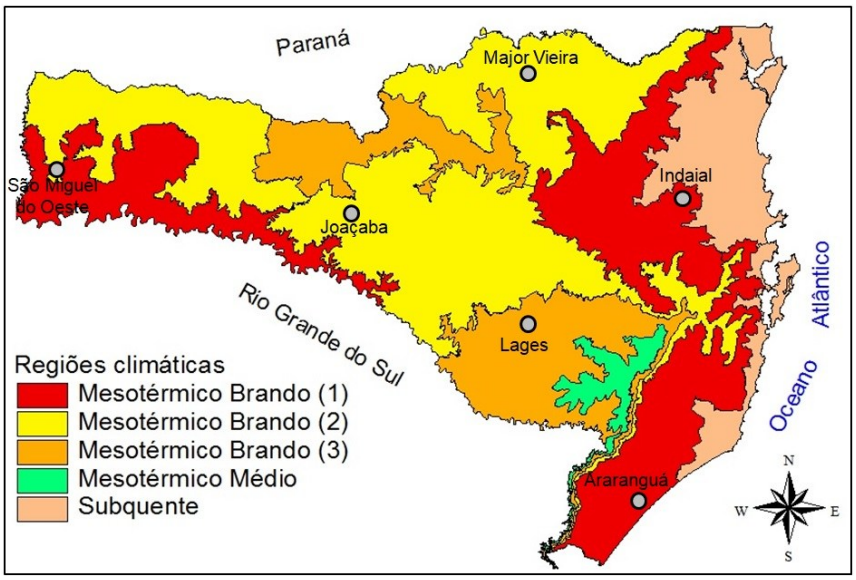
METODOLOGIA

Foram utilizados dados diários de temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento a 10 metros de altura (u_{10}) e radiação solar (R_g), de janeiro de 2015 a dezembro de 2020, oriundos de seis estações meteorológicas localizadas em alguns municípios do estado de Santa Catarina (Figura 1) pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Quando necessário converter a velocidade do vento (u) medida para uma altura inferior a 10 metros, foi usada a Equação 1:

$$u = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8\, z - 5,42)} \quad (1)$$

onde, u_z é a velocidade do vento medida a 10 metros e, z é a altura em que a velocidade do vento foi medida (10 metros).

Figura 1- Localização das estações meteorológicas utilizadas no estudo em regiões climáticamente homogêneas de Santa Catarina definidas por Braga e Ghellre (1999).



Foram avaliados nas escalas diária e decendial, 32 métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) (Tabela 1) que compreendem três categorias: métodos aerodinâmicos, baseados na temperatura do ar e baseados na radiação.

Tabela 1- Métodos de ETo aerodinâmicos (A), baseados na temperatura do ar (T) e na radiação (R) avaliados neste estudo.

	Método	Equação	Referência
A	Trabert	$ETo = 0,3075.\sqrt{u_2}(e_s - e_a)$	Tabariet al.(2013)
A	Albrecht	$ETo=(0,1005+0,297.u_2).(e_s-e_a)$	Yang et al.(2021)
A	Meyer	$ETo=(0,375+0,05026.u_2).(e_s-e_a)$	Tabariet al.(2013)
A	Brockamp-Wenner	$ETo = 0,543.\, u_2^{0,456}.(e_s - e_a)$	Yang et al.(2021)
A	Rohwer	$ETo=0,44.(1+0,27.u_2).(e_s - e_a)$	Yang et al.(2021)
A	WMO 1966	$ETo=(0,1298+0,0934.u_2).(e_s - e_a)$	Tabariet al.(2013)
A	Mahringer	$ETo = 0,15072.\sqrt{3,6.u_2}.(e_s - e_a)$	Tabariet al.(2013)
A	Harbeck	$ETo=0,0578.u_8\ (e_s - e_a).25,4$	Yang et al.(2021)
T	Schendel	$ETo = 16.\frac{T}{UR}$	Tabariet al.(2013)

T	Hargreaves-Samani-1	$ETo = 0{,}408.0{,}0030(T + 20)(T_{mx} - T_{mn})^{0,4}R_0$	Droogers; Allen (2002)
T	Hargreaves-Samani-2	$ETo = 0{,}408.0{,}0025(T + 16{,}8)(T_{mx} - T_{mn})^{0,5}R_0$	Droogers; Allen (2002)
T	Hargreaves-Samani-3	$ETo = 0{,}408.0{,}0023(T + 17{,}8)(T_{mx} - T_{mn})^{0{,}424}R_0$	Trajkovic (2007)
T	Baier-Robertson	$ETo = 0{,}157.T_{mx} + 0{,}158(T_{mx}-T_{mn}) + 0{,}109.R_0 - 5{,}39$	Yang et al.(2021)
T	Romanenko	$ETo = 4{,}5\left(1 + \frac{T}{25}\right)^2\left(1 - \frac{e_a}{e_s}\right)$	Tanaka et al.(2016)
T	Valiantzas-1	$ETo = 0{,}0118\left(1 - \frac{UR}{100}\right)^{0,2}(T_{mx} - T_{mn})^{0,3}\left(Ro\sqrt{T + 10} - 40\right) + 0{,}1(T + 20)\left(1 - \frac{UR}{100}\right)$	Souza et al.(2022)
T	Camargo	$ETo = 0{,}408.F.R_0.T$	Araújo et al.(2012)
T	Camargo modificado	$ETo = 0{,}408.F.R_0.\{0{,}36[3.(T_{mx}-T_{mn})]\}$	Araújo et al.(2012)
R	Turc	$ETo = 0{,}013\left(\frac{T}{T+15}\right)(R_g + 50)\left(1 + \frac{50-UR}{70}\right)$ p/ UR<50%; $ETo = 0{,}013\left(\frac{T}{T+15}\right)(R_g + 50)$ p/ UR≥50%	Yang et al.(2021)
R	Jensen-Haise	$ETo = (0{,}014.T - 0{,}37)(R_g.0{,}000673).25{,}4$	Yang et al.(2021)
R	Stephens-Stewart	$ETo = (0{,}0082.T - 0{,}19)\left(\frac{R_g}{1500}\right).25{,}4$	Yang et al.(2021)
R	Hargreaves	$ETo = 0{,}0135.R_g\frac{(T + 17{,}8)}{\lambda}$	Yang et al.(2021)
R	Milly-Dunne	$ETo = 0{,}8\frac{(R_N - G)}{\lambda}$	Yang et al.(2021)
R	Priestley-Taylor	$ETo = 1{,}26.\left(\frac{\Delta}{\Delta - \gamma}\right)\left(\frac{R_N - G}{\lambda}\right)$	Yang et al.(2021)
R	Makkink	$ETo = 0{,}61.(0{,}483 + 0{,}01.T).Rg - 0{,}12$	Souza et al.(2022)
R	Irmak	$ETo = -0{,}611+0{,}149.R_g+0{,}079.T$	Tabariet al.(2013)
R	Ritchie	$ETo = \alpha[(3{,}87.10^{-3}).R_g(0{,}6.T_{mx}+0{,}4.T_{mn}+29)]$	Tabariet al.(2013)
R	Tanner-Pelton	$ETo = 0{,}457.R_n-0{,}11$	Silva et al.(2018)
R	Hicks-Hess	$ETo = \frac{R_N}{\lambda}\left(\frac{\Delta}{0{,}9\Delta + 0{,}63\gamma}\right)$	Silva et al.(2018)
R	Tabari	$ETo = -0{,}478+0{,}156.Rg-0{,}0112.T_{mx}+0{,}0773.T_{mn}$	Souza et al.(2022)
R	Souza-Silva	$ETo = -0{,}00728+1{,}356325.(e_s-e_a)+0{,}174658.Rg$	Souza et al.(2022)
R	Valiantzas-2	$ETo = 0{,}0393.Rg.\sqrt{T + 9{,}5} - 0{,}19.Rg^{0,6}.\emptyset^{0{,}15} + 0{,}078(T + 20)\left(1 - \frac{UR}{100}\right)$	Souza et al.(2022)
R	Valiantzas-3	$ETo = 0{,}0393.Rg.\sqrt{T + 9{,}5} - 2{,}4\left(\frac{Rg}{Ro}\right)^2 + Cu(T + 20)\left(1 - \frac{UR}{100}\right)$	Souza et al.(2022)

Nota: u_2 e u_8é a velocidade do vento a 2m e 8m de altura, respectivamente, em $m.s^{-1}$; e_s e e_a é a pressão de saturação do vapor d'água e pressão real do vapor d'água, respectivamente, em hPa, exceto no método de Rower, em mmHg e de Souza-Silva, em KPa;T, T_{mn}, T_{mx} é a temperatura média, mínima e máxima do ar, em °C;UR é a umidade relativa do ar, em %; R_0 é a radiação solar extraterrestre, em $MJ.m^{-2}$ dia^{-1}; λ é o calor latente de evaporação, igual a 2,45 $MJ.Kg^{-1}$; ρ é a densidade da água, em $Kg.m^{-3}$; F é o fator de ajuste, baseado na temperatura média anual; Rg é a radiação solar, em $MJ.m^{-2}$ dia^{-1}, exceto nos métodos de Turc, de Jensen-Haise e de Stephens-Stewart,em $cal.cm^{-2}dia^{-1}$ e no método de Makkink, em $mm.dia^{-1}$;Rn é a radiação líquida, em $MJ.m^{-2}$ dia^{-1}; G é o fluxo de calor no solo, em $MJ.m^{-2}$ dia^{-1}, que será desconsiderado na escala diária e decendial; Δ é a declividade da curva de pressão do vapor d'água, em $KPa.°C^{-1}$; ϕ é a

latitude, em graus, Cu=0,054 quando UR>65% e Cu=0,083, quando UR<65%; e γ é a constante psicrométrica, em kPa.°C^{-1}, que varia em função da altitude (Allen *et al.*, 1998).

F=0,01 para T<23 ºC; F=0,0105 para T= 24 ºC; F=0,011 para T= 25 ºC; F=0,0115 para T= 26 ºC; e F=0,012 para T>26 ºC

α=1,1; para 5°C<T_{mx}≤35°C

α=1,1+0,05(T_{mx}-35); paraT_{mx}>35°C

$$\Delta = \frac{4098.\,e_s}{(T + 237{,}2)^2}$$

G_i=0,07.(T_{i+1}-T_{i-1}); fluxo de calor no solo para o mês i

A validação da ETo estimada pelos 32 métodos foi realizada com a aplicação dos seguintes indicadores: erro quadrático médio (EQM); erro médio (EM); coeficiente de determinação (R^2) e de correlação (r), índice de concordância (d) e índice de confiança (c). O método de Penman-Monteith (PM FAO-98) (Equação 2) foi considerado como padrão.

$$ETo = \frac{0{,}408.\Delta(Rn - G) + \frac{\gamma.900.u_2(e_s - e_a)}{T + 273}}{\Delta + \gamma(1 + 0{,}34.u_2)} \qquad (2)$$

O Índice de concordância (d) (Equação 3) descrito por Willmott (1981), oscila de 0 a 1, onde, a concordância perfeita é representada por valores iguais a 1. O índice indicará o quanto os valores de ETo estimados se ajustam aos valores obtidos por PM FAO-98.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{N} (Yi - Xi)^2}{\sum_{i=1}^{N} (|Yi - \bar{X}| + |Xi - \bar{X}|)^2}\right] \qquad (3)$$

onde, Xi= são valores de ETo estimados pelos métodos a serem avaliados; $\bar{X}$= são as médias de ETo estimadas pelos métodos a serem avaliados; Yi= são valores de ETo estimados por PM FAO-98 e N= é o número de dados da série de ETo.

Com intuito de analisar a confiabilidade da ETo estimada pelos métodos, foi calculado o índice de confiança (c) descrito por Camargo e Sentelhas (1997), na Equação 4.

$$c = r.d \qquad (4)$$

Os resultados do Índice de confiança foram interpretados de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2- Interpretação do Índice de confiança de Camargo e Sentelhas (1997).

Índice de confiança (c)	Desempenho
>0,85	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

O erro quadrático médio da estimativa (EQM) foi calculado conforme a Equação 5, considerando a soma da diferença das ETo estimadas pelos métodos com as obtidas por PM FAO-98, onde N, representa o número de dados de ETo.

$$EQM= \left(\frac{\sum_{i=1}^{N}(Yi-X)^2}{N-1}\right) ½ \quad (5)$$

O erro médio (EM) representa a diferença entre as médias de ETo, estimada pelos métodos e a ETo obtida por PM FAO-98, indicando uma tendência da ETo estimada pelos métodos em subestimar (EM<0) e superestimar (EM>0) os dados de ETo padrão, conforme a Equação 6.

$$EM \sum_{i=1}^{N}(Yi-Xi) \quad (6)$$

Para verificar a significância estatística ao nível de 5% entre as médias da ETo estimada pelos 32 métodos com as obtidas por PM FAO-98, foi utilizado o teste t-Student.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 mostra os melhores desempenhos atribuídos aos métodos baseados na radiação, na contrapartida aos aerodinâmicos. Salvo os métodos de Turc, Tanner-Pelton, Valiantzas-1 nos municípios de Indaial, Major Vieira, Lages e Araranguá, sendo este último acrescido dos métodos de Makkink e de Jensen-Haise, os demais baseados na radiação tiveram um desempenho ‘muito bom’ ou ‘ótimo’ na estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) diária. Dentre estes, constam o de Hargreaves e de Valiantzas que também foram os de melhores performances no estudo de Bourletsikas; Argyrokastritis; Proutsos (2017) para um ambiente de floresta mediterrânea. Tabari

(2010) ao avaliar quatro métodos (Makkink, Turc, Priestley-Taylor e Hargreaves) para diferentes regiões climáticas do Irã, indicou o de Turc como o mais adequado na estimativa de ETo em clima frio-úmido e árido. Enquanto o de Hargreaves foi o mais preciso nas regiões com clima quente-úmido e semi-árido, atestando a importância em realizar estudos neste contexto em regiões com diferentes climas.

Tabela 3- Avaliação diária da ETo estimada por 32 métodos usados neste estudo para os municípios de Indaial, Joaçaba, São Miguel do Oeste, Major Vieira, Lages e Araranguá.

	Indaial						Joaçaba					
	EQM	d	EM	r	c	R^2	EQM	d	EM	r	c	R^2
Trabert	2,91	0,52	-2,54*	0,70	Péssimo	0,49	2,98	0,78	-2,60*	0,64	Mediano	0,41
Albrecht	2,71	0,56	-2,28*	0,59	Péssimo	0,35	2,45	0,90	-1,58*	0,60	Sofrível	0,36
Meyer	2,38	0,59	-2,02*	0,82	Mau	0,68	2,62	0,84	-2,29*	0,77	Mediano	0,60
Brockamp	2,22	0,64	-1,83*	0,72	Mau	0,52	2,22	0,92	-1,50*	0,65	Sofrível	0,42
Rohwer	2,43	0,59	-2,07*	0,79	Mau	0,63	2,54	0,86	-2,19*	0,74	Mediano	0,54
WMO-66	3,13	0,49	-2,75*	0,71	Péssimo	0,51	3,29	0,69	-2,94*	0,67	Mau	0,45
Mahringer	2,27	0,61	-1,91*	0,85	Sofrível	0,72	2,68	0,83	-2,37*	0,81	Bom	0,66
Harbeck	3,75	0,42	-3,33*	0,52	Péssimo	0,27	4,19	0,28	-3,81*	0,56	Péssimo	0,32
Schendel	1,46	0,71	0,67*	0,73	Sofrível	0,53	1,32	0,98	-0,24*	0,75	Bom	0,57
HS-1	1,41	0,81	0,67*	0,73	Sofrível	0,53	1,31	0,98	$0,03^{ns}$	0,72	Bom	0,52
HS-2	1,27	0,85	0,52*	0,77	Mediano	0,59	1,25	0,98	$-0,08^{ns}$	0,75	Bom	0,57
HS-3	1,25	0,81	-0,29*	0,74	Sofrível	0,55	1,62	0,96	-0,94*	0,73	Bom	0,53
Baier-Rob	1,31	0,85	0,50*	0,76	Mediano	0,58	1,28	0,98	-0,15*	0,76	Bom	0,57
Romanenko	1,30	0,83	-0,84*	0,85	Bom	0,72	1,57	0,96	-1,10*	0,81	Muito Bom	0,66
Camargo	1,62	0,68	-0,29*	0,50	Péssimo	0,25	2,20	0,91	-1,49*	0,53	Mau	0,28
Camargo m.	2,35	0,59	-2,00*	0,86	Mediano	0,73	2,82	0,80	-2,46*	0,82	Bom	0,68
Turc	2,00	0,69	-1,79*	0,97	Bom	0,94	2,22	0,90	-2,06*	0,96	Ótimo	0,92
Jensen-Hai	2,36	0,79	1,94*	0,98	Muito Bom	0,95	2,31	0,96	1,89*	0,97	Ótimo	0,93
Stephens-S.	0,49	0,98	-0,29*	0,98	Ótimo	0,95	0,79	0,99	-0,61*	0,97	Ótimo	0,93
Hargreaves	0,56	0,97	-0,36*	0,97	Ótimo	0,95	0,91	0,99	-0,73*	0,96	Ótimo	0,93
Milly-Dunne	0,92	0,95	0,80*	0,99	Ótimo	0,98	1,20	0,99	1,06*	0,98	Ótimo	0,96
Priestley-T.	1,08	0,94	0,93*	1,00	Ótimo	1,00	1,32	0,98	1,16*	0,99	Ótimo	0,98
Irmak	0,79	0,93	-0,29*	0,96	Ótimo	0,93	1,12	0,98	-0,79*	0,96	Ótimo	0,92
Ritchie	0,46	0,98	-0,24*	0,98	Ótimo	0,95	0,73	0,99	-0,54*	0,97	Ótimo	0,94
Tanner-P.	2,71	0,75	2,39*	0,99	Bom	0,98	3,36	0,93	3,04*	0,98	Ótimo	0,96
Hicks-Hess	0,98	0,94	0,86*	1,00	Ótimo	1,00	1,23	0,99	1,08*	0,99	Ótimo	0,98
Souza-Silva	0,71	0,95	-0,53*	0,99	Ótimo	0,99	0,84	0,99	-0,70*	0,99	Ótimo	0,98
Valiantzas-1	1,13	0,86	-0,41*	0,82	Bom	0,67	1,31	0,97	-0,84*	0,86	Muito Bom	0,74

Valiantzas-2	1,40	0,83	-1,28*	0,98	Muito Bom	0,96	1,70	0,95	-1,61*	0,98	Ótimo	0,96
Valiantzas-3	0,62	0,97	-0,28*	0,96	Ótimo	0,92	0,86	0,99	-0,61*	0,95	Ótimo	0,91
Tabari	1,05	0,87	-0,67*	0,96	Muito Bom	0,91	1,51	0,96	-1,22*	0,94	Ótimo	0,88
Makkink	2,30	0,79	2,03*	0,98	Muito Bom	0,97	2,39	0,96	2,09*	0,97	Ótimo	0,95
	São Miguel do Oeste						Major Vieira					
	EQM	d	EM	r	c	R²	EQM	d	EM	r	c	R²
Trabert	2,74	0,88	-2,30*	0,73	Mediano	0,54	2,85	0,52	-2,51*	0,73	Péssimo	0,54
Albrecht	2,47	0,94	-0,76*	0,65	Mediano	0,42	2,39	0,60	-1,99*	0,66	Péssimo	0,43
Meyer	2,48	0,91	-2,08*	0,78	Bom	0,61	2,58	0,56	-2,26*	0,83	Mau	0,70
Brockamp	1,99	0,96	-0,60*	0,74	Bom	0,55	2,10	0,66	-1,73*	0,75	Mau	0,56
Rohwer	2,37	0,92	-1,88*	0,76	Bom	0,57	2,54	0,56	-2,22*	0,81	Mau	0,65
WMO-66	3,31	0,79	-2,92*	0,71	Sofrível	0,50	3,14	0,48	-2,79*	0,74	Péssimo	0,55
Mahringer	2,60	0,89	-2,26*	0,81	Bom	0,66	2,58	0,56	-2,27*	0,87	Mau	0,75
Harbeck	4,61	0,36	-4,18*	0,62	Péssimo	0,38	3,77	0,41	-3,37*	0,61	Péssimo	0,37
Schendel	1,46	0,98	$0,05^{ns}$	0,74	Bom	0,55	1,35	0,71	-0,18*	0,67	Mau	0,45
HS-1	1,77	0,96	-0,58*	0,64	Mediano	0,41	1,23	0,84	0,40*	0,76	Mediano	0,57
HS-2	1,78	0,96	-0,73*	0,67	Mediano	0,44	1,12	0,87	0,28*	0,79	Bom	0,63
HS-3	2,28	0,93	-1,54*	0,65	Sofrível	0,42	1,28	0,79	-0,53*	0,76	Mediano	0,58
Baier-Rob	1,89	0,96	-0,90*	0,65	Mediano	0,42	1,11	0,89	0,20*	0,80	Bom	0,64
Romanenko	1,58	0,97	-0,57*	0,82	Muito Bom	0,67	1,64	0,75	-1,33*	0,87	Mediano	0,75
Camargo	2,49	0,91	-1,65*	0,52	Mau	0,27	1,92	0,58	-1,12*	0,48	Péssimo	0,23
Camargo m.	3,68	0,70	-3,22*	0,72	Mediano	0,52	2,27	0,60	-1,93*	0,87	Sofrível	0,76
Turc	2,27	0,92	-2,13*	0,97	Ótimo	0,94	2,10	0,67	-1,93*	0,96	Mediano	0,92
Jensen-Hai	2,55	0,96	2,05*	0,95	Ótimo	0,90	2,09	0,82	1,71*	0,98	Muito Bom	0,95
Stephens-S.	1,03	0,99	-0,75*	0,95	Ótimo	0,90	0,62	0,97	-0,48*	0,98	Ótimo	0,95
Hargreaves	1,16	0,98	-0,88*	0,95	Ótimo	0,89	0,72	0,95	-0,57*	0,97	Ótimo	0,95
Milly-Dunne	1,18	0,99	0,89*	0,96	Ótimo	0,91	1,26	0,91	1,10*	0,98	Ótimo	0,97
Priestley-T.	1,36	0,99	1,13*	0,98	Ótimo	0,95	1,25	0,91	1,09*	1,00	Ótimo	1,00
Irmak	1,47	0,97	-1,04*	0,95	Ótimo	0,90	0,87	0,92	-0,54*	0,97	Ótimo	0,94
Ritchie	1,09	0,99	-0,80*	0,95	Ótimo	0,89	0,51	0,98	-0,36*	0,98	Ótimo	0,96
Tanner-P.	3,41	0,94	3,03*	0,95	Ótimo	0,91	3,24	0,69	2,88*	0,98	Bom	0,96
Hicks-Hess	1,24	0,99	1,02*	0,97	Ótimo	0,95	1,19	0,92	1,05*	1,00	Ótimo	0,99
Souza-Silva	1,06	0,99	-0,87*	0,99	Ótimo	0,98	0,68	0,95	-0,52*	0,99	Ótimo	0,99
Valiantzas-1	1,56	0,97	-1,06*	0,87	Muito Bom	0,75	1,22	0,84	-0,67*	0,83	Bom	0,69
Valiantzas-2	1,80	0,96	-1,69*	0,98	Ótimo	0,97	1,59	0,79	-1,48*	0,98	Muito Bom	0,95
Valiantzas-3	0,99	0,99	-0,71*	0,95	Ótimo	0,91	0,80	0,94	-0,51*	0,94	Ótimo	0,89
Tabari	1,81	0,96	-1,44*	0,93	Ótimo	0,87	1,25	0,83	-0,96*	0,94	Muito Bom	0,89
Makkink	2,49	0,96	2,13*	0,95	Ótimo	0,90	2,24	0,80	1,99*	0,99	Muito Bom	0,97
	Lages						Araranguá					
	EQM	d	EM	r	c	R²	EQM	d	EM	r	c	R²
Trabert	2,46	0,56	-2,09*	0,74	Mau	0,55	2,90	0,53	-2,50*	0,62	Péssimo	0,39

Albrecht	1,73	0,73	-1,14*	0,68	Mediano	0,47	2,33	0,63	-1,71*	0,57	Péssimo	0,32
Meyer	2,34	0,59	-1,98*	0,80	Mau	0,63	2,66	0,56	-2,24*	0,65	Péssimo	0,42
Brockamp	1,63	0,75	-1,14*	0,75	Sofrível	0,56	2,04	0,68	-1,42*	0,63	Mau	0,40
Rohwer	2,22	0,61	-1,85*	0,78	Mau	0,61	2,60	0,57	-2,16*	0,64	Péssimo	0,41
WMO-66	2,80	0,51	-2,43*	0,74	Péssimo	0,54	3,28	0,48	-2,90*	0,61	Péssimo	0,37
Mahringer	2,45	0,57	-2,10*	0,81	Mau	0,66	2,71	0,55	-2,29*	0,65	Péssimo	0,42
Harbeck	3,55	0,43	-3,15*	0,65	Péssimo	0,43	4,09	0,41	-3,70*	0,54	Péssimo	0,29
Schendel	1,36	0,72	-0,15*	0,65	Mau	0,43	1,45	0,69	$0,09^{ns}$	0,64	Mau	0,41
HS-1	1,27	0,82	0,25*	0,71	Sofrível	0,51	1,34	0,80	$-0,07^{ns}$	0,69	Sofrível	0,47
HS-2	1,19	0,84	$0,09^{ns}$	0,74	Mediano	0,55	1,32	0,81	-0,24*	0,72	Sofrível	0,51
HS-3	1,40	0,75	-0,63*	0,72	Sofrível	0,52	1,68	0,69	-0,99*	0,70	Mau	0,48
Baier-Rob	1,27	0,85	-0,18*	0,73	Mediano	0,53	1,45	0,79	-0,28*	0,66	Sofrível	0,44
Romanenko	1,53	0,77	-1,11*	0,81	Mediano	0,66	1,81	0,72	-1,09*	0,64	Mau	0,41
Camargo	1,90	0,58	-1,11*	0,49	Péssimo	0,24	1,99	0,60	-1,03*	0,46	Péssimo	0,21
Camargo m.	2,41	0,56	-2,02*	0,82	Mau	0,67	2,99	0,51	-2,61*	0,73	Péssimo	0,54
Turc	1,97	0,69	-1,80*	0,97	Bom	0,93	2,21	0,67	-2,03*	0,95	Mediano	0,91
Jensen-Hai	2,07	0,83	1,65*	0,97	Muito Bom	0,95	2,73	0,77	2,16*	0,96	Bom	0,92
Stephens-S.	0,62	0,97	-0,47*	0,97	Ótimo	0,95	0,67	0,97	-0,39*	0,96	Ótimo	0,92
Hargreaves	0,72	0,95	-0,55*	0,97	Ótimo	0,94	0,73	0,96	-0,50*	0,96	Ótimo	0,92
Milly-Dunne	1,37	0,90	1,15*	0,98	Ótimo	0,95	1,31	0,91	1,11*	0,98	Ótimo	0,97
Priestley-T.	1,33	0,91	1,12*	0,99	Ótimo	0,98	1,38	0,91	1,16*	0,99	Ótimo	0,98
Irmak	0,83	0,92	-0,51*	0,97	Ótimo	0,93	0,93	0,91	-0,56*	0,95	Ótimo	0,90
Ritchie	0,53	0,98	-0,35*	0,98	Ótimo	0,95	0,62	0,97	-0,40*	0,97	Ótimo	0,94
Tanner-P.	3,34	0,68	2,92*	0,98	Bom	0,95	3,45	0,68	3,05*	0,98	Bom	0,96
Hicks-Hess	1,28	0,91	1,08*	0,99	Ótimo	0,98	1,30	0,92	1,09*	0,99	Ótimo	0,98
Souza-Silva	0,58	0,97	-0,42*	0,99	Ótimo	0,98	0,76	0,95	-0,62*	0,99	Ótimo	0,98
Valiantzas-1	1,22	0,83	-0,60*	0,80	Bom	0,65	1,53	0,76	-0,93*	0,76	Sofrível	0,58
Valiantzas-2	1,52	0,81	-1,41*	0,98	Muito Bom	0,96	1,56	0,82	-1,47*	0,98	Muito Bom	0,96
Valiantzas-3	0,73	0,95	-0,42*	0,95	Ótimo	0,89	0,79	0,95	-0,48*	0,94	Ótimo	0,89
Tabari	1,14	0,86	-0,86*	0,95	Muito Bom	0,90	1,25	0,85	-0,95*	0,93	Muito Bom	0,86
Makkink	2,28	0,79	1,97*	0,98	Muito Bom	0,96	2,68	0,76	2,27*	0,97	Bom	0,94

* Significativo ao nível de 5% pelo teste t-Student; ^{ns} Não significativo.

Quanto aos métodos aerodinâmicos e, ou, baseados na temperatura do ar, apenas o de Romanenko em Joaçaba, teve um desempenho que o indica como alternativa para estimativa diária da ETo na ausência de dados de radiação. O referido método apresentou uma variação na estimativa de 1,57 $mm.dia^{-1}$ (EQM), apesar da ETo por Penman-Monteith (PM FAO-98) ter explicado apenas 66% (R^2=0,66) da variação de ETo obtida por Romanenko.

No geral, envolvendo os coeficientes de determinação (R^2) de todos os municípios do Estado, a ETo de PM FAO-98 explicou mais de 85% da variação de ETo pelos métodos avaliados baseados

na radiação, havendo apenas um método com exceção deste limiar em cada município. Em estudo realizado ao sul da província canadense de Otário, Sentelhas; Gillespie; Santos (2010) ainda apresentaram a opção de calibrar localmente um dado método para melhorar a estimativa de ETo, como foi o caso com o de Priestley-Taylor. Mas Valipour (2015) mostrou que a calibração também pode ser aplicada a métodos aerodinâmicos para melhorar a estimativa. Assim como Djamanetet al. (2015) encontraram o de Valiantzas, de Trabert, Romanenko e de Mahringer como os mais precisos no vale do rio Senegal, principalmente quando foi feita a calibração. Morales-Salinas et al. (2017) afirmaram que após a calibração, a ETo fornecida pelo método de Hargreaves apresentou um erro de apenas 5% em relação a de PM FAO-98 na região centro sul do Chile. E no Brasil, Cunha; Magalhães; Castro (2013) sugeriram que o método de Hargreaves-Samani somente pode ser usado no município de Chapadão do Sul, estado do Mato Grosso do Sul, após passar por uma calibração.

Em suma, apesar do desempenho insatisfatório dos métodos aerodinâmicos e baseados na temperatura em Santa Catarina, ainda há a possibilidade de calibrá-los para seu uso na estimativa da ETo diária, principalmente pelos dados de radiação serem mais incomuns nas estações meteorológicas, relativamente aos da temperatura e umidade do ar.

O erro médio (EM) para os métodos baseados na radiação apresentam uma diversidade na tendência das estimativas de ETo, sendo os que tendem a superestimar possuem EM>1,0 mm, salvo para três métodos, em Indaial (Milly-Dunne, Priestley-Taylor e Hicks-Hess) e um, em São Miguel do Oeste (Milly-Dunne). Ademais, outra notação a ser destacada, refere-se praticamente a mesma tendência (independente se positiva ou negativa) de cada método de radiação entre os seis municípios, como exemplos, o de Irmak e de Ritchie em subestimar a ETo, enquanto em outras regiões úmidas do planeta como no Irã, para ambos os métodos (Tabari; Grismer; Trajkovic, 2013) e no estado americano da Flórida (Irmak et al., 2003), a tendência na estimativa foi contrária.

A Tabela 4 apresenta a classificação dos 32 métodos avaliados, baseada na média obtida entre os municípios do erro quadrático médio (EQM), onde se tem os métodos baseados na radiação ocupando as 11 primeiras posições, com o de Ritichie apresentando para o Estado uma variação média na estimativa da ETo de 0,63 $mm.dia^{-1}$ em relação a ETo de PM FAO-98. Apesar destes valores médios do EQM atestarem o desempenho satisfatório dos métodos baseados na radiação para Santa Catarina, o coeficiente de variação (CV) indica que a dispersão dos dados entre os seis municípios do

Estado foi bem distinta, como exemplo, o comparativo entre o de Ritchie, Valiantzas-3 e o de Priestley-Taylor que foram classificados em 1º, 4º e 9º lugar, tendo CV de 39,4%, 18,9% e 10,4%, respectivamente.

Tabela 4- Média e coeficiente de variação (CV) do EQM entre os municípios de Santa Catarina usados no estudo da ETo diária estimada pelos 32 métodos aerodinâmicos (A), baseados na temperatura do ar (T) e na radiação (R).

Classificação	Método	Categoria	Média	CV
1	Ritchie	R	0,63	39,4
2	Stephens-Stew	R	0,67	30,7
3	Souza-Silva	R	0,77	21,7
4	Valiantzas-3	R	0,77	18,9
5	Hargreaves	R	0,77	29,7
6	Irmak	R	0,98	27,3
7	Milly-Dunne	R	1,14	16,2
8	Hicks-Hess	R	1,15	11,5
9	Priestley-Taylor	R	1,23	10,4
10	Valiantzas-1	R	1,26	12,6
11	Tabari	R	1,30	23,2
12	HS-2	T	1,31	17,8
13	Baier-Rob	T	1,36	19,8
14	HS-1	T	1,40	14,0
15	Schendel	T	1,41	4,6
16	Romanenko	T	1,48	10,1
17	HS-3	T	1,52	26,4
18	Valiantzas-2	R	1,57	10,4
19	Camargo	T	1,96	17,2
20	Brockamp	A	2,06	11,2
21	Turc	R	2,09	6,0
22	Jensen-Hai	R	2,29	8,0
23	Makkink	R	2,33	3,9
24	Albrecht	A	2,41	14,8
25	Rohwer	A	2,42	5,0
26	Meyer	A	2,46	4,7
27	Mahringer	A	2,47	7,1
28	Camargo mod	T	2,65	20,4
29	Trabert	A	2,81	6,7
30	Tanner-Pelton	R	3,13	10,5
31	WMO-66	A	3,13	5,8
32	Harbeck	A	3,94	9,9

Analisando os índices de confiança, percebe-se que a estimativa da ETo na escala decendial apresentou cenário semelhante aos obtidos na escala diária, isto é, os métodos baseados na radiação tiveram relativamente os melhores desempenhos (Tabela 5). Porém, chama a atenção para algumas exceções bem expressivas nestes métodos, como o de Turc em Indaial, Joaçaba, Major Vieira e Lages e o de Tanner-Pelto em Joaçaba, São Miguel do Oeste, Major Vieira e Lages que tiveram um desempenho 'sofrível'. Estas situações foram unicamente devido aos baixos valores do índice de concordância (d), significando o baixo ajuste dos valores avaliados de ETo com o de PM FAO-98.

Tabela5- Avaliação decendial da ETo estimada por 32 métodos usados neste estudo para os municípios de Indaial, Joaçaba, São Miguel do Oeste, Major Vieira, Lages e Araranguá.

	Indaial						Joaçaba					
	EQM	d	EM	r	c	R^2	EQM	d	EM	r	c	R^2
Trabert	2,60	0,44	-2,44*	0,79	Péssimo	0,63	2,72	0,45	-2,54*	0,63	Péssimo	0,40
Albrecht	2,40	0,47	-2,24*	0,76	Péssimo	0,57	2,12	0,58	-1,70*	0,59	Péssimo	0,35
Meyer	2,07	0,52	-1,93*	0,89	Mau	0,78	2,39	0,50	-2,24*	0,79	Péssimo	0,63
Brockamp	1,91	0,55	-1,76*	0,80	Mau	0,65	1,90	0,62	-1,52*	0,64	Péssimo	0,41
Rohwer	2,13	0,51	-1,98*	0,87	Mau	0,76	2,32	0,51	-2,17*	0,75	Péssimo	0,56
WMO-66	2,81	0,41	-2,64*	0,84	Péssimo	0,70	3,04	0,41	-2,88*	0,67	Péssimo	0,45
Mahringer	1,95	0,54	-1,80*	0,89	Mau	0,80	2,43	0,49	-2,29*	0,84	Mau	0,71
Harbeck	3,38	0,35	-3,18*	0,68	Péssimo	0,46	3,85	0,33	-3,67*	0,56	Péssimo	0,31
Schendel	1,02	0,76	0,75*	0,83	Mediano	0,68	0,66	0,89	$-0,20^{ns}$	0,90	Muito Bom	0,81
HS-1	1,12	0,82	0,79*	0,82	Bom	0,67	0,74	0,91	$0,14^{ns}$	0,85	Muito Bom	0,72
HS-2	0,98	0,85	0,63*	0,84	Bom	0,71	0,69	0,93	$0,03^{ns}$	0,87	Muito Bom	0,75
HS-3	0,68	0,90	$-0,17^{ns}$	0,82	Bom	0,68	1,04	0,81	-0,82*	0,85	Bom	0,73
Baier-Rob	1,00	0,86	0,53*	0,84	Bom	0,71	0,74	0,93	$-0,12^{ns}$	0,88	Muito Bom	0,78
Romanenko	0,94	0,81	-0,76*	0,89	Bom	0,79	1,29	0,75	-1,09*	0,83	Mediano	0,69
Camargo	0,92	0,84	-0,22*	0,72	Mediano	0,53	1,61	0,66	-1,39*	0,77	Mau	0,59
Camargo m.	2,03	0,53	-1,90*	0,90	Mau	0,82	2,47	0,48	-2,34*	0,91	Mau	0,83
Turc	1,84	0,58	-1,76*	0,98	Sofrível	0,97	2,12	0,57	-2,05*	0,97	Sofrível	0,94
Jensen-Hai	2,14	0,69	1,85*	0,98	Bom	0,96	2,14	0,71	1,82*	0,96	Bom	0,93
Stephens-S.	0,39	0,97	-0,28*	0,98	Ótimo	0,96	0,68	0,93	-0,58*	0,96	Ótimo	0,93
Hargreaves	0,42	0,97	-0,33*	0,98	Ótimo	0,95	0,76	0,91	-0,68*	0,96	Ótimo	0,93
Milly-Dunne	0,80	0,90	0,77*	0,99	Ótimo	0,99	1,08	0,86	1,04*	0,99	Ótimo	0,98
Priestley-T.	0,95	0,89	0,88*	1,00	Ótimo	1,00	1,19	0,85	1,12*	0,99	Muito Bom	0,99
Irmak	0,44	0,95	-0,22*	0,96	Ótimo	0,93	0,83	0,87	-0,71*	0,96	Muito Bom	0,92
Ritchie	0,32	0,98	-0,24*	0,98	Ótimo	0,97	0,59	0,94	-0,50*	0,97	Ótimo	0,94

Tanner-Pelton	2,40	0,62	2,29*	0,99	Mediano	0,99	3,06	0,55	2,95*	0,99	Sofrível	0,98
Hicks-Hess	0,87	0,90	0,82*	1,00	Ótimo	1,00	1,11	0,86	1,05*	0,99	Ótimo	0,99
Souza-Silva	0,55	0,93	-0,48*	0,99	Ótimo	0,98	0,69	0,91	-0,64*	0,99	Ótimo	0,98
Valiantzas-1	0,66	0,91	-0,29*	0,86	Muito Bom	0,75	0,88	0,88	-0,74*	0,92	Muito Bom	0,85
Valiantzas-2	1,29	0,74	-1,26*	0,98	Bom	0,97	1,60	0,69	-1,57*	0,99	Bom	0,97
Valiantzas-3	0,37	0,97	-0,18^{ns}	0,96	Ótimo	0,92	0,61	0,94	-0,50*	0,96	Ótimo	0,92
Tabari	0,73	0,87	-0,59*	0,96	Muito Bom	0,91	1,23	0,76	-1,13*	0,94	Bom	0,88
Makkink	2,14	0,67	1,96*	0,98	Bom	0,97	2,26	0,68	2,04*	0,97	Bom	0,94
	São Miguel do Oeste						Major Vieira					
	EQM	d	EM	r	c	R^2	EQM	d	EM	r	c	R^2
Trabert	2,40	0,57	-2,24*	0,81	Mau	0,66	2,56	0,45	-2,43*	0,80	Péssimo	0,64
Albrecht	1,42	0,80	-0,89*	0,76	Mediano	0,58	2,10	0,53	-1,95*	0,75	Péssimo	0,56
Meyer	2,19	0,61	-2,03*	0,84	Sofrível	0,70	2,32	0,48	-2,20*	0,88	Mau	0,78
Brockamp	1,18	0,86	-0,66*	0,82	Bom	0,67	1,80	0,59	-1,66*	0,81	Mau	0,65
Rohwer	2,04	0,64	-1,86*	0,82	Sofrível	0,68	2,28	0,49	-2,16*	0,86	Mau	0,74
WMO-66	3,00	0,48	-2,83*	0,80	Péssimo	0,63	2,85	0,41	-2,71*	0,81	Péssimo	0,66
Mahringer	2,32	0,58	-2,18*	0,85	Mau	0,73	2,32	0,48	-2,20*	0,91	Mau	0,82
Harbeck	4,20	0,36	-3,98*	0,74	Péssimo	0,55	3,45	0,34	-3,27*	0,71	Péssimo	0,51
Schendel	0,77	0,91	0,01^{ns}	0,85	Muito Bom	0,72	0,70	0,85	-0,12^{ns}	0,81	Bom	0,66
HS-1	1,04	0,85	-0,40*	0,76	Mediano	0,59	0,85	0,88	0,50*	0,85	Bom	0,72
HS-2	1,08	0,85	-0,55*	0,78	Bom	0,61	0,74	0,91	0,38*	0,87	Muito Bom	0,76
HS-3	1,64	0,68	-1,35*	0,77	Sofrível	0,59	0,74	0,88	-0,43*	0,85	Muito Bom	0,73
Baier-Rob	1,27	0,82	-0,80*	0,78	Mediano	0,61	0,73	0,92	0,21^{ns}	0,88	Muito Bom	0,78
Romanenko	1,04	0,88	-0,58*	0,85	Bom	0,72	1,39	0,69	-1,28*	0,90	Mediano	0,81
Camargo	1,85	0,65	-1,51*	0,70	Mau	0,49	1,33	0,68	-1,04*	0,72	Mau	0,51
Camargo m.	3,22	0,44	-3,03*	0,85	Péssimo	0,72	2,00	0,53	-1,86*	0,93	Mau	0,86
Turc	2,15	0,63	-2,10*	0,98	Mediano	0,96	1,98	0,56	-1,91*	0,97	Sofrível	0,95
Jensen-Hai	2,36	0,72	2,00*	0,94	Bom	0,89	1,94	0,72	1,67*	0,98	Bom	0,95
Stephens-S.	0,83	0,92	-0,67*	0,94	Ótimo	0,89	0,53	0,95	-0,45*	0,98	Ótimo	0,95
Hargreaves	0,94	0,90	-0,80*	0,94	Muito Bom	0,89	0,60	0,93	-0,54*	0,97	Ótimo	0,95
Milly-Dunne	0,98	0,90	0,91*	0,98	Ótimo	0,95	1,11	0,84	1,07*	0,99	Muito Bom	0,97
Priestley-T.	1,20	0,88	1,11*	0,99	Ótimo	0,97	1,13	0,85	1,07*	1,00	Muito Bom	1,00
Irmak	1,10	0,83	-0,91*	0,94	Muito Bom	0,88	0,61	0,91	-0,49*	0,96	Ótimo	0,93
Ritchie	0,85	0,91	-0,71*	0,95	Ótimo	0,89	0,41	0,97	-0,34*	0,98	Ótimo	0,96
Tanner-Pelton	3,07	0,60	2,95*	0,97	Sofrível	0,95	2,92	0,54	2,80*	0,98	Sofrível	0,97
Hicks-Hess	1,09	0,89	1,01*	0,98	Ótimo	0,97	1,07	0,85	1,02*	1,00	Ótimo	1,00
Sousa-Silva	0,86	0,90	-0,78*	0,99	Ótimo	0,98	0,54	0,94	-0,49*	0,99	Ótimo	0,98
Valiantzas-1	1,06	0,86	-0,88*	0,91	Muito Bom	0,84	0,79	0,88	-0,58*	0,89	Muito Bom	0,79
Valiantzas-2	1,66	0,74	-1,62*	0,99	Bom	0,97	1,49	0,69	-1,46*	0,98	Bom	0,97
Valiantzas-3	0,70	0,94	-0,54*	0,95	Ótimo	0,91	0,53	0,95	-0,40*	0,95	Ótimo	0,91
Tabari	1,46	0,74	-1,30*	0,93	Bom	0,86	1,00	0,80	-0,90*	0,94	Muito Bom	0,88
Makkink	2,35	0,71	2,10*	0,95	Bom	0,90	2,13	0,67	1,96*	0,98	Bom	0,97
	Lages						Araranguá					

	EQM	d	EM	r	c	R²	EQM	d	EM	r	c	R²
Trabert	2,12	0,50	-1,92*	0,76	Péssimo	0,58	4,07	0,34	-2,57*	0,21	Péssimo	0,04
Albrecht	1,28	0,71	-0,97*	0,73	Sofrível	0,53	3,70	0,37	-1,76*	0,21	Péssimo	0,04
Meyer	2,05	0,52	-1,85*	0,78	Péssimo	0,61	3,93	0,35	-2,31*	0,21	Péssimo	0,04
Brockamp	1,25	0,72	-0,96*	0,77	Sofrível	0,59	3,58	0,37	-1,42*	0,21	Péssimo	0,04
Rohwer	1,92	0,54	-1,72*	0,77	Mau	0,59	3,89	0,35	-2,23*	0,21	Péssimo	0,04
WMO-66	2,47	0,45	-2,27*	0,75	Péssimo	0,57	4,36	0,32	-3,01*	0,21	Péssimo	0,04
Mahringer	2,18	0,49	-1,98*	0,78	Péssimo	0,61	3,96	0,34	-2,36*	0,20	Péssimo	0,04
Harbeck	3,20	0,37	-2,98*	0,72	Péssimo	0,52	5,01	0,29	-3,86*	0,21	Péssimo	0,04
Schendel	0,83	0,81	-0,06^{ns}	0,75	Sofrível	0,56	5,19	0,26	0,39*	0,16	Péssimo	0,03
HS-1	0,88	0,87	0,38*	0,80	Bom	0,63	2,81	0,50	-0,20^{ns}	0,50	Péssimo	0,25
HS-2	0,79	0,89	0,22^{ns}	0,81	Bom	0,66	2,79	0,51	-0,39*	0,53	Péssimo	0,28
HS-3	0,89	0,83	-0,49*	0,80	Bom	0,64	3,07	0,41	-1,14*	0,51	Péssimo	0,26
Baier-Rob	0,91	0,88	-0,14^{ns}	0,80	Bom	0,65	2,83	0,52	-0,50*	0,51	Péssimo	0,26
Romanenko	1,29	0,70	-1,02*	0,78	Sofrível	0,61	3,52	0,36	-1,08*	0,19	Péssimo	0,04
Camargo	1,32	0,68	-0,99*	0,70	Mau	0,50	3,19	0,40	-1,17*	0,38	Péssimo	0,14
Camargo m.	2,10	0,51	-1,90*	0,85	Mau	0,73	4,10	0,33	-2,83*	0,65	Péssimo	0,43
Turc	1,85	0,60	-1,76*	0,98	Sofrível	0,96	2,83	0,71	-2,14*	0,96	Bom	0,91
Jensen-Hai	1,91	0,75	1,58*	0,98	Bom	0,96	3,89	0,84	2,33*	0,99	Muito Bom	0,98
Stephens-S.	0,51	0,96	-0,43*	0,98	Ótimo	0,96	0,76	0,99	-0,36*	0,99	Ótimo	0,98
Hargreaves	0,57	0,95	-0,51*	0,98	Ótimo	0,96	0,72	0,99	-0,49*	0,99	Ótimo	0,98
Milly-Dunne	1,20	0,85	1,10*	0,98	Muito Bom	0,96	1,60	0,96	1,11*	0,99	Ótimo	0,99
Priestley-T.	1,19	0,86	1,07*	0,99	Ótimo	0,98	1,92	0,94	1,20*	0,99	Ótimo	0,99
Irmak	0,57	0,94	-0,44*	0,97	Ótimo	0,94	1,32	0,94	-0,63*	0,98	Ótimo	0,96
Ritchie	0,39	0,97	-0,33*	0,98	Ótimo	0,97	0,65	0,99	-0,39*	0,99	Ótimo	0,98
Tanner-Pelto	2,97	0,58	2,77*	0,98	Sofrível	0,95	4,20	0,82	3,12*	0,99	Muito Bom	0,99
Hicks-Hess	1,14	0,86	1,03*	0,99	Ótimo	0,98	1,78	0,95	1,13*	0,99	Ótimo	0,99
Sousa-Silva	0,44	0,96	-0,37*	0,99	Ótimo	0,98	1,02	0,97	-0,65*	1,00	Ótimo	1,00
Valiantzas-1	0,85	0,86	-0,47*	0,82	Bom	0,67	3,08	0,41	-0,99*	0,42	Péssimo	0,18
Valiantzas-2	1,41	0,73	-1,37*	0,98	Bom	0,97	1,56	0,94	-1,46*	1,00	Ótimo	1,00
Valiantzas-3	0,45	0,96	-0,30*	0,96	Ótimo	0,92	3,06	0,42	-0,58*	0,36	Péssimo	0,13
Tabari	0,88	0,86	-0,78*	0,96	Muito Bom	0,93	1,50	0,93	-1,00*	0,98	Ótimo	0,96
Makkink	2,14	0,70	1,91*	0,98	Bom	0,97	3,59	0,85	2,41*	0,99	Muito Bom	0,98

* Significativo ao nível de 5% pelo teste t-Student; ^{ns} Não significativo.

Em tese, se um método fornece boas estimativas na escala diária, espera-se que isto ocorra em escalas de tempo maiores devido a suavização das variações diárias, mas este raciocínio não é uma regra (Pereira; Sediyama; Villa Nova,2013), por isso a importância em realizar avaliações para diferentes escalas de tempo.

Na hipótese de ausência de dados de radiação, há mais opções de estimar a ETo decendial recorrendo a métodos baseado na temperatura do ar, como nos municípios de São Miguel do Oeste,

Major Vieira e Joaçaba, onde a ETo padrão explicou entre 72% a 81% da variação de ETo estimada pelos métodos avaliados que tiveram um desempenho 'muito bom'.

Para os métodos baseados na radiação e classificados como 'ótimo', foi unânime R^2 acima de 0,90, aos quais são ratificados pelos valores dos índices de concordância (d) que apresentaram ajustes quase perfeitos ($d \geq 0,90$) entre a ETo estimada pelos referidos métodos com o de PM FAO-98. Destes métodos baseados na radiação com as referidas classificações, o EQM indica que a maioria apresentou uma variação média na estimativa da ETo inferior a 1 mm.dec (ou inferior a 10 mm no acumulado de 10 dias) em relação a ETo por PM FAO-98.

É compreensível o melhor desempenho dos métodos baseados na radiação, assim como encontrado em outros estudos (Tabari, 2010; Tabari; Grismer; Trajkovic, 2013; Bourleysikas; Argyrokastritis; Proutsos, 2017; Macêdo et al., 2017) e atestado por Lemos Filho et al. (2010) que apesar de terem encontrado uma influência distinta das variáveis meteorológicas sobre a ETo entre localidades de Minas Gerais, a radiação solar foi a mais influente na estimativa de ETo.

Assim como na escala diária, houve uma diversidade na tendência das estimativas decendiais de ETo entre os métodos baseados na radiação e naqueles baseados na temperatura do ar com um desempenho 'muito bom'. Chama a atenção, que a maioria dos métodos baseados na temperatura com o referido desempenho, não houve diferença estatisticamente significativa entre as médias de ETo por PM FAO-98 com a dos métodos avaliados.

Na classificação dos 32 métodos, baseada na média do EQM da ETo decendial obtida entre os municípios, comparativamente aos valores da escala diária ficou mantido o predomínio nas primeiras colocações dos métodos de radiação como de Ritchie a Stephens-Stew, bem como, as variações do EQM (Tabela 6).

Tabela 6- Média e coeficiente de variação (CV) do EQM entre os municípios de Santa Catarina usados no estudo da ETodecendial estimada pelos 32 métodos aerodinâmicos (A), baseados na temperatura do ar (T) e na radiação (R).

Classificação	Método	Categoria	Média	CV
1	Ritchie	R	0,54	37,2
2	Stephens-Stew	R	0,62	27,5
3	Hargreaves	R	0,67	27,0
4	Souza-Silva	R	0,68	32,0
5	Irmak	R	0,81	41,8

6	Valiantzas-3	R	0,95	108,9
7	Milly-Dunne	R	1,13	23,9
8	Tabari	R	1,13	27,7
9	Hicks-Hess	R	1,18	26,4
10	HS-2	T	1,18	68,3
11	Valiantzas-1	R	1,22	75,4
12	HS-1	T	1,24	62,9
13	Baier-Rob	T	1,25	64,2
14	Priestley-Taylor	R	1,26	26,6
15	HS-3	T	1,34	68,0
16	Valiantzas-2	R	1,50	9,1
17	Schendel	T	1,53	117,6
18	Romanenko	T	1,58	61,1
19	Camargo	T	1,70	46,6
20	Brockamp	A	1,94	44,8
21	Turc	R	2,13	17,3
22	Albrecht	A	2,17	40,0
23	Jensen-Hai	R	2,40	31,3
24	Rohwer	A	2,43	30,0
25	Makkink	R	2,44	23,5
26	Meyer	A	2,49	28,8
27	Mahringer	A	2,53	28,5
28	Camargo-mod	T	2,65	31,9
29	Trabert	A	2,75	24,8
30	WMO-66	A	3,09	21,2
31	Tanner-Pelton	R	3,11	19,1
32	Harbeck	A	3,85	17,5

Apesar dos resultados mostrarem que há um bom número de opções para estimativa confiável de ETo nas escalas diária e decendial em substituição a PM FAO-98, ainda há possibilidade de melhorar as suas estimativas e, ou, com aqueles métodos que não apresentaram uma boa eficiência, realizando calibração local, conforme recomendado por Fooladmand e Haghighat (2007) e Sharafi e Ghaleni (2021) após estudos aplicados para diferentes regiões climáticas do Irã.

Mártir; Gonzáles-Altozano; Gasque (2011) sugeriram a aplicação de diferentes abordagens entre estações meteorológicas para estimar a ETo quando há ausência de dados para sua estimativa, como regressão simples, regressão linear múltipla e redes neurais. Alguns destes como a regressão linear múltipla apresentaram um bom desempenho. Para períodos menores que 10 dias, os melhores

resultados de ETo a ser usada no preenchimento foi para a média oriunda das observações de ETo do dia anterior e posterior daquele a ser preenchido.

Mesmo que na eventualidade em dado município de Santa Catarina usado neste estudo, não houver registros de radiação e, ou, algum dos métodos aerodinâmicos ou baseados na temperatura não tenha apresentado desempenho satisfatório, pode-se usar PM-FAO98 estimando alguma das variáveis necessárias. Nas condições climáticas no estado do Espírito Santo, Venancio et al. (2019) encontraram que na ausência de velocidade do vento, o método de PM FAO-98 pode ser usado para todas as escalas de tempo analisadas no estudo, considerando as recomendações do boletim nº 56 da FAO (Allen et al., 1998) para estimar a velocidade do vento. Nas condições semi-áridas no estado americano do Novo México, a equação de PM FAO-98 mostrou boa performance com dados ausentes de radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento. No entanto, quando houve ausência de mais um dado meteorológico, a estimativa por PM FAO-98 tendeu a subestimar a ETo (Djaman et al., 2019).

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os métodos fundamentados na radiação são indicados para estimar a evapotranspiração de referência (ETo) diária e decendial, como o de Ritchie e Stephens-Stew que tiveram um ‘ótimo’ desempenho nos seis municípios catarinenses e os menores erros quadrático médios.

Na ausência de dados de radiação, apenas em Joaçaba há possibilidade de estimar de forma satisfatória a ETo diária usando algum método baseado na temperatura do ar, sendo o de Romanenko. Na escala decendial, há mais recomendações de métodos baseados na temperatura a serem usados, mas somente em Joaçaba, São Miguel do Oeste e Major Vieira.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de Iniciação Científica a primeira autora.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**. Rome: FAO, 1998. 297 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

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.155-169, 2012.

BOURLETSIKAS, A.; ARGYROKASTRITIS, I.; PROUTSOS, N. Comparative evaluation of 24 reference evapotranspiration equations applied on evergreen-broadleaved forest. **Hydrol. Res.**, nh2017232, 2017.

BRAGA, H.J.; GHELLRE, R. Proposta de diferenciação climática para o estado de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999. CD-Rom

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Rev. Bras. de Agrometeorol.,** v. 5, p. 89-97, 1997.

CUNHA, F.F.; MAGALHÃES, F.F.; CASTRO, M.A. Métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul – MS. **Eng. Agric.**, v.21, n.2, p.159-172, 2013.

DJAMAN, K.; BALDE, A.B.; SOW, A.; MULLER, B.; IRMAK, S.; N'DIAYE, M.K.; MANNEH, B.; MOUKOUMBI, Y.D.; FUTAKUCHI, K.; SAITO, K. Evaluation of sixteen reference evapotranspiration methods under sahelian conditions in the Senegal River Valley. **J. Hydrol. Reg. Stud.,** v.3, p.139–159, 2015.

DJAMAN, K.; O'NEILL, M.; DIOP, L.; BODIAN, A.; ALLEN, S.; KOUDAHE, K.; LOMBARD, K. Evaluation of the Penman-Monteith and other 34 reference evapotranspiration equations under limited data in a semi arid dry climate. **Theor. Appl. Climatol.**, v.137, p.729–743, 2019.

DROOGERS, P.; ALLEN, R.G.Estimating reference evapotranspiration under in accurate data conditions. **Irrig. Drain. Syst.,** v.16, p.33–45, 2002.

FOOLADMAND, H.R.; HAGHIGHAT, M. Spatial and temporal calibration of Hargreaves equation for calculating monthly ETo based on Penman-Monteith method. **Irrig. Drain.** v.56, p.39–449, 2007.

GAO, F.; FENG, G.; OUYANG, Y.; WANG, H.; FISHER, D.; ADELI, A.; JENKINS, J. Evaluation of reference evapotranspiration methods in arid, semiarid, and humid regions. **J. Am. Water Resour. As.**, v.53, p.791–808, 2017.

IRMAK, S.; IRMAK, A.; ALLEN, R.G.; JONES, J.W. Solar and net radiation-based equations to estimate reference evapotranspiration in humid climates. **J. Irrig. Drain. Eng.,** v.129, n.5, p.336–347, 2003.

LEMOS 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. **Rev. Bras. de Eng. Agrícola e Ambient.**, v. 14, n. 2, p.1294-1303, 2010.

MACÊDO, K.G. de; ARRAES, F.D.D.; OLIVEIRA, W.C. de; LIMA JÚNIOR, J.C. de; ARAÚJO, Y.R. Estimativa da evapotranspiração de referência utilizando modelos com base na temperatura do ar e radiação solar global para o estado de Goiás. **Eng. Agric.,** v.25, n.6, p.540-548, 2017.

MARTÍ, P.; GONZÁLEZ-ALTOZANO, P.; GASQUE, M. Reference evapotranspiration estimation without local climatic data. **Irrig. Sci.**, v.29, p.479–495, 2011.

MORALES-SALINAS, L.; ORTEGA-FARÍAS, S.; RIVEROS-BURGOS, C.; NEIRA-ROMÁN, J.; CARRASCO-BENAVIDES, M.; LÓPEZ-OLIVARI, R. Monthly calibration of Hargreaves–Samani equation using remote sensing and Topoclimatology in central-southern Chile. **Int. J. Remote Sens.,** v.38, p.7497–7513, 2017.

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**, v.27*,* n.2, p.339-345, 2020.

PEREIRA, A.R.; SEDIYAMA, G.C.; VILLA NOVA, N.A. **Evapotranspiração**. Campinas, SP: Fundag, 2013. 323p.

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. **Agric.Water Manag.,** v.97, p.635-644, 2010.

SHARAFI, S.; GHALENI, M.M. Evaluation of multivariate linear regression for reference evapotranspiration modeling in different climates of Iran. **Theor. Appl. Climatol.,** v.143, p.1409–1423, 2021.

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. **Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.**, v.22, n.2, p.83-89, 2018.

SOUZA, L.S.B. de; SILVA, M.T.L.; ALBA, E.; MOURA, M.S.B. de; CRUZ NETO, J.F. da; SOUZA, C.A.A. de; SILVA, T.G.F da. New method for estimating reference evapotranspiration and comparison with alternative methods in a fruit-producing hub in the semi-arid region of Brazil.**Theor. Appl. Climatol.**, v.149, n.1-2, p.593-602, 2022.

TABARI, H. Evaluation of reference crop evapotranspiration equations in various climates. **Water Resour. Manage.**, v.24, p.2311–2337, 2010.

TABARI, H.; GRISMER, M.; TRAJKOVIC, S. Comparative analysis of 31 reference evapotranspiration methods under humid conditions. **Irrig. Sci.**.v.31, p.107–117. 2013

VALIPOUR, M. Calibration of mass transfer-based models to predict reference crop evapotranspiration. **Appl. Water Sci.,**v.7, n.2, p.625–635, 2015.

VENANCIO, L.P.; CUNHA, F.F. da; MANTOVANI, E.C.; SEDIYAMA, G.C., EUGENIO, F.C.; ALEMAN, C.C. Penman-Monteith with missing data and Hargreaves-Samani for ETo estimation in Espírito Santo State, Brazil. **Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.**, v.23, n.3, p.153-159, 2019.

YANG, Y.; CHEN, R., HAN, C.; LIU, Z. Evaluation of 18 models for calculating potential evapotranspiration in different climatic zones of China. **Agric.Water Manag.**, v.244, 106545, 2021.

WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Phys. Geogr.**, v.2, n. 2, p.184-194, 1981.