



Estimativa da evapotranspiração de referência para Presidente Prudente, SP

Alexandrius de Moraes Barbosa^{1(*)} e Almir Rogerio Cavalcanti¹

Unoeste – Universidade do Oeste Paulista, Unoeste Clima - Centro de Monitoramento e Estudos Climáticos e de Previsão do Tempo.
Rodovia Raposo Tavares, km 572, CEP 19067-175 Presidente Prudente, SP. E-mails: alexandrius@unoeste.br e ar_cavalcanti@hotmail.com
(*)autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 19 de março de 2024

Aceito em 25 de julho de 2024

Termos para indexação:

oeste paulista
estações do ano
irrigação
equações de estimativa

RESUMO

A avaliação do desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) é essencial para o manejo eficiente e sustentável da água. O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em função das estações do ano para Presidente Prudente, SP. Foi avaliada a ET_o do período de 2019 a 2023, sendo estudado o desempenho médio anual e em cada estação do ano (primavera, verão, outono e inverno). Foram avaliados dezenove métodos de estimativa utilizando como referência de comparação o método de Penman-Monteith-FAO. O desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência varia conforme as estações do ano, apresentando melhor desempenho no verão e menor no inverno. O melhor desempenho anual foi obtido pelos métodos de Abtew, Hargreaves, Priestley e Taylor, Radiação-Líquida, Radiação-Temperatura e Turc. Os métodos de Priestley e Taylor e Radiação-Líquida foram os que tiveram maior estabilidade e melhor desempenho ao longo das estações do ano. Métodos que utilizam radiação solar apresentaram melhor desempenho. Quando se dispõe somente de dados de temperatura do ar, utilizar o método de Hargreaves-Samani.

© 2024 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

As atividades agrícolas demandam grandes quantidades de água e, sendo cada vez mais preocupante a sua escassez, esforços têm sido empregados no desenvolvimento de pesquisas que possibilitem a sua economia em todo o planeta. Neste sentido, o correto conhecimento da evapotranspiração das culturas (ET_c), seja para projeto e/ou manejo de irrigação, assume fundamental importância. A estimativa da ET_c pode ser feita a partir da evapotranspiração de referência (ET_o) e do coeficiente de cultura (K_c) (Carvalho et al., 2011).

Compreende-se por ET_o a perda de água por evaporação e transpiração de uma área extensa com vegetação de porte baixo que cobre completamente a superfície do solo, em crescimento ativo e sem restrição hídrica (Bergamaschi & Bergonci, 2017). O método de Penman-Monteith FAO (PM-FAO) tem sido amplamente utilizado para estimativa da ET_o e o mais recomendado como padrão de comparação com outros métodos (Carvalho et al., 2011; Costa et al., 2017),

Contudo, são poucos os locais que dispõem de banco de dados meteorológicos completos para a estimativa da ET_o, pelo método de PM-FAO. Na maioria das vezes os dados se

encontram incompletos ou indisponíveis. Por isso, torna-se necessária a validação e orientação de uso de métodos alternativos e mais simplificados para estimativa da ETo (Andrade Júnior et al., 2017).

Atualmente existem diversos modelos de estimativa da ETo, no entanto, em várias situações esses métodos são utilizados em condições climáticas e agronômicas muito diferentes daquelas em que foram desenvolvidos, por isso, é essencial avaliar o grau de exatidão desses modelos, antes de utilizá-los para nova condição (Cunha et al., 2013). Salienta-se ainda que o desempenho dos métodos de estimativa pode variar conforme as estações do ano.

No Brasil estudos têm sido realizados visando avaliar o desempenho de métodos de estimativa da ETo em função de suas características climáticas regionais (Vescove & Turco, 2005; Cunha et al., 2013; Andrade Júnior et al., 2017; Souza & Campelo Júnior, 2017; Valle Júnior et al., 2020).

O município de Presidente Prudente está localizado no oeste do estado de São Paulo. A região possui precipitação acumulada anual de 1.563,8 mm e evapotranspiração anual de 1.324,8 mm. No entanto, devido a frequente ocorrência de períodos de estiagem, a região possui déficit hídrico anual de 303,0 mm, sendo 142,3 mm nas estações da primavera-verão e de 160,7 mm nas estações do outono-primavera (Barbosa, 2022).

A ocorrência de períodos de déficit hídrico, principalmente no período chuvoso, tem provocado o atraso da semeadura, fazendo com que as culturas sejam instaladas fora das janelas de plantio recomendadas, bem como, a redução da produtividade (Barbosa, 2021). Tal situação promoveu o aumento da área irrigada na região em 349,7% no período de 2000 a 2017 (Silva, 2018).

Dessa maneira, é de grande importância o uso de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência que apresentem bom desempenho nas condições climáticas do oeste paulista, visando o uso eficiente e racional da água no manejo da irrigação. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho métodos de estimativa da ETo em função das estações do ano para Presidente Prudente-SP.

Material e Métodos

O estudo foi realizado com dados do município de Presidente Prudente, localizado na região oeste do estado de São Paulo (22°12'S; 51°30'W e altitude de 470 m). O clima da região é classificado como Aw (clima tropical com estação seca de inverno) conforme Köppen e Geiger (1928); Rolim et al. (2007). A caracterização climática da região em função das estações do ano pode ser visualizada na Tabela 1.

A precipitação anual acumulada na região de Presidente Prudente, SP é de 1.563,8 mm, sendo que, 69,7% do volume (1.090,2 mm) ocorre nas estações da primavera e verão (Tabela 1). Na região é comum a ocorrência de precipitação nas estações de outono e primavera (473,6 mm). A evapotranspiração anual da região é de 1.324,4 mm, sendo o verão o mês com maior evapotranspiração (441,5 mm) e o inverno o menor (201,9 mm). Em relação a temperatura do ar, a média anual é de 24,2 °C, sendo o verão a estação mais quente, com temperatura média de 26,5 °C e o inverno o mais frio, com média de 21,3 °C.

Foram utilizados dados diários do período de 01 de janeiro de 2019 a 31 de dezembro de 2023, perfazendo o total de 1.826 observações. Os dados foram oriundos do Centro de Monitoramento e Estudos Climáticos e de Previsão do Tempo – Unoeste Clima (22°07'04"S, 51°27'04"W e 413 m de altitude). Utilizou-se os dados de velocidade do vento a 2,0 m de altura ($m s^{-1}$), temperatura do ar média, máxima e mínima (°C), radiação solar global ($MJ m^{-2} dia^{-1}$) e umidade relativa do ar (UR, %).

Foram avaliados dezenove métodos de estimativa da ETo em comparação com o método padrão de Penman-Monteith-FAO56 (Tabela 2). As equações das metodologias utilizadas podem ser encontradas sintetizadas em trabalho realizado por Cunha et al. (2017).

A avaliação do desempenho dos métodos de estimativa foi realizada através de um conjunto estatístico descrito por Valle Junior et al. (2020). Foram utilizados a raiz do erro do quadrado médio (REQM), o coeficiente de correlação de Pearson (r), o índice de concordância (d) proposto por Willmott (1982) e o índice de confiança (c) proposto por Camargo e Sentelhas (1997). A classificação do desem-

Tabela 1. Caracterização climática de Presidente Prudente no período de 1992 a 2022 conforme as estações do ano.

Estações	Precipitação mm	1ETo mm	T Méd	T Máx °C	T Mín	2Radiação MJ m-2 dia-1	1Déficit mm	1Excesso mm
Verão	689,7	441,5	26,5	31,4	21,8	18,1	46,8	280,3
Outono	311,2	316,4	24,1	29,3	19,1	13,0	84,9	96,0
Inverno	162,4	201,9	21,3	27,1	15,7	10,6	75,8	56,0
Primavera	400,5	365,0	25,0	30,7	19,4	17,7	95,5	112,3
Anual	1563,8	1324,8	24,2	29,6	19,0	14,8	303,0	544,6

Verão (Dez-Jan-Fev), Outono (Mar-Abr-Mai), Inverno (Jun-Jul-Ago) e Primavera (Set-Out-Nov). Temperatura do ar média (T Méd), máxima (T Máx) e Mínima (T Mín). 1Conforme Barbosa (2022). 2Radiação Global - Dados de 2005 a 2022.

Tabela 2. Métodos considerados para a estimativa da evapotranspiração de referência em Presidente Prudente, SP.

Método	Referência	Método	Referência
Penman-Monteith-FAO56	Allen et al., 1998	Kharrufa	Kharrufa, 1985
Abtew	Oudin et al., 2005	Makkink	Makkink, 1957
Blaney-Morin	Blaney; Morin, 1942	McCloud	Jacobs; Satti, 2001
Camargo	Camargo, 1971	McGuinness-Bordne	McGuinness; Bordne, 1972
Garcia-Lopez	Garcia; Lopez, 1970	Priestley e Taylor	Priestley; Taylor, 1972
Hamon	Hamon, 1961	Radiação-Global	Tomar; O'Toole, 1980
Hargreaves	Hargreaves, 1974	Radiação-Líquida	Bruin; Stricker, 2000
Hargreaves-Samani	Hargreaves; Samani, 1985	Radiação-Temperatura	Oudin et al., 2005
Ivanov	Dorfman, 1977	Romanenko	Oudin et al., 2005
Jensen e Haise	Jensen; Haise, 1963	Turc	Turc, 1961

As equações foram utilizadas conforme Cunha et al., 2013.

penho dos métodos foi realizada conforme o índice de confiança proposto por Camargo e Sentelhas (1997), sendo, ótimo ($c > 0,85$), muito bom (c de 0,76 a 0,85), bom (c de 0,66 a 0,75), mediano (c de 0,61 a 0,65), sofrível (c de 0,51 a 0,60), mau (c de 0,41 a 0,50) e péssimo ($c < 0,40$).

Resultados

A evapotranspiração de referência (ET_o) média geral

de Presidente Prudente-SP conforme metodologia de Penman-Monteith-FAO56 foi de 3,85 mm por dia (Tabela 3). A ET_o da primavera e verão foi de 4,61 e 4,67 mm, respectivamente (Tabelas 4 e 5), enquanto que, no outono a ET_o foi de 3,35 mm e no inverno de 2,67 mm (Tabelas 6 e 7).

O melhor desempenho anual foi obtido pelos métodos de Abtew, Hargreaves, Priestley e Taylor, Radiação-Líquida, Radiação-Temperatura e Turc, sendo que a REQM desses métodos variou de 0,50 a 0,65 mm (Tabela 4). Os métodos

Tabela 3. Evapotranspiração média diária (ET_o), raiz do erro quadrado médio (REQM), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de confiança (c) e desempenho de Camargo e Sentelhas, obtidos das correlações entre os valores de evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelos métodos avaliados, com os valores do método padrão de Penman-Monteith-FAO56, em Presidente Prudente, SP.

Métodos	ET _o	REQM	r	d	c	Desempenho
	mm					
Anual						
Penman-Monteith-FAO56	3,85					
Abtew	3,96	0,65	0,93	0,95	0,88	Ótimo
Blaney-Morin	3,07	1,31	0,64	0,62	0,39	Péssimo
Camargo	3,58	0,81	0,81	0,88	0,71	Bom
Garcia-Lopez	5,37	1,80	0,76	0,68	0,52	Sufrível
Hamon	3,26	0,96	0,82	0,83	0,68	Bom
Hargreaves	4,07	0,62	0,93	0,95	0,89	Ótimo
Hargreaves-Samani	4,49	0,87	0,90	0,90	0,81	Muito Bom
Ivanov	6,53	2,96	0,67	0,51	0,34	Péssimo
Jensen e Haise	4,95	1,42	0,94	0,83	0,78	Muito Bom
Kharrufa	5,86	2,20	0,73	0,58	0,43	Mau
Makkink	3,09	0,93	0,92	0,87	0,80	Muito Bom
McCloud	5,24	2,00	0,73	0,69	0,50	Sufrível
McGuinness-Bordne	6,05	2,44	0,81	0,60	0,49	Mau
Priestley e Taylor	3,78	0,50	0,94	0,97	0,91	Ótimo
Radiação-Global	2,90	1,23	0,89	0,71	0,63	Mediano
Radiação-Líquida	3,47	0,60	0,94	0,95	0,89	Ótimo
Radiação-Temperatura	3,96	0,65	0,93	0,95	0,88	Ótimo
Romanenko	7,83	4,25	0,67	0,41	0,27	Péssimo
Turc	3,80	0,51	0,90	0,95	0,85	Ótimo
Média	4,59	1,48	0,83	0,77	0,65	Mediano

de Hargreavis-Samani, Jensen e Haise e de Makkink tiveram desempenho muito bom, com variação da REQM de 0,87 a 1,42 mm.

O desempenho médio geral dos métodos avaliados foi mediano ($c=0,65$) e a REQM foi igual a de 1,48 mm (Tabela 3). Em relação às estações do ano, observou-se, de maneira geral, que os métodos tiveram melhor desempenho no verão ($c=0,64$, mediano) (Tabela 5), com redução do desempenho nas demais estações, sendo que o pior desempenho foi obtido no inverno ($c=0,53$) (Tabela 7). Observou-se ainda que o desempenho dos métodos pode melhorar ou piorar conforme as estações do ano.

Na primavera o melhor desempenho (ótimo) foi obtido pelos métodos de Abtew, Hargreaves, Priestley e Taylor e Radiação-Temperatura (Tabela 4). A REQM desses métodos variou de 0,55 a 0,72 mm. Na primavera os métodos de Blaney Morin, McCloud, Radiação Global e de Romanenko tiveram péssimo desempenho.

No verão o melhor desempenho (ótimo) foi obtido pelos métodos de Abtew, Hargreaves, Priestley e Taylor, Radiação-Líquida, Radiação-Temperatura e Turc, onde a variação da REQM foi de 0,40 a 0,69 mm (Tabela 5). Os métodos de Jensen e Haise e Makkink apresentaram desempenho muito bom, com variação da REQM de 0,99 a 1,77 mm.

O pior desempenho no verão (péssimo) foi observado nos métodos de Blaney-Morin e Radiação-Global.

No outono apenas os métodos de Priestley e Taylor e Radiação-Líquida apresentaram desempenho ótimo, com REQM de 0,42 e 0,45 mm, respectivamente (Tabela 6). Os métodos de Abtew, Hargreaves, Makkink, Radiação-Temperatura e Turc tiveram desempenho muito bom, com variação de 0,44 a 0,64 da REQM. O desempenho péssimo foi obtido por seis métodos (Garcia-Lopez, Ivanov, Kharrufa, McCloud, McGuinness-Bordne e Romanenko).

No inverno nenhum método avaliado apresentou ótimo desempenho e apenas dois métodos obtiveram desempenho muito bom (Priestley e Taylor e Radiação-Líquida) (Tabela 7). No entanto, quando comparado ao verão, observou-se a melhora no desempenho de alguns métodos, como por exemplo, Blaney Morin (péssimo no verão e bom no inverno); Radiação-Global (péssimo no verão e bom no inverno); e Camargo (sofrível no verão e bom no inverno).

Discussão

Observou-se que o desempenho dos métodos variou conforme as estações do ano, apresentando melhor desempenho no verão e pior no inverno, sendo que essa variação

Tabela 4. Evapotranspiração média diária (ETo), raiz do erro quadrado médio (REQM), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de confiança (c) e desempenho de Camargo e Sentelhas, obtidos das correlações entre os valores de evapotranspiração de referência (ETo) estimada pelos métodos avaliados, com os valores do método padrão de Penman-Monteith-FAO56, na estação da primavera (setembro a novembro) em Presidente Prudente, SP.

Métodos	ETo	REQM	r	d	c	Desempenho
	mm	mm				
Primavera (set-out-nov)						
Penman-Monteith-FAO56	4,61					
Abtew	4,53	0,72	0,94	0,95	0,89	Ótimo
Blaney-Morin	3,44	1,48	0,68	0,42	0,28	Péssimo
Camargo	4,18	0,99	0,67	0,77	0,52	Sofrível
Garcia-Lopez	6,22	2,02	0,65	0,76	0,49	Mau
Hamon	3,78	1,22	0,67	0,67	0,45	Mau
Hargreaves	4,57	0,62	0,94	0,96	0,90	Ótimo
Hargreaves-Samani	5,35	0,99	0,84	0,90	0,76	Muito Bom
Ivanov	7,66	3,36	0,67	0,63	0,42	Mau
Jensen e Haise	5,64	1,44	0,94	0,88	0,82	Muito Bom
Kharrufa	6,33	2,00	0,60	0,74	0,44	Mau
Makkink	3,43	1,26	0,939	0,74	0,68	Bom
McCloud	6,25	2,63	0,55	0,67	0,37	Péssimo
McGuinness-Bordne	7,02	2,58	0,67	0,69	0,46	Mau
Priestley e Taylor	4,34	0,55	0,93	0,96	0,89	Ótimo
Radiação-Global	3,07	1,66	0,91	0,42	0,38	Péssimo
Radiação-Líquida	3,94	0,84	0,91	0,88	0,80	Muito Bom
Radiação-Temperatura	4,53	0,72	0,94	0,95	0,89	Ótimo
Romanenko	9,20	4,90	0,67	0,52	0,35	Péssimo
Turc	4,27	0,62	0,88	0,93	0,81	Muito Bom
Média	5,26	1,69	0,78	0,75	0,60	Sofrível

Tabela 5. Evapotranspiração média diária (ETo), raiz do erro quadrado médio (REQM), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de confiança (c) e desempenho de Camargo e Sentelhas, obtidos das correlações entre os valores de evapotranspiração de referência (ETo) estimada pelos métodos estudados, com os valores do método padrão de Penman-Monteith-FAO56, na estação do verão (dezembro a fevereiro) em Presidente Prudente, SP.

Métodos	ETo	REQM	r	d	c	Desempenho
	mm	mm				
Verão (dez-jan-fev)						
Penman-Monteith-FAO56	4,67					
Abtew	4,86	0,69	0,95	0,95	0,91	Ótimo
Blaney-Morin	3,04	1,84	0,69	0,23	0,16	Péssimo
Camargo	4,64	0,89	0,66	0,83	0,55	Sofrível
Garcia-Lopez	5,85	1,41	0,72	0,84	0,61	Mediano
Hamon	4,17	0,98	0,66	0,74	0,49	Mau
Hargreaves	4,97	0,64	0,96	0,96	0,92	Ótimo
Hargreaves-Samani	5,44	1,01	0,81	0,90	0,72	Bom
Ivanov	6,51	2,09	0,70	0,76	0,53	Sofrível
Jensen e Haise	6,16	1,77	0,96	0,84	0,80	Muito Bom
Kharrufa	6,47	1,98	0,65	0,75	0,49	Mau
Makkink	3,73	0,99	0,96	0,82	0,79	Muito Bom
McCloud	6,29	2,00	0,63	0,76	0,48	Mau
McGuinness-Bordne	7,78	3,22	0,66	0,62	0,41	Mau
Priestley e Taylor	4,96	0,49	0,95	0,97	0,93	Ótimo
Radiação-Global	3,25	1,51	0,95	0,41	0,39	Péssimo
Radiação-Líquida	4,48	0,40	0,95	0,98	0,93	Ótimo
Radiação-Temperatura	4,86	0,69	0,95	0,96	0,91	Ótimo
Romanenko	7,81	3,36	0,70	0,63	0,44	Mau
Turc	4,48	0,42	0,95	0,97	0,93	Ótimo
Média	5,33	1,44	0,81	0,78	0,64	Mediano

está de acordo com Ferronato et al. (2016), que observaram que o desempenho de oito métodos em Santo Antônio do Leverger-MT foi melhor no verão ($c = 0,78$) e menor no inverno ($c = 0,50$).

A variação dos métodos de estimativa da ETo em função das estações do ano ocorre devido a variações climáticas sazonais, sendo que os métodos de estimativa são sensíveis às variações dos elementos agrometeorológicos. Conforme Shi et al. (2023) a radiação solar e a UR são os elementos meteorológicos que mais influenciam a evapotranspiração, tendo a radiação maior peso durante a primavera-verão, e a UR maior peso no outono-inverno.

O melhor desempenho dos métodos de estimativa da ETo no verão está relacionado às condições climáticas da estação, que podem ser mais semelhantes às condições climáticas originais sob as quais os métodos foram desenvolvidos, ou seja, à medida que as condições climáticas mudam com as estações do ano, o desempenho do método pode variar, melhorando ou piorando conforme a semelhança das condições atuais com aquelas em que o método foi desenvolvido.

De maneira geral, os métodos de Priestley e Taylor e da Radiação-Líquida foram os que apresentaram maior esta-

bilidade e melhor desempenho ao longo das estações do ano. Os métodos de Hargreaves e da Radiação-Temperatura também se destacaram, apresentando ótimo desempenho na primavera e no verão, desempenho muito bom no outono e bom no inverno.

O método de Priestley e Taylor é um dos mais utilizados em estudos de avaliação de métodos da ETo no Brasil e seu bom desempenho tem sido observado em diversos estudos no Brasil (Silva et al., 2011; Borges Junior et al., 2012; Andrade Júnior et al., 2017; Cunha et al., 2017; Silva et al., 2018). O bom desempenho do método de Priestley e Taylor se deve ao fato de que este método é uma simplificação do método de Penman (conhecido como Penman Original), sendo que o procedimento de alguns parâmetros são os mesmos utilizados no método padrão de Penman-Monteith-FAO56 (Carvalho et al., 2011).

O método de Radiação-Líquida é menos utilizado em estudos para estimativa da ETo, no entanto, também já foi observado o bom desempenho desse método em alguns estudos (Cunha et al., 2017). O bom desempenho deve-se ao fato desse método utilizar o saldo de radiação em sua fórmula (Bruin; Stricker, 2000) da mesma maneira que o método de Priestley e Taylor. Rigone et al. (2013) avalian-

Tabela 6. Evapotranspiração média diária (ETo), raiz do erro quadrado médio (REQM), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de confiança (c) e desempenho Camargo e Sentelhas, obtidos das correlações entre os valores de evapotranspiração de referência (ETo) estimada pelos métodos estudados, com os valores do método padrão de Penman-Monteith-FAO56, na estação do outono (março a maio) em Presidente Prudente, SP.

Métodos	ETo mm	REQM mm	r	d	c	Desempenho
Outono (mar-abr-mai)						
Penman-Monteith-FAO56	3,35					
Abtew	3,62	0,59	0,90	0,93	0,83	Muito Bom
Blaney-Morin	2,93	0,87	0,57	0,81	0,46	Mau
Camargo	3,12	0,66	0,74	0,89	0,66	Bom
Garcia-Lopez	5,04	1,85	0,72	0,40	0,29	Péssimo
Hamon	2,82	0,81	0,74	0,86	0,64	Mediano
Hargreaves	3,77	0,64	0,91	0,91	0,83	Muito Bom
Hargreaves-Samani	3,90	0,73	0,85	0,83	0,70	Bom
Ivanov	6,06	2,87	0,61	0,23	0,14	Péssimo
Jensen e Haise	4,54	1,38	0,92	0,68	0,63	Mediano
Kharrufa	5,69	2,45	0,67	0,26	0,17	Péssimo
Makkink	2,88	0,63	0,90	0,93	0,83	Muito Bom
McCloud	4,79	1,80	0,68	0,50	0,34	Péssimo
McGuinness-Bordne	5,30	2,11	0,74	0,35	0,26	Péssimo
Priestley e Taylor	3,37	0,42	0,91	0,96	0,88	Ótimo
Radiação-Global	2,79	0,79	0,86	0,87	0,74	Bom
Radiação-Líquida	3,12	0,45	0,91	0,96	0,87	Ótimo
Radiação-Temperatura	3,62	0,59	0,90	0,93	0,83	Muito Bom
Romanenko	7,27	4,08	0,61	0,17	0,10	Péssimo
Turc	3,53	0,44	0,87	0,94	0,82	Muito Bom
Média	4,21	1,36	0,79	0,68	0,56	Sofrível

do o desempenho de dez métodos em função das estações do ano também observaram que o melhor desempenho foi obtido pelos métodos que utilizam radiação solar para a estimativa da evapotranspiração.

Em contrapartida, os métodos de Priestley e Taylor e da Radiação-Líquida exigem como dado de entrada a radiação solar global, que por sua vez acaba limitando o uso dos métodos, pois nem todas as estações meteorológicas e/ou produtores possuem esse tipo de sensor. Situação similar também ocorre no método de Radiação-Temperatura que exige a radiação solar como dado de entrada (Cunha et al., 2013).

Na ausência de dados de radiação solar, o método de Hargreaves-Samani pode ser uma opção, pois este método exige como entrada apenas dados de temperatura do ar. Tal observação está de acordo com Allen et al. (1998), que recomendam o método de Hargreaves-Samani quando não sem tem a disponibilidade de dados de radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa.

Esse método apresentou desempenho muito bom na média anual, como também, se manteve estável conforme as estações do ano, tendo desempenho muito bom na primavera, bom no verão, outono e inverno, sendo que obser-

vações similares já foram reportadas na literatura (Borges Junior et al., 2012; Costa et al., 2017). Ainda, o desempenho do método pode ser melhorado por meio de ajustes dos coeficientes de calibração de acordo com as condições climáticas locais (Lima Junior et al., 2016; Zanetti et al., 2018).

Portanto, os métodos com melhor desempenho na estimativa da ETo exigem, na maioria das vezes a radiação solar como dados de entrada. Dessa maneira, o investimento em estações meteorológicas mais completas, tanto por parte do setor privado, como também do setor público se faz essencial para o uso da água de maneira mais eficiente, racional e sustentável.

Por fim, a avaliação do desempenho em função das estações do ano permite identificar as potencialidades e limitações dos métodos de estimativa, promovendo uma decisão mais assertiva quanto à escolha do método de estimativa da evapotranspiração de referência. Ainda, a eficiência dos métodos pode ser melhorada por meio da elaboração de ajustes para cada estação do ano.

Conclusões

O desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência varia conforme as estações do

Tabela 7. Evapotranspiração média diária (ETo), raiz do erro quadrado médio (REQM), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de confiança (c) e desempenho de Camargo e Sentelhas, obtidos das correlações entre os valores de evapotranspiração de referência (ETo) estimada pelos métodos estudados, com os valores do método padrão de Penman-Monteith-FAO56, na estação do inverno (junho a agosto) em Presidente Prudente, SP.

Métodos	ETo	REQM	r	d	c	Desempenho
	mm	mm				
Inverno (jun-jul-ago)						
Penman-Monteith-FAO56	2,67					
Abtew	2,73	0,59	0,79	0,96	0,75	Bom
Blaney-Morin	2,90	0,54	0,72	0,95	0,69	Bom
Camargo	2,27	0,65	0,72	0,95	0,68	Bom
Garcia-Lopez	4,32	1,91	0,66	0,42	0,28	Péssimo
Hamon	2,15	0,76	0,67	0,94	0,63	Mediano
Hargreaves	2,88	0,58	0,79	0,95	0,75	Bom
Hargreaves-Samani	3,15	0,67	0,78	0,92	0,71	Bom
Ivanov	5,88	3,39	0,72	0,08	0,06	Péssimo
Jensen e Haise	3,32	0,93	0,80	0,86	0,69	Bom
Kharrufa	4,87	2,34	0,55	0,16	0,09	Péssimo
Makkink	2,23	0,66	0,77	0,95	0,73	Bom
McCloud	3,52	1,35	0,58	0,71	0,41	Mau
McGuinness-Bordne	3,94	1,35	0,73	0,49	0,36	Péssimo
Priestley e Taylor	2,31	0,54	0,85	0,97	0,82	Muito Bom
Radiação-Global	2,44	0,57	0,70	0,96	0,67	Bom
Radiação-Líquida	2,23	0,62	0,82	0,956	0,78	Muito Bom
Radiação-Temperatura	2,73	0,59	0,79	0,96	0,75	Bom
Romanenko	7,06	4,60	0,72	0,03	0,02	Péssimo
Turc	2,85	0,54	0,74	0,95	0,70	Bom
Média	3,47	1,31	0,73	0,71	0,53	Sofrível

ano, apresentando melhor desempenho no verão e menor no inverno. O melhor desempenho anual foi obtido pelos métodos de Abtew, Hargreaves, Priestley e Taylor, Radiação-Líquida, Radiação-Temperatura e Turc.

Os métodos de Priestley e Taylor e Radiação-Líquida foram os que tiveram maior estabilidade e melhor desempenho ao longo das estações do ano. Na primavera e no verão o melhor desempenho foi obtido pelos métodos de Abtew, Hargreaves, Priestley e Taylor, Radiação-Líquida, Radiação-Temperatura e Turc. Nas estações do outono e inverno o melhor desempenho foi obtido pelos métodos de Priestley e Taylor e Radiação-Líquida.

Métodos que utilizam radiação solar apresentaram melhor desempenho. Quando se dispõe somente de dados de temperatura do ar, utilizar o método de Hargreaves-Samani.

Contribuições dos autores

A. M. BARBOSA concepção do trabalho, análise dos dados, análise estatística e redação do artigo. A. R. CAVALCANTI realização dos cálculos, análise dos dados e análise estatística.

Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and drainage paper, 56).
- ANDRADE JUNIOR, A.S.; SILVA, C.O.; SOUSA, V.F.; RIBEIRO, V.Q. Avaliação de métodos para estimativa da evapotranspiração de referência no estado do Piauí. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, p. 181-190, 2017.
- BARBOSA, A. M.; TIRITAN, C. S. Caracterização climática da safra agrícola 2020/21 de Presidente Prudente-SP. **Boletim de Pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Unoeste**, v.2, p.9-12, 2021.
- BARBOSA, Alexandrius de Moraes. Agrometeorological water balance in the west of São Paulo State. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, SP. v. 18, 2022, p. 1-11, 2022. DOI:10.5747/ca.2022.v18.n4.a502
- BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J.I. **As plantas e o clima: princípios e aplicações**. Guaíba:Agrolivros, 2017, 352p.
- BLANEY, H.F.; MORIN, K.V. Evaporation and consumptive use of water: empirical formulas. **Transaction American Geophysical Union**, v. 23, p. 76-83, 1942. DOI: 10.1029/TR023i001p00076
- BORGES JÚNIOR, J.C.F.; ANJOS, R.J.; SILVA, T.J.A.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, C.L.T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 380-390, 2012. DOI: 10.1590/S1415-43662012000400008
- BRUIN, H.A.R.; STRICKER, J.N.M. Evaporation of grass under non-restricted soil moisture conditions. **Hydrological Sciences Journal**, v. 45, p. 391-406, 2000. DOI: 10.1080/02626660009492337

- 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, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CAMARGO, A.P. **Balço hídrico no estado de São Paulo**. 3. ed. Campinas: IAC, 1971. 24p. (Boletim, n. 116).
- CARVALHO, L.G.; ALVES RIOS, G.F.; MIRANDA, W.L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011. DOI: 10.5216/pat.v41i3.12760
- COSTA, J.A.; RODRIGUES, G.P.; SILVA, N.D.; LOPES SOBRINHO, O.P.; COSTA, L.D. Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Alagoas. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, p. 173-179, 2017. DOI: 10.31062/agrom.v25i1.26277
- CUNHA, F.F.; MAGALHÃES, F.F.; CASTRO, M.A. Métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul-MS. **Engenharia na agricultura**, v. 21, n. 2, 2013. DOI: 10.13083/reveng.v21i2.346
- CUNHA, F.F.; MAGALHÃES, F.F.; CASTRO, M.A.; SOUZA, E.J. Performance of estimative models for daily reference evapotranspiration in the city of Cassilândia, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 37, p. 173-184, 2017. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n1p173-184/2017
- DORFMAN, R. **Crítérios de avaliação de alguns métodos de cálculo da evapotranspiração potencial**. Porto Alegre. UFRGS. Dissertação de Mestrado, 1977. 210p.
- FERRONATO, A.; CHIG, L.A.; GOULART, D.B.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; PEREIRA, L.C.; BIUDES, M.S. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Santo Antônio do Leverger-MT. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 14, n. 1, p. 110-118, 2016. DOI: 10.5327/rcaa.v14i1.1418
- GARCIA, B.J.; LOPEZ, D. Formula para el calculo de la evapotranspiracion potencial adaptada al tropico (15° N - 15° S). **Agronomia Tropical**, v. 20, p.335-345, 1970.
- HAMON, W.R. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of Hydraulics Division ASCE**, v. 87, p. 107-120, 1961. DOI: 10.1061/JYCEAJ.0000599
- HARGREAVES, G.H. Estimation of potential and crop evapotranspiration. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 17, n. 1, p. 701-704, 1974.
- HARGREAVES, G.L.; SAMANI, Z.A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE**, v. 111, p. 113-124. 1985. DOI: 10.13031/2013.26773
- JACOBS, J.M.; SATTI, S.R. **Evaluation of reference evapotranspiration methodologies and AFSIRS crop water use simulation model** (Final Report). Gainesville: Department of Civil and Coastal Engineering, University of Florida, 2001. 114p.
- JENSEN, M.E.; HAISE, H.R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE**, v. 4, n. 1, p. 15-41, 1963. DOI: 10.1061/JRCEA4.0000287
- KHARRUFA, N.S. Simplified equation for evapotranspiration in arid regions. **Beiträge zur Hydrologie**, Kirzharten, v. 5, n. 1, p. 39-47, 1985.
- KÖPPEN, Wladimir; GEIGER, Rudolf. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.
- LIMA JUNIOR, J.C.; ARRAES, F.D.; OLIVEIRA, J.B. NASCIMENTO, A.L.; MACÊDO, K.G. Parametrização da equação de Hargreaves-Samani para estimativa da evapotranspiração de referência no estado do Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, p. 447-454, 2016. DOI: 10.5935/1806-6690.20160054
- LOUDIN, L.; MICHEL, C.; ANCTIL, F. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model?: Part 1—Can rainfallrunoff models effectively handle detailed potential evapotranspiration inputs? **Journal of Hydrology**, v. 303, p. 290-306, 2005. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2004.08.026
- MCGUINNESS, J. L.; BORDNE, E. F. **A comparison of lysimeter-derived potential evapotranspiration with computed values**. 1972. 76p. Technical Bulletin No. 1452 (Agricultural Research Service) – United States Department of Agriculture, Washington.
- MAKKINK, G.F. Testing the Penman formula by means of lysimeters. **Journal of the Institution of Water Engineers**, v. 11, n. 3, p. 277-288, 1957.
- PRIESTLEY, C.H.B.; TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, v. 100, n. 2, p. 81-92, 1972.
- RIGONI, E.R.; OLIVEIRA, G.Q.; BISCARO, G.A.; QUEIRÓZ, M.V.; LOPES, A.S. Desempenho sazonal da evapotranspiração de referência em Aquidauana, MS. **Engenharia na Agricultura**, v. 21, p. 547-562, 2013. DOI: 10.13083/reveng.v21i6.420
- ROLIM, G.S.; CAMARGO, M.B.; LANIA, D.G.; MORAES, J.F. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, p. 711-720, 2007. DOI: 10.1590/S0006-87052007000400022
- SHI, L.; WANG, B.; LIU, D.L.; FENG, P.; CLEVERLY, J.; LI, L.; ZHANG, G.; YU, Q. Performance of potential evapotranspiration models across different climatic stations in New South Wales, Australia. **Journal of hidrology: regional studies**, v. 50, 101573, 2023. DOI: 10.1016/j.ejrh.2023.101573
- 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, n. 1, p. 95-101, 2011.
- SILVA, J.C.; SILVA, C. B.; SANTOS, D.P.; SANTOS, M.A.L.; OLIVEIRA, W. J.; REIS, L.S. Evapotranspiração e coeficiente de cultura da cenoura irrigada no agreste alagoano. **Revista Ceres**, v. 65, p. 297-305, 2018. DOI: 10.1590/0034-737X201865040001
- SILVA, J.T. **Evolução da área irrigada por pivô central no oeste paulista**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica), Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira. 33p., 2018.
- SOUZA, A.F.; CAMPELO JÚNIOR, J.H. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para região da Baixada Cuiabana, MT. **Agrometeoros**, v. 25, n. 2, p. 395-403, 2017.
- TOMAR, V.S.; O'TOOLE, J.C. Water use in lowland rice cultivation in Asia: a review of evapotranspiration. **Agricultural Water Management**, v. 3, p. 83-106, 1980.
- TURC, L. Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle, formule simplifiée et mise à jour. **Annals of Agronomy**, v. 12, n. 1, p. 13-49, 1961.
- VALLE JÚNIOR, L.C.; VENTURA, T.M.; GOMES, R.S.; NOGUEIRA, J.S.; LOBO, F.A.; VOURLITIS, G.L.; RODRIGUES, T.R. Comparative assessment of modelled and empirical reference evapotranspiration methods for a brazilian savana. **Agricultural Water Management**, v. 232, n. 106040, 2020. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106040
- VESCOVE, H.V.; TURCO, J.E. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara-SP. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 713-721, 2005. DOI: 10.1590/S0100-69162005000300017
- ZANETTI, S.S.; DOHLER, R.E.; CARMO, E.B.; CECÍLIO, R.A. Calibração da equação de Hargreaves-Samani para estimar a evapotranspiração de referência no estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, p. 2692-2701, 2018. DOI: 10.7127/rbai.v12n300869
- WILLMOTT, C.J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 63, p. 1309-1313, 1982. DOI: 10.1175/1520-0477(1982)063<1309:SCOTEO>2.0.CO;2

REFERENCIAÇÃO

BARBOSA, A. M.; CAVALCANTI, A. R. Estimativa da evapotranspiração de referência para Presidente Prudente, SP. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.32, e027620, 2024.



Estimation of reference evapotranspiration for Presidente Prudente, SP, Brazil

Alexandrius de Moraes Barbosa^{1(*)} and Almir Rogerio Cavalcanti¹

Unoeste – Universidade do Oeste Paulista, Unoeste Clima - Centro de Monitoramento e Estudos Climáticos e de Previsão do Tempo.

Rodovia Raposo Tavares, km 572, CEP 19067-175 Presidente Prudente, SP, Brazil. E-mails: alexandrius@unoeste.br and ar_cavalcanti@hotmail.com

(*)corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 19 March 2024

Accepted 25 July 2024

Index terms:

west of São Paulo

seasons

irrigation

estimation equations

ABSTRACT

Evaluating of the performance of estimation methods of the reference evapotranspiration (ET_o) is essential for efficient and sustainable water management. The objective of this study was to assess the performance of ET_o estimation methods according to the seasons of the year in Presidente Prudente, SP, Brazil. The ET_o for the period from 2019 to 2023 was evaluated, studying the average annual performance and the performance in each season (spring, summer, autumn and winter). Nineteen estimation methods were assessed using the Penman-Monteith-FAO method as a comparison reference. The performance of the reference evapotranspiration estimation methods varies according to the seasons, with better performance in summer and lower performance in winter. The best annual performance was obtained by the Abtew, Hargreaves, Priestley and Taylor, Net Radiation, Radiation-Temperature, and Turc methods. The Priestley and Taylor and Net Radiation methods demonstrated the highest stability and best performance throughout the seasons. Methods that use solar radiation showed better performance. When only air temperature data is available, the Hargreaves-Samani method should be used.

© 2024 SBAgro. All rights reserved.

CITATION

BARBOSA, A. M.; CAVALCANTI, A. R. Estimativa da evapotranspiração de referência para Presidente Prudente, SP. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.32, e027620, 2024.