

**DESEMPENHO COMPARATIVO DO MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH COM
MÉTODOS ALTERNATIVOS NA REGIÃO NORTE DO ESPÍRITO SANTO SOB
PERÍODO SECO E CHUVOSO.**

Matheus Gaspar Schwan¹, Gabriel Brioschi Andreão², Maria Eduarda Carolo Freitas³, Pedro Henrique Steill de Oliveira⁴, Joab Luhan Ferreira Pedrosa⁵, Edvaldo Fialho dos Reis⁶

RESUMO: O presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) em municípios da região Norte do Espírito Santo, sob o período seco e chuvoso. Foram obtidos dados meteorológicos, e calculada a ET_o pelo método padrão de Penman-Monteith (FAO-56), Penman-Original, Hargreaves & Samani, Makkink, Priestley-Taylor e Turc. A avaliação do desempenho se deu com base no coeficiente de determinação, estimativa do erro padrão e índice c. Com base nos resultados obtidos é observado que o método de Penman-Original e Turc apresentaram desempenho satisfatório para a região em estudo, podendo ser utilizado tanto no período seco e chuvoso. Os métodos de Hargreaves & Samani, Priestley Taylor e Makkink embora tenham apresentado melhor desempenho no período chuvoso, se faz necessário uma calibração e ajuste para o seu uso no período seco.

PALAVRAS-CHAVE: Equação, Precisão, Evapotranspiração

**COMPARATIVE PERFORMANCE OF THE PENMAN-MONTEITH METHOD
WITH ALTERNATIVE METHODS IN THE NORTHERN REGION OF ESPÍRITO
SANTO DURING DRY AND RAINY PERIODS.**

¹ Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Departamento de Engenharia Rural, Alto Universitário, s/n, caixa postal 16, Guararema, 29500-000, Alegre - ES, schwan.matheus@gmail.com

² Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Departamento de Engenharia Rural, Alto Universitário, s/n, caixa postal 16, Guararema, 29500-000, Alegre - ES, gbandreao@gmail.com

³ Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Departamento de Engenharia Rural, Alto Universitário, s/n, caixa postal 16, Guararema, 29500-000, Alegre - ES, meduardacarolo@hotmail.com

⁴ Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Departamento de Engenharia Rural, Alto Universitário, s/n, caixa postal 16, Guararema, 29500-000, Alegre - ES, pedrosteill@gmail.com

⁵ Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Departamento de Engenharia Rural, Alto Universitário, s/n, caixa postal 16, Guararema, 29500-000, Alegre - ES, joabhuhun@yahoo.com.br

⁶ Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Departamento de Engenharia Rural, Alto Universitário, s/n, caixa postal 16, Guararema, 29500-000, Alegre - ES, efialhodosreis@gmail.com

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the performance of different methods for estimating reference evapotranspiration (ET_o) in municipalities in the North of Espírito Santo, during the dry and rainy season. Meteorological data were obtained and ET_o was calculated by the standard method, Penman-Original, Hargreaves & Samani, Makkink, Priestley-Taylor and Turc. The performance evaluation was based on the coefficient of determination, estimation of the standard error and index c. Based on the results obtained, it is observed that the Penman-Original and Turc method presented satisfactory performance for the region under study, and can be used both in the dry and rainy period. Although the methods by Hargreaves & Samani, Priestley Taylor and Makkink have shown better performance in the rainy season, a calibration and adjustment is necessary for their use in the dry season.

KEYWORDS: Equation, Precision, Evapotranspiration

INTRODUÇÃO

A prática da irrigação é uma das atividades que mais demanda uso de água, com isso, vem se aumentando as preocupações acerca do uso racional da água nessa prática. Entretanto na maioria das áreas irrigadas, não é realizado um manejo racional da água, fazendo que ocorra uma aplicação excessiva ou faltosa de água, acarretando em baixas produtividades e prejuízos econômicos ao produtor (REIS et al., 2015; SILVA et al., 2015).

Uma das formas de se realizar um manejo eficiente e racional da água na irrigação é pela determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) (SILVA et al., 2011).

A evapotranspiração de referência (ET_o) é definida como a taxa de evapotranspiração que ocorre de uma superfície de referência (padrão), cujas características se assemelham a uma superfície de grama verde, sendo determinação da mesma, de suma importância para o manejo da irrigação (ANA, 2017).

A escolha de um método para se estimar a evapotranspiração de referência depende de uma série de fatores, em que um deles é a disponibilidade de dados meteorológicos, visto que os métodos mais complexos que exigem grande número de variáveis somente têm aplicabilidade quando há disponibilidade de todos os dados necessários (PEREIRA et al., 2002).

Em locais na qual se têm disponibilidade suficiente de dados meteorológicos, pode-se fazer a estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (FAO-56), sendo recomendada pela FAO como método padrão (ALLEN et al., 1998).

Entretanto, caso não se disponha de dados suficientes, existem métodos alternativos, que são menos exigentes, porém, é recomendado que antes de se aplicar um método para determinado local, é necessário verificar o seu desempenho e, quando necessário, realizar calibrações a fim de minimizar erros de estimativa, pois alguns métodos podem superestimar ou subestimar a evapotranspiração de referência em determinados locais (PEREIRA et al., 2009).

Diversos estudos vêm comparando o desempenho de diferentes métodos na estimativa da evapotranspiração de referência, visto que esses métodos são elaborados em condições climáticas diferentes daquelas na qual foram desenvolvidos (CUNHA et al., 2013).

Para o estado do Espírito Santo, o conhecimento da evapotranspiração de referência é fundamental, pois o estado sofre com déficits hídricos ao longo do ano (SCÁRDUA et al., 1986), e também, por possuir uma extensa área irrigada, principalmente na região Norte do estado (GARDIMAN et al., 2012)

Diante disso, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de 6 diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração de referência em comparação com o método padrão em municípios localizados na região Norte do estado do Espírito Santo durante o período seco e chuvoso.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido utilizando dados meteorológicos obtidos de estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada nos municípios de Linhares, São Mateus e Marilândia. Os dados utilizados neste estudo foram: temperatura máxima, mínima e média do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade máxima, mínima e média relativa do ar (%), pressão de saturação de vapor máxima, mínima e média (hPa), velocidade do vento (m s^{-1}), temperatura do ponto de orvalho, máxima, mínima e média ($^{\circ}\text{C}$), radiação global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e precipitação pluvial (mm).

Os dados de cada estação foram coletados no formato horário, para cada dia dos meses compreendidos entre o período seco (junho, julho e agosto) e chuvoso (outubro, novembro e dezembro) no ano de 2020. Em seguida os dados foram trabalhados para se obter os valores médios diários de todos os elementos meteorológicos.

Após isso, foi obtido o cálculo da ETo diária, utilizados seis diferentes métodos. Sendo os métodos utilizados: Penman-Monteith (FAO-56), Penman-Original, Hargreaves & Samani

(HS), Makkink, Priestley-Taylor (PT) e Turc. As equações empíricas de cada método se encontram na tabela abaixo (Tabela 1)

Tabela 1. Metodologias e suas respectivas equações para estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) utilizada na pesquisa.

Método	Equação
Penman-Monteith (FAO-56) (ALLEN et al., 1998)	$ET_o = \frac{0,4808 (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900 U_2}{t + 273} \right) (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$
Penman-Original (PENMAN, 1948)	$ET_o = \frac{s}{s + \gamma} 0,408 (R_N - G) + \frac{\gamma}{s + \gamma} 0,25 \left(1 + \frac{U_2}{160} \right) (e_s - e_a)$
Hargreaves-Samani (HARGREAVES & SAMANI, 1985)	$ET_o = 0,408 \times 0,0023 \times R_a (T_{max} - T_{min})^{0,5} (t + 17,8)$
Makkink (MAKKINK, 1957)	$ET_o = R_G \left(\frac{s}{s + \gamma} \right) + 0,12$
Priestley-Taylor (PRIESTLEY & TAYLOR, 1972)	$ET_o = 0,5143 \frac{s}{s + \gamma} (R_N - G)$
Turc (TURC, 1961)	$ET_o = \frac{0,013t}{t + 15} (23,9 R_G + 50)$

Em que: ETo = evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); s = declividade da curva de pressão (kPa °C⁻¹); RN = saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹); G = fluxo de calor (MJ m⁻² dia⁻¹); γ = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); t = temperatura média (°C); U2 = velocidade do vento (m s⁻¹); eS = pressão de saturação de vapor (hPa); e = pressão de vapor (hPa); RG mm/dia = radiação global (mm dia⁻¹); tmax = temperatura máxima (°C); tmin = temperatura mínima (°C); λ = calor latente de vaporização (MJ kg⁻¹); RG = radiação global (MJ m⁻² dia⁻¹).

Após procedido os cálculos de ETo diária, foi procedida a análise de desempenho dos métodos comparando os valores de ETo obtidos pelos métodos empíricos com o método de Penman-Monteith (FAO-56). A metodologia utilizada para comparação dos resultados foi proposta por Allen et al. (1989), e se baseia no Erro-Padrão da Estimativa (EPE), calculada pela Equação 1.

$$EPE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{n} \right]^{1/2} \tag{1}$$

Em que: EPE = erro-padrão da estimativa (mm d⁻¹); Yi = evapotranspiração de referência estimada pelo método-padrão (mm d⁻¹); Xi = evapotranspiração de referência obtida pelo método testado (mm d⁻¹); n = número de observações.

O método para apresentar um bom desempenho, deve apresentar o menor valor de EPE. Após isso, foi procedido o cálculo do índice de concordância “d” (WILLMOTT et al., 1985) e correlação de Pearson (r). O índice “d” e a correlação de Pearson, foram utilizados para o cálculo do coeficiente de desempenho “c”. O índice de concordância (d) foi calculado aplicando-se a Equação 2. Para validação do modelo, obteve-se também o coeficiente de correlação de Pearson (r) pela Equação 3 e o coeficiente de confiança ou desempenho (c) pela Equação 4.

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

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (|X_i - \bar{X}|)(|Y_i - \bar{Y}|)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \tag{3}$$

$$c = r d \tag{4}$$

Em que: d = índice de concordância ou ajuste de Willmott; Y_i = evapotranspiração de referência estimada pelo método-padrão (mm d^{-1}); X_i = evapotranspiração de referência obtida pelo método testado (mm d^{-1}); \bar{X} = média dos valores de evapotranspiração de referência obtidos pelo método testado (mm d^{-1}); n = número de observações; r = coeficiente de correlação de Pearson; \bar{Y} = média dos valores de evapotranspiração de referência obtidos pelo método-padrão (mm d^{-1}) e c = coeficiente de confiança ou desempenho.

O coeficiente c , proposto por Camargo & Sentelhas (1997), pode ser interpretado de acordo com os referidos autores como: “ótimo” ($c > 0,85$); “muito bom” ($0,76 < c < 0,85$); “bom” ($0,66 < c < 0,75$); “mediano” ($0,61 < c < 0,65$), “sofrível” ($0,51 < c < 0,60$), “mau” ($0,41 < c < 0,50$) e “péssimo” ($c < 0,40$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 2, 3 e 4 se encontram os valores do Coeficiente de Determinação (R^2), Estimativa do Erro Padrão e o Desempenho interpretado pela obtenção do coeficiente de desempenho (c).

Tabela 2. Coeficiente de Determinação (R^2), Estimativa do Erro Padrão (EEP) e Desempenho Obtido pelo Índice “ c ” obtido pelos diferentes métodos de estimativa de ETo em comparação com o método PM-FAO, no período seco e chuvoso, em Linhares, ES.

Método de Estimativa	Período Seco			Período Chuvoso		
	R^2	EEP	Desempenho	R^2	EEP	Desempenho
Penman-Original	43,74	0,70	Bom	76,06	0,68	Ótimo
Hargreaves & Samani	7,92	1,01	Sufrível	58,08	1,13	Bom
Makkinik	52,53	2,13	Péssimo	83,57	3,13	Mau
Priestley-Taylor	37,18	0,57	Muito bom	76,03	1,07	Muito bom
Turc	54,28	0,65	Bom	83,07	1,45	Bom

Tabela 3. Coeficiente de Determinação (R^2), Estimativa do Erro Padrão (EEP) e Desempenho Obtido pelo Índice “ c ” obtido pelos diferentes métodos de estimativa de ETo em comparação com o método PM-FAO, no período seco e chuvoso, em São Mateus, ES.

Método de Estimativa	Período Seco			Período Chuvoso		
	R^2	EEP	Desempenho	R^2	EEP	Desempenho
Penman-Original	81,90	0,65	Muito bom	95,43	1,00	Ótimo
Hargreaves & Samani	3,63	0,91	Péssimo	39,48	0,88	Muito bom
Makkinik	80,47	1,49	Mau	98,23	1,94	Bom
Priestley-Taylor	80,35	1,42	Sufrível	95,36	2,12	Bom
Turc	82,30	0,37	Ótimo	94,73	0,25	Ótimo

Tabela 4. Coeficiente de Determinação (R^2), Estimativa do Erro Padrão (EEP) e Desempenho Obtido pelo Índice “ c ” obtido pelos diferentes métodos de estimativa de ETo em comparação com o método PM-FAO, no período seco e chuvoso, em Marilândia, ES.

Método de Estimativa	Período Seco			Período Chuvoso		
	R^2	EEP	Desempenho	R^2	EEP	Desempenho
Penman-Original	84,37	0,63	Muito bom	87,65	0,84	Ótimo
Hargreaves & Samani	5,11	1,34	Péssimo	70,52	1,06	Muito bom
Makkinik	85,79	1,17	Sufrível	92,10	1,86	Mediano
Priestley-Taylor	90,70	1,24	Sufrível	87,07	1,88	Bom

Turc	87,25	0,33	Ótimo	92,12	0,30	Ótimo
------	-------	------	-------	-------	------	-------

Pela análise das tabelas, pode-se observar que período o seco e chuvoso, influenciou no desempenho dos mesmos.

O método de Penman-Original, em todos os municípios e períodos apresentou desempenho aceitável, sendo classificado como “Bom” em Linhares e “Muito bom” no período seco e desempenho classificado como “Ótimo” no período chuvoso. O mesmo também apresentou os menores valores de EEP, mostrando-se como uma alternativa ao PM-FAO, quando não se dispõe de dados meteorológicos suficientes. Resultados semelhantes foram obtidos por Cunha et al. (2013) avaliando o desempenho de diferentes métodos para estimativa da ETo em Chapadão do Sul, pode observar que o método de Penman-Original, apresentou valores satisfatórios de desempenho.

O Método de HS, no período seco, apresentou desempenho classificado como “Sofrível”, “Péssimo” e “Péssimo, nos referidos municípios, sendo no período chuvoso, obtidos desempenho classificado como “Bom”, “Muito bom” e “Muito bom”, nos respectivos municípios. Essa variação tanto no desempenho quanto no R^2 se justifica pelo fato do método de HS, ser desenvolvido para condições semiárida, resultando assim, em superestimavas valores de ETo em climas úmidos (SENTELHAS et al., 2010). Outro fator que contribuiu para o desempenho melhor no período chuvoso, seria pelo fato de os maiores valores de temperatura e menor valores de umidade relativa do ar, serem observados no período chuvoso, enquanto no período seco, foram observados os menores valores de temperatura média e maiores valores de umidade relativa do ar. Esses resultados são semelhantes ao obtido por Venancio et al. (2019), comparando o método de HS com o PM-FAO nas estações de outono, inverno, primavera e verão nos municípios de Linhares e São Mateus, observou que o método foi mais eficiente no período do verão, pois nesse período, as condições climáticas eram semelhantes as condições na qual o método foi desenvolvido.

Embora tenha apresentado os menores valores de R^2 tanto no período seco, quanto no período chuvoso, o método apresentou valores relativamente baixos de EEP, indicando assim, que o método apresenta um potencial para uso na região se calibrado para o local. Em estudo realizado por Zanetti et al. (2018) foi observado que o método de HS por mais que tenha apresentado um R^2 de 80%, o método tendeu a superestimar a ETo, porém, ao ser realizada a calibração do método, proporcionou melhorias nos resultados da estimativa da ETo para municípios no estado do Espírito Santo.

O método de Makkink, apresentou desempenho “Péssimo”, “Sofrível” e “Sofrível” no período seco e “Mal”, “Bom” e “Mediano” no período chuvoso. O baixo desempenho desse

método na região em estudo se deve pelo fato dos coeficientes utilizados da equação original serem desenvolvidos para as condições climáticas de Wageningen, na Holanda e de acordo com os autores Pereira et al. (1997), esses coeficientes podem variar em função das condições climáticas de cada local e da escala de tempo.

O método de PT, apresentou desempenho “Muito bom”, “Sofrível” e “Sofrível”, nos municípios em estudo, sendo no período chuvoso classificado como “Muito bom”, “Bom” e “Muito bom”. Uma justificativa para o bom desempenho do mesmo, seria pelo fato dele ser resultante de uma aproximação do método padrão, simplificando a equação e mantendo apenas o saldo de radiação. O bom desempenho do mesmo, pode ser observado por Passos et al. (2017) comparado o método de PT com outros métodos empíricos, observou que o mesmo apresenta melhor resultado, sendo indicado como alternativa a metodologia de PM. Em estudo realizado por Salles et al. (2018) o método de PT apresentou desempenho satisfatório para o município de São Mateus, ES.

A utilização do método de Turc se destacou, obtendo desempenho “Bom”, “Ótimo” e “Ótimo” tanto no período seco quanto no chuvoso na região em estudo. Embora seja um método desenvolvido no Oeste Europeu, tendo seu uso indicado para regiões costeiras e úmidas (FERNANDES et al., 2010), pode ser observado em estudos como de Armani et al. (2018) que o método apresentou boa precisão na estimativa da evapotranspiração do ambiente litorâneo. Esses resultados também, vão de acordo com o Salles et al. (2018) que observou um desempenho satisfatório do método de Turc no município de São Mateus.

Os resultados obtidos nesse estudo corroboram com o de Conceição & Mandelli (2005), onde foi observado que métodos que se baseiam na radiação solar apresentam desempenho melhor que métodos baseados apenas na temperatura do ar. Em estudo realizado Rigoni et al. (2013) foi observado que métodos baseados na radiação solar, tendem a apresentar maior precisão, pois a radiação solar, apresenta maior efeito sobre a evaporação de água, e ainda de acordo com Pandey et al. (2016) o desempenho satisfatório de modelos de radiação está baseado no fato de que temperaturas extremas e radiação são os fatores dominantes para conduzir ETo.

É possível observar que os métodos de maneira geral, apresentaram melhor resultado no período chuvoso que no período seco. Uma justificativa para isso, seria que de acordo com a classificação de Köppen para a região em estudo apresenta em sua maioria, clima do tipo “Aw” (IJSN, 1979). Locais que recebem essa classificação climática, apresentam inverno seco e chuvas máximas no verão.

CONCLUSÕES

O método de Penman-Original e Turc apresentaram desempenho satisfatório para a região em estudo, podendo ser utilizado tanto no período seco e chuvoso.

Os métodos de Hargreaves & Samani, Priestley Taylor e Makkink embora tenham apresentado melhor desempenho no período chuvoso, se faz necessário uma calibração e ajuste para o seu uso no período seco.

AGRADECIMENTOS

A FAPES – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Espírito Santo, pela bolsa de iniciação científica concedida ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; JENSEN, M. E.; WRIGHT, J. L.; BURMAN, R. D. “Operational estimates of reference evapotranspiration.” **Agron. J.**, v. 81, p. 650–662, 1989.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. FAO, Rome, 1998. 297p
- SALES, R. A. de; OLIVEIRA, E. C. de; LIMA, M. J. A.; GELCER, E. M.; SANTOS, R. A. dos; LIMA, C. F. Ajuste dos coeficientes das equações de estimativa da evapotranspiração de referência para São Mateus, ES. **Irriga**, v. 23, n. 1, p. 154–167, 2018.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF, Brasil, 2017.
- ARMANI, S. F. A.; FREITAS A. L.; MOREIRA, S. V. Avaliação do método de Turc para a estimativa da evapotranspiração de um ambiente litorâneo. **Revista Técnico-Científica CREA-PR**, 2018.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, p. 89-97, 1997.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; MANDELLI, F. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Bento Gonçalves, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 303-307, 2005.

CUNHA, F. F.; MAGALHÃES, F. F.; CASTRO, M. A.; Métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul - MS. **Revista Engenharia Na Agricultura - Reveng**, v. 21, n. 2, p. 159-172. 2013.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L. da. et al. **Evapotranspiração – Uma Revisão sobre os Métodos Empíricos**. Embrapa Arroz e Feijão, 2010.

FUNDAÇÃO JONES DOS SANTOS NEVES – IJSN. **Mapa climático do Espírito Santo: Classificação de Köppen**. 1979.

GARDIMAN JUNIOR, B. S.; MAGALHÃES, I. A. L.; CECÍLIO, R. A. Comparação entre diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração de referência (ET_o) para Linhares, ES. **Nucleus**, v. 9, n. 2, 2012.

HARGREAVES, G. L.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. Basin. **Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE**, v. 111, n. 1, p. 113-124. 1985.

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.

PANDEY, P. K.; DABRAL, P. P.; PANDEY, V. Evaluation of reference evapotranspiration methods for the northeastern region of India. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 4, n. 1, p. 56-67, 2016.

PASSOS, V. et al. Evapotranspiração de referência por diferentes métodos para o município de Chapadinha-MA. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 10, n. 1, 2017.

PASSOS, V. et al. Evapotranspiração de referência por diferentes métodos para o município de Chapadinha-MA. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v. 10, n. 1, 2017.

PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings of Royal Society-Series A**, v. 193, n. 1, p. 120-145, 1948.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

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

PEREIRA, D. dos R. et al. Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, 2009.

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

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.

REIS, E. F.; SOUZA, J. B.; PEREIRA, L. R. **Manejo da Irrigação**. In: Café Conilon do plantio à colheita. Viçosa: Editora UFV, 162-183. 2015p.

RIGONI, E. R.; OLIVEIRA, G.; BISCARO, G. A.; QUEIRÓZ, M.; LOPES, A. Desempenho sazonal da evapotranspiração de referência em Aquidauana, MS. **Engenharia na Agricultura**, v. 21, n. 6, p. 547-572, 2013.

SALES, R. A.; OLIVEIRA, E. C.; LIMA, M. J. A.; GELCER, E. M.; SANTOS, R. A.; LIMA, C. F. Ajuste dos coeficientes das equações de estimativa da evapotranspiração de referência na região norte do Espírito Santo. **Irriga (UNESP. CD-ROM)**, v. 23, p. 154-167, 2018.

SCÁRDUA, J. A.; FEITOZA, L. R.; CASTRO, L. L. F. **Estimativas da evapotranspiração potencial para o Estado do Espírito Santo**. 2ed. Vitória: Emcapa, 1986. 44p.

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**, v. 97, n. 5, p. 635-644, 2010.

SILVA, A. C. da; LIMA, L. A.; EVANGELISTA, A. W. P.; MARTINS, C. P. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do cafeeiro irrigado por pivô central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 1215-1221, 2011.

SILVA, M. G.; OLIVEIRA, I. S.; CARMO, F. F.; LÊDO, E. R. F.; SILVA FILHO, J. A. Estimativa da evapotranspiração de referência pela equação de Hargreaves-Samani no Estado do Ceará, Brasil. **Jornal Brasileiro de Engenharia e Biosistemas**, v. 9, n. 2, p. 132-141, 2015.

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.

VENANCIO, L. P.; CUNHA, F. F.; 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. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 153-159, 2019.

WILLMOTT, C. J. et al. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.

ZANETTI, S. S.; DOHLER, R. E.; CARMO, E. B.; CECILIO, 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.