

AVALIAÇÃO E AJUSTE DE MÉTODOS ALTERNATIVOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA A PARTIR DA EQUAÇÃO DE PENMAN-MONTEITH-FAO56, EM FEIRA DE SANTANA-BA

Robson Argolo dos Santos¹; Lourival Palmeira Gonçalves Neto²; Rosângela Leal Santos³.

¹ Bolsista CAPES, Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, e-mail: argolo.agro@gmail.com.

² Bolsista PROBIC /UEFS, Graduando em Engenharia Agrônômica, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: lourivalpgneto@gmail.com

³ Orientadora, Departamento de Tecnologia, Área de Geociências, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: rosangela.leal.uefs@gmail.com

PALAVRAS- CHAVE: Semiárido, Irrigação, FAO.

INTRODUÇÃO

Evapotranspiração foi um termo criado por Thornthwaite na década de 1940 para expressar a ocorrência simultânea da evaporação e transpiração (PEREIRA et al., 1997; BOREGES E MEDIONDO, 2007) e pode ser entendida como a quantidade equivalente de água evaporada e transpirada, geralmente expressa em mm de água evapotranspirada por unidade de tempo. É controlada pela disponibilidade de energia, pela demanda atmosférica e pelo suprimento de água do solo às plantas. A disponibilidade de energia disponível para evapotranspiração é dependente das coordenadas geográficas locais (latitudes, longitude, altitude) e da época do ano. As variáveis climáticas que mais interferem na evapotranspiração são a radiação solar, temperatura do ar e do solo, umidade relativa do ar, velocidade do vento e a pressão atmosférica.

A Evapotranspiração de referência (ET_o) foi um termo utilizado por Jensen et al. (1971) definindo como limite superior que ocorre numa cultura de alfafa (*Medicago sativa* L.) com altura de 0,3 a 0,5 m. Já Righetto (1998), menciona que a ET_o corresponde à perda de água de uma superfície coberta por grama batatais (*Paspalum notatum* Flügge), mais apropriadas às condições do Brasil, em fase de crescimento ativo, bem suprida de umidade. Smith (1991) traz uma conformação diferente, afirmando que a ET_o é aquela de uma cultura hipotética, com altura fixa de 0,12 m, albedo igual a 0,23 e resistência da cobertura ao transporte de vapor d'água igual a 69 s m⁻¹. Essa parametrização foi inserida na equação de Penman-Monteith e apontada como padrão (ALLEN et al., 1998).

MATERIAS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Feira de Santana, localizada no estado da Bahia que, apesar de estar a apenas 90 km do litoral, situa-se numa zona intermediária entre o clima úmido do litoral e o semiárido do interior.

Os dados climáticos foram disponibilizados pela Estação Climatológica pertencente ao IV Distrito do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada no Campus da Universidade Estadual de Feira de Santana, no município em estudo. Foram utilizados dados diários da temperatura máxima, mínima e média do ar, umidade relativa média do ar e velocidade do vento. Os períodos de coleta de dados compreenderam o intervalo de 2006 a 2013 (8 anos de dados diários). Sendo esse período o único com dados consistente e interruptos.

Após a aquisição de dados estimou-se a ET_o por seis métodos alternativos (Camargo, Turc, Linacre, Priestley e Taylor, Hamon e Hargreaves e Samani) e comparando-se com ET_o pelo método padrão, Penman-Monteith-FAO56.

A análise de desempenho dos métodos foi feita pela comparação dos valores de ET obtidos pelo método padrão de Penman-Monteith-FAO56 (observado) com aqueles obtidos pelos outros métodos (estimado).

O desempenho estatístico foi realizado através do Microsoft Excel 2016, analisado os métodos através do índice de concordância “d” desenvolvido por Willmott et al. (1985), pelo coeficiente de precisão (r) de Pearson, índice “c” de Camargo e Sentelhas (1997) e raiz do erro quadrático médio (RMSE).

Resultados e discussão

A tabela 01 apresenta a avaliação estatística dos métodos alternativos para estimar ETo obtidos a partir de uma série diária entre os anos de 2006 a 2013 no município de Feira de Santana. Souza et al. (2011), enfatizam que a conjunta utilização dos indicativos estatísticos RMSE e o índice de ajustamento “d” de Willmott representam uma avaliação apropriada do desempenho dos modelos de ETo.

Tabela 01: Avaliação das estimativas de ETo (mm dia⁻¹) obtidas com diferentes métodos em relação ao método padrão, antes (original) e após o ajuste (ajustado) dos parâmetros.

Métodos	Original				Ajustado				Dif _{RMSE}	Dif _d
	R ²	d	C	RMSE	R ²	d	c	RMSE	%	%
Tc	0.993	0.891	0.888	15.6	0.993	0.998	0.995	2.0	86.8	10.8
PT	0.992	0.788	0.785	29.5	0.992	0.998	0.994	2.3	92.1	21.2
HS	0.991	0.997	0.992	2.9	0.993	0.998	0.995	2.1	28.0	0.1
Cm	0.819	0.834	0.755	17.9	0.819	0.937	0.848	11.0	38.5	12.6
Ho	0.74	0.659	0.567	31.5	0.751	0.914	0.792	12.7	59.5	34.0
Li	0.518	0.448	0.322	71.4	0.518	0.448	0.322	71.4	0.0	0.0

Tc: Turc; PT: Priestley e Taylor; HS: Hargreaves e Samani; Cm: Camargo; Ho: Hamon; Li: Linacre; R²: coeficiente de determinação; d: índice de concordância; c: índice de confiança; RMES: raiz do erro quadrático médio.

FONTE: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa, 2017.

Nota-se na tabela 05 que os métodos de Turc (Tc), Priestley e Taylor (PT), Hargreaves e Samani (HS) após o ajuste apresentaram forte correlação com o método de Penman–Monteith-FAO56 (PM-FAO56) em que todos foram superiores a R² igual a 0.980 e valores de RMSE inferior a 3.5.

Os métodos, com exceção de HS, tem como fonte de variável climática a radiação solar incidente e temperatura do ar como fonte de entrada de dados. HS requer como entrada de dados a radiação solar extraterrestre (valores tabelados) e temperatura, contudo de acordo com Pereira et al. (2013) este método apresenta uma variação na qual utiliza radiação solar incidente, porém desprezível em locais onde não se tem esses dados. Portanto, fica evidente a potencialidade do método quando se utiliza radiação global incidente. Sendo este o componente que mais se associa ao fenômeno de evaporação da água em relação a temperatura (RIGONI et al., 2013).

Os métodos ajustados de Camargo (Cm) e Hamon (Ho) apresentaram R² igual a 0.819 e 0.751, respectivamente, e um elevado RMSE. Esses dois métodos utilizam como entrada de dado climático apenas a temperatura média. Já o método ajustado de Linacre (Li) utilizam como entrada dados climático, além da temperatura máxima e mínima do ar, a umidade relativa do ar, e obtiveram R² igual a 0.578 e 0.518, nessa ordem. O que chama atenção é o método de Linacre não aceitar o ajuste e mantendo o seu RMSE igual a 71.4.

Rigoni et al. (2013) em seus resultados mostraram que os métodos de estimativa de ETo que não utilizam dados da radiação solar apresentaram baixo coeficiente de determinação, R², corroborando com os resultados aqui apresentados. Entretanto, segundo Barros et al. (2009), a utilização do R² para qualificar o método de estimativa de ETo não é adequado, pois não leva em consideração a magnitude das diferenças entre um valor observado e um valor estimado.

Os métodos de Tc, PT e HS após o ajuste obtiveram a diferença do percentual do erro (Dif_{RMSE}) de 86.8, 92.1 e 28, nessa ordem, e diferença percentual do desenvolvimento (Dif_d) de 10.8, 21.2, e 0.1, respectivamente. É notório que o método de PT foi o mais beneficiado pelo ajuste, pois apresentou maior porcentagem de redução do erro (92.1) e ampliou o índice d em 21,2%. É importante enfatizar que o método de PT é uma versão simplificada do método de PM-FAO56.

De modo geral, o método que melhor se adequa a região é o de HS, pois apresentou o menor valor de RMSE (2.1) e o ajuste do parâmetro apresentou leve redução do erro (28%) e aumentou os valores de d em menos de 0.1 %. Isso mostra que o método original apresentou boa relação com o método de PM-FAO56, porém se faz necessário a aplicação do método ajustado para a região de estudo.

Os métodos de Cm e Ho que utilizam apenas dados da temperatura média apresentaram significativa redução do erro (38.5% e 59.5%, respectivamente) e ampliação do índice d na razão d 12.6% e 34%, respectivamente, apresentando bom ajuste, mas, ainda assim, foi inferior aos métodos que utilizam radiação solar incidente, comprovado pelo índice c de Camargo e Sentelhas (1997), que para ambos métodos foi classificado como muito bom.

Por fim, os métodos Li, o qual utiliza temperatura máxima e mínima do ar e umidade relativa do ar como variável climática se mostra menos eficientes. Assim, não se julga satisfatório a estimativa da ETo na região de Feira de Santana pela metodologia de Li. Estes resultados são observados por Brixner et al. (2014) ao determinarem a evapotranspiração por diferentes métodos na Campanha Gaúcha, obtendo mau desempenho pelo método Li na escala diária. Carvalho et al. (2011) menciona que o baixo desempenho do modelo Li pode ser explicado por ser desenvolvido para estimar a ETo mensal e não na escala diária, conforme calculado.

A tabela 02 apresenta os resultados da classificação de Camargo e Sentelhas (1997) após as equações sofrerem os ajustes de seus coeficientes originais, evidenciando a potencialidade dos métodos que utilizam ou derivam dados da radiação solar incidente. Enquanto que os métodos que utilizam Temperaturas do ar e umidade apresentaram as piores classificações.

Tabela 02: Classificação do índice de confiança “c” de Camargo e Sentelhas (1997) que os métodos apresentaram após o ajuste dos coeficientes.

Método	c	Classificação ¹
Tc	0.995	Ótimo
PT	0.994	Ótimo
HS	0.995	Ótimo
Ho	0.848	Muito bom
Cm	0.792	Muito bom
Li	0.322	Péssimo

Tc: Turc; PT: Priestley e Taylor; HS: Hargreaves e Samani; JH: Jensen-Haise; Cm: Camargo; Ho: Hamon; BL: Benevides-Lopes; Li:

FONTE: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa, 2017

CONCLUSÃO

Os modelos que utilizam ou derivam da radiação solar incidente (Tc, PT e HS), nas condições climáticas de Feira de Santana, foram os mais beneficiados pelo ajuste, sendo recomendados para estimar a ETo no município.

¹ Classificação de Camargo e Sentelhas (1997).

Os modelos que necessita apenas de temperatura e umidade relativa do ar são considerados inadequados para estimar a ETo no município, mesmo com os coeficientes ajustados.

Na ausência de dados, indica-se a utilização do modelo de Hargreaves e Samani, pois os dados de entradas do modelo são apenas temperaturas e radiação extraterrestre, ambos tabelados.

REFÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Cropevapotranspiration: guidelines of computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300p (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

BARROS, V. R.; SOUZA, A. P.; FONSECA, D. C.; SILVA, L. B. D. Avaliação da evapotranspiração de referência na Região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.4, n.2, p.198-203, 2009.

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

BRIXNER, G. F., SCHÖFFEL, E. R., TONIETTO, J. Determination of the evapotranspiration by different methods and its application in the dryness index in the Campanha Gaucha Region, Brazil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36 n. 4, 780-793, 2014.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CARVALHO, J.F.; MONTENEGRO, A.A.A.; SOARES, T.M.; SILVA, E.F.F.; MONTENEGRO, S.M.G.L. Produtividade do repolho utilizando cobertura morta e diferentes intervalos de irrigação com água moderadamente salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 256-263, 2011.

JENSEN, M. E.; WRIGHT, J. L.; PRATT, B. J. Estimating Soil Moisture Depletion From Climate Crop And Soil Data. **Trans of the ASAE**, 1971.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recurso Hídricos**. São Carlos, EESC/USP. EDUSP, 1998, 840p.

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

SMITH, M. **Report On The Expert Consultation On Revision Of Fao Methodologies For Crop Water Requirements**. Rome, FAO, p. 45, 1991.

SOUZA, A. P.; CARVALHO, D. F.; SILVA, L. B. D.; ALMEIDA, F. T.; ROCHA, H. S. Estimativas da evapotranspiração de referência em diferentes condições de nebulosidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.219-228, 2011.

WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for evaluations and comparisons of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. 65. P. 8995-9005, 1985.