

DESEMPENHO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ESTIMADA PELA EQUAÇÃO DE HARGREAVES-SAMANI NA ESCALA MENSAL

D. N. B. RODRIGUES¹, T. T. S. FERREIRA¹, A. M. M. MESQUITA¹, A. K. P. BEZERRA¹,
F. B. LOPES² & F. D. D. ARRAES¹

RESUMO: No presente trabalho foram avaliados alguns métodos de estimativa da evapotranspiração de referência utilizando a metodologia de Hargreaves-Samani, para as condições climáticas de Limoeiro do Norte - CE. Os métodos avaliados foram EToHS₁₉₈₂, EToHS₁₉₈₅, EToHS_{mod S&C (1996)} e EToH_{Bernardo et al. (2006)}. Esses valores foram comparados com os obtidos utilizando-se o modelo de Penman-Monteith, conforme a parametrização da FAO com os dados de evapotranspiração de referência obtidos diariamente na estação meteorológica automatizada. O método de EToHS_{mod S&C (1996)} obteve o melhor resultado, porém todos eles apresentaram baixos valores de exatidão e desempenho, mostrando-se não ser viável a utilização de nenhum desses métodos para a estimativa da evapotranspiração de referência local.

Palavras Chaves: Equações empíricas, radiação, Penman-Monteith

EVAPOTRANSPIRATION PERFORMANCE OF REFERENCE FOR ESTIMATED EQUATION OF HARGREAVES-SAMANI SCALE IN MONTHLY

ABSTRACT: In this study were evaluated some methods for estimating the evapotranspiration of reference using the methodology of Hargreaves-Samani, to the climate of Limoeiro do Norte - CE. The methods were evaluated EToHS₁₉₈₂, EToHS₁₉₈₅, EToHS_{mod S&C (1996)} and EToH_{Bernardo et al. (2006)}. These values were compared with those obtained using the model of Penman-Monteith, as the parameterization of FAO with data obtained from evapotranspiration of reference daily on automated weather stations. The method of EToHS_{mod S&C (1996)} won the best outcome, but they all had low values of accuracy and performance and were not feasible to use any of these methods to estimate evapotranspiration from the local reference.

¹ Tecnólogo em Recursos Hídricos / Irrigação, Mestrando em Agronomia (Irrigação e Drenagem), Departamento de Engenharia Agrícola - DENA, Universidade Federal do Ceará – UFC, bolsista do CNPq, Fone: (85) 3366 9761, e-mail: diegonathan05@yahoo.com.br, tony_thiagos@yahoo.com.br, marcosilario@hotmail.com, karineipu@hotmail.com, dirceutid@yahoo.com.br

² Tecnólogo em Recursos Hídricos / Irrigação, M.Sc. Agronomia (Irrigação e Drenagem), Universidade Federal do Ceará – UFC, bolsista do CNPq, e-mail: lopesfb@hotmail.com.

Key words: Empirical equations, radiation, Penman-Monteith

INTRODUÇÃO

Hargreaves (1974), em sua primeira equação para estimar a evapotranspiração potencial, utilizou dados de latitude, temperatura média mensal e umidade relativa. Baseou-se em dados de evapotranspirômetros, vegetados com grama, em várias partes do mundo (CAMARGO & CAMARGO, 2000).

Posteriormente o mesmo autor apresentou nova equação simplificada, na qual foi suprimida a umidade relativa e introduzida à radiação global (HARGREAVES, 1976 citado por CAMARGO & CAMARGO, 2000).

O trabalho teve por objetivo estimar a evapotranspiração de referência por diferentes métodos de Hargreaves-Samani, bem como verificar qual o melhor método para o município de Limoeiro do Norte, na falta de dados para se usar o método padrão.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na região da Chapada do Apodi, que apresenta clima semi-árido, BSw'h' (classificação de Köppen), com os seguintes valores médios anuais: precipitação, 772 mm, bastante irregular; temperatura, 28,5°C; umidade relativa, 62%; insolação, 3.030 horas ano⁻¹ (DNOCS, 2008).

Os dados de temperatura máxima e mínima são relativos ao período de 1 de Janeiro a 31 Dezembro de 2007 e foram obtidos através da coleta diária na estação meteorológica automatizada, pertencente ao banco de dados da Unidade de Ensino e Pesquisa – UEPE/FATEC Limoeiro do Norte.

A evapotranspiração de referência de Hargreaves citado por BERNARDO et al. (2006) foi calculada pela seguinte equação:

$$ET_{oH} = (T + 17,8) * 9,38.10^{-4} * Ra * 0,408 * (T_{max} - T_{min})^{0,5} \quad (1)$$

onde ET_{oH} = evapotranspiração de referência de Hargreaves, mm mês⁻¹; T, T_{max} , T_{min} = temperatura média mensal, máxima e mínima, respectivamente, °C; Ra = radiação extraterrestre ou no topo da atmosfera, MJ m² dia⁻¹.

Para HARGREAVES & SAMANI (1982) citado por SENTELHAS & CAMARGO (1996) utilizou-se a seguinte equação:

$$ET_{oHS}_{1982} = 0,0075 * (1,8 + 32) * RS \quad (2)$$

onde ET_{oHS}_{1982} = evapotranspiração de referência de Hargreaves & Samani, mm mês⁻¹; T = temperatura média mensal, °C; RS = radiação solar global, mm mês⁻¹.

Para HARGREAVES & SAMANI (1985) citado por PEREIRA et al. (1997) utilizou-se a seguinte equação:

$$EToHS_{1985} = 0,0023 * Ra * (T_{maz} - T_{min})^{0,5} * (T + 17,8) \quad (3)$$

onde $EToHS_{1985}$ = evapotranspiração de referência de Hargreaves & Samani, mm mês⁻¹; Ra = radiação extraterrestre ou no topo da atmosfera, mm mês⁻¹; T = temperatura média mensal, °C.

Já para HARGREAVES modificado (proposto) por SENTELHAS & CAMARGO (1996) utilizou-se a seguinte equação:

$$EToH_{mod\ S\&C} = Ra * (1,8 * T_{med} + 32) * 0,0006 * (100 - UR)^{0,5} \quad (4)$$

onde $EToH_{mod\ S\&C}$ = evapotranspiração de referência de Hargreaves, mm mês⁻¹; Ra = radiação extraterrestre ou no topo da atmosfera, mm mês⁻¹; T_{med} = temperatura média mensal, °C; UR = umidade relativa do ar, %.

Para a estimativa da radiação solar extraterrestre (Ra), foi utilizada a metodologia recomendada por ALLEN et al. (1998).

$$Ra = \frac{24.(60)}{\pi} . G_{SC} . d_R . (H . \sin\theta . \sin\delta + \cos\theta . \cos\delta . \sin H) \quad (5)$$

onde G_{SC} é a constante solar (valor médio de 0,082 MJ m² min⁻¹); d_r é o inverso da distância relativa da terra ao sol; H é o ângulo horário do pôr-do-sol (radianos); θ é a latitude do local (radianos); δ é a declinação solar (radianos), que foi calculado pela seguinte equação:

$$H = [1 - (\tan\theta . \tan\delta)] \quad (6)$$

Para o cálculo do inverso da distância relativa da terra ao sol (d_R) da declinação solar (δ), ALLEN et al. (1998), apresentam as seguintes equações:

$$d_R = 1 + 0,033 . \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (7)$$

$$\delta = 0,4093 . \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,405\right) \quad \text{onde J o dia Juliano.} \quad (8)$$

Os valores de evapotranspiração de referência estimados foram comparados aos medidos utilizando-se o coeficiente de determinação (R^2), índice de precisão (r), índice de confiança ou desempenho (c) proposto por CAMARGO & SENTELHAS (1997) que corresponde à multiplicação do índice de exatidão (d) proposto por WILLMOTT et al. (1985) e descrito por CAMARGO e SENTELHAS (1997), além da classificação de HOPPKINS (2002) que classifica o índice de precisão.

O índice “d” é dado pela seguinte expressão:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n \left(|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}| \right)^2} \quad (9)$$

onde O_i é o valor medido da evapotranspiração de referência, E_i é o valor estimado da evapotranspiração de referência, \bar{O} é a média dos valores medidos da evapotranspiração de referência e i é o número de eventos.

O critério adotado para interpretar o desempenho dos métodos pelo índice “c” para a estimativa da evapotranspiração de referência é apresentado na Tabela 1 onde também se encontra a classificação de HOPPINKS (2002) para classificar o índice de precisão.

Tabela 1. Critério de interpretação do desempenho da estimativa da EToHS e EToHSc, pelo índice “c” e critério de interpretação da precisão da estimativa da EToHS e EToHSc, pelo índice “r”.

Valor de “c”	Desempenho	Valor de “r”	Precisão
> 0,85	Ótimo	0,0-0,1	Muito baixo
0,76 a 0,85	Muito Bom	0,1-0,3	Baixo
0,66 a 0,75	Bom	0,3-0,5	Moderado
0,61 a 0,65	Mediano	0,5-0,7	Alto
0,51 a 0,60	Sufrível	0,7-0,9	Muito alto
0,41 a 0,50	Mau	0,9-1,0	Quase perfeito
$\leq 0,40$	Péssimo	-	-

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1 são apresentadas as relações entre os dados de evapotranspiração de referência estimadas pelos métodos e medidos pela estação automática, a nível mensal.

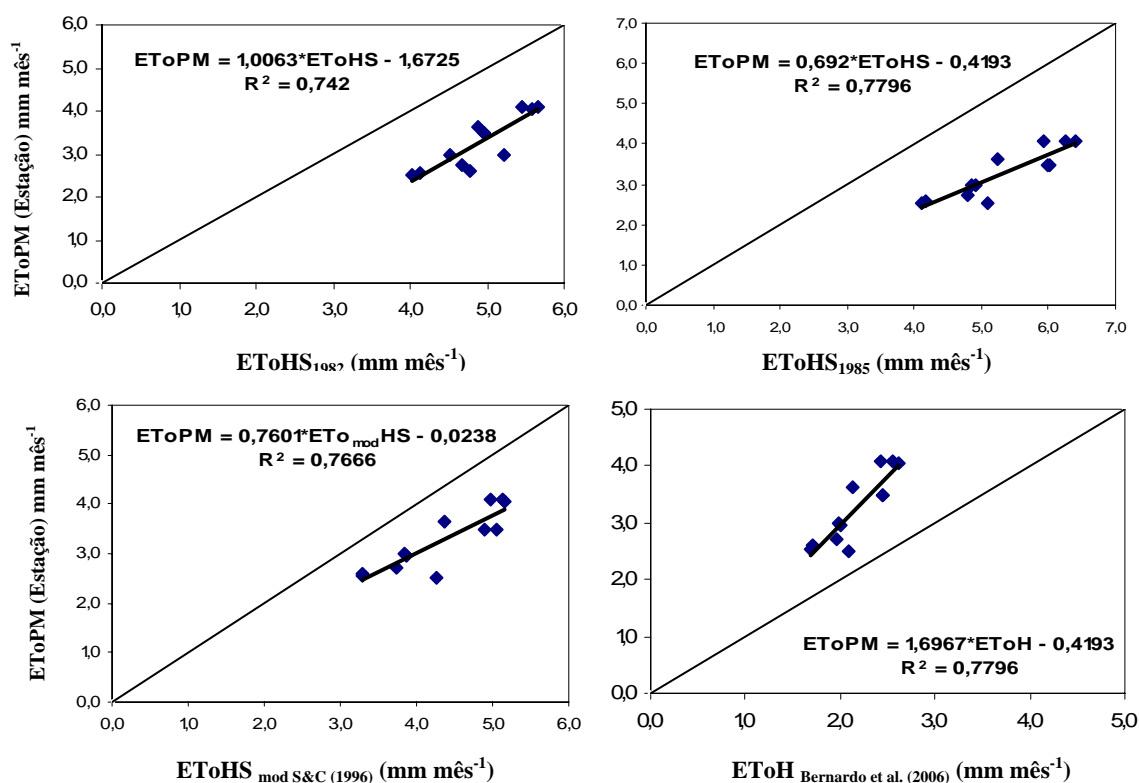


Figura 1. Relação entre a evapotranspiração estimada pelos métodos de Hargreaves-Samani e medida por Penman-Monteith obtida em estação automática.

Como pode ser visto na figura 1 o método de EToHS₁₉₈₂ superestimou o método padrão concordando com SENTELHAS & CAMARGO (1996) que utilizando o mesmo método para estimar a evapotranspiração de referência para São Paulo na escala decendendial nos meses de verão. Os métodos de EToHS₁₉₈₅ e EToHS modificado por SENTELHAS & CAMARGO (1996) também superestimaram o método padrão da FAO, já o método de EToH citado por BERNARDO et al. (2006) subestimou o método padrão.

A tabela 2 mostra os coeficientes estatísticos analisados para avaliar a estimativa da evapotranspiração de referência pelos métodos de Hargreaves-Samani.

Tabela 2. Valores dos coeficientes de determinação, precisão, classificação do índice de precisão, exatidão, desempenho e classificação do desempenho dos dois métodos usados para a estimativa ETo diária.

Método	R ²	r	Classificação r	d	c	Classificação c
EToHS ₁₉₈₂	0,7420	0,8613	Muito Alto	0,4616	0,3976	Péssimo
EToHS ₁₉₈₅	0,7796	0,8829	Muito Alto	0,4160	0,3676	Péssimo
EToHS _{mod S & C (1996)}	0,7666	0,8812	Muito Alto	0,6060	0,5341	Sofrível
EToH _{Bernardo et al. (2006)}	0,7796	0,8829	Muito Alto	0,5350	0,4723	Mau

Como pode ser visto na tabela 2 dentre os métodos avaliados, o da EToHS₁₉₈₂ foi o que obteve o menor coeficiente de determinação e foi classificado segundo HOPPINKS (2002) quanto ao índice de precisão como muito alto, mas obteve um índice de exatidão e desempenho de 0,4616 e 0,3976, respectivamente, sendo esses valores muito baixos o que influenciou diretamente no resultado do desempenho do método avaliado que foi classificado como péssimo, discordando dos resultados encontrados por BORGES & MEDIONDO (2007) e SENTELHAS & CAMARGO (1996) que compararam equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga e encontraram o valor do índice de exatidão igual a 0,992 e desempenho 0,989 classificado como ótimo; e um coeficiente de desempenho igual 0,65 para o estado de São Paulo, respectivamente, valores esses diferentes do encontrado neste trabalho.

Os métodos de EToHS₁₉₈₅ e EToH_{Bernardo et al. (2006)} obtiveram valores de coeficientes de determinação e índice de precisão iguais sendo ambos classificados como muito alto, porém os valores dos índices de concordância foram diferentes com valores iguais a 0,4160 e 0,5350, 0,3676 e 0,4723 com ambos os métodos classificados como péssimo e mau, respectivamente.

Quanto ao método de EToHS_{mod S & C (1996)} ele obteve um coeficiente de determinação e precisão igual a 0,7666 e 0,8812, respectivamente e assim como os outros métodos foi classificado quanto a precisão como muito alto. Porém o valor do índice de exatidão e

desempenho foram 0,6060 e 0,5341, discordando dos valor encontrado por SENTELHAS & CAMARGO (1996) igual a 0,88, porém esse método foi o melhor de todos analisado, o que pode talvez ter diferenciado esse método é o fato deles incluírem na equação a umidade relativa do ar, já que os outros métodos não incluem.

CONCLUSÕES

Dentre os métodos avaliados o que foi proposto por SENTELHAS & CAMARGO (1996) foi o melhor, porém todos eles apresentaram baixos níveis de exatidão e desempenho entre os dados estimados e medidos, mostrando-se não ser viável a utilização de nenhum desses métodos para a estimativa da evapotranspiração de referência local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO Irrigation and Drainage, Paper 56, 1998. 300p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 2006. 625p.

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.

CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. de. **Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial**. Bragantia, Campinas, 59 (2), 125-137, 2000.

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

DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS CONTRA AS SECAS (DNOCS). **Perímetro Irrigado Jaguaribe-Apodi**. 2008. Disponível em <http://apoena.dnocs.gov.br/~apoena/php/projetos/projetos.php>. Acesso em: 19 mar. 2008.

HOPKINS, W. G. **A scale of magnitudes for effect statistics**. 2002. Disponível em: <http://www.sportsci.org/resource/stats/effectmag.html>. Acesso: 19 mar. 2008.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. S. **Evapo(tanspi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

SENTELHAS, P. C. CAMARGO, A. P. de. **Equação para a estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, baseada no método de Hargreaves–1974**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 77-81, 1996.