



EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA COM EQUAÇÕES SIMPLIFICADAS AJUSTADAS PARA SOBRAL, CEARÁ

Juarez Cassiano de Lima Junior¹, Francisco Dirceu Duarte Arraes², Kleber Gomes Macêdo³,
Anna Hozana Francilino⁴, Willame Cândido de Oliveira⁵

RESUMO: O objetivo do trabalho foi avaliar e calibrar uma modificação da equação Hargreaves & Samani para as condições climáticas do município de Sobral, tomando como referência o modelo de Penman-Monteith. Foram utilizados dados com escala diária: velocidade do vento, insolação, umidade relativa, temperatura máxima, mínima e média. Os dois parâmetros “a” e “b” propostos por Jensen foram calibrados de forma simultânea. Para avaliar o desempenho da calibração foram utilizados índice de Willmott e a raiz quadrada do erro médio, em que a equação de Hargreaves & Samani modificada apresentou valores de 0,94 e 0,57 para índice de Willmott e raiz quadrada do erro médio e a equação de Penman-Monteith com dados limitados apresentou valores de 0,72 e 1,11, respectivamente. A adição da velocidade do vento na equação de Hargreaves & Samani e calibração dos parâmetros para o local melhora o desempenho na estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral, Ceará.

PALAVRAS-CHAVE: semiárido, demanda hídrica atmosférica, irrigação.

REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION WITH SIMPLIFIED EQUATIONS ADJUSTED FOR SOBRAL, CEARÁ

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate and calibrate a modification of the Hargreaves and Samani equation for the climatic conditions of the municipality of Sobral, taking as reference the Penman-Monteith model. Data were used with daily scale: wind speed, insolation, relative humidity, maximum, minimum and average temperature. The two parameters "a" and "b" proposed by Jensen were calibrated simultaneously. To evaluate the performance of the calibration the Willmott index and the square root of the mean error were used, in which the modified Hargreaves & Samani equation presented values of 0.94 and 0.57 for Willmott index and square root of the mean error, and the Penman-Monteith equation with limited data presented values of 0.72 and 1.11, respectively. The addition of the wind speed in the Hargreaves & Samani equation and calibration of the parameters for the site improves the performance in the estimation of reference evapotranspiration for the municipality of Sobral, Ceará.

KEYWORDS: semiarid, atmospheric water demand, irrigation.

INTRODUÇÃO

O aumento da demanda hídrica em todos os setores, há algum tempo, é uma das

¹ Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará (UFC), CEP 60450-760 Fortaleza, CE. (88)997282370. e-mail: limajr.soil@gmail.com

² Professor Doutor, Instituto Federal do Sertão Pernambucano (IF-SERTÃO), Salgueiro, PE.

³ Mestre em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE.

⁴ Mestre em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural do Pernambuco (UFRPE), Recife, PE.

⁵ Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE.



principais preocupações da sociedade, portanto, a água na agricultura deve ser utilizada da forma mais racional possível (Lima Junior et al. 2016). Segundo Arraes et al. (2016) a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) é uma ferramenta importante para o manejo da agricultura irrigada, e segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) no manual 56, deve ser estimada através do modelo Penman-Monteith (PM) (Allen et al. 1998).

A ET_o expressa a evapotranspiração de uma cultura hipotética com altura uniforme de 0,12 m, resistência de superfície de 70 s m⁻¹, com albedo de 23% e crescendo ativamente (Allen et al. 1998). Sobretudo, o cálculo da ET_o pelo modelo PM exige medições confiáveis dos elementos climáticos.

Segundo Allen et al., (1998) quando não houver dados climáticos necessários ao modelo PM, podem ser utilizados os modelos PM com dados limitados (PML) e/ou de Hargreaves-Samani (Hargreaves & Samani, 1985) para estimativa da ET_o, mesmo existindo a necessidade de alguns ajustes.

Em regiões de baixas temperaturas e umidade elevada o modelo de HS superestima os valores de ET_o quando comparados ao método de PM (Fooladmand & Haghighat, 2007); Arraes et al., 2016) já em locais de clima quente e/ou seco o modelo de HS subestima PM (Lima Junior et al., 2016).

Posto isso, o objetivo do trabalho foi calibrar a modificação proposta por Jensen et al. (1997) da equação de Hargreaves & Samani e avaliar o desempenho da equação de Penman Monteith (limitada) de estimativa da evapotranspiração de referência, para as condições climáticas do município de Sobral, Ceará.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada utilizando dados meteorológicos de uma estação pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada no município de Sobral – CE (-3,73° de latitude e -40,33° de longitude). Foram utilizados os dados climatológicos diários: temperatura máxima (Tx), mínima (Tn), média (Tm), velocidade do vento (V), umidade relativa do ar (UR) e insolação (INS). Com finalidade de caracterização, são apresentados dados médios de Temperatura média, Velocidade do vento e Umidade relativa (Tabela 1).



Tabela 1. Temperatura média (T_m), velocidade do vento (V) e umidade relativa (UR) para o município de Sobral - CE

	Janeiro a Abril	Maio a Agosto	Setembro a Dezembro	Anual
T _m (°C)	27,61	27,31	29,41	28,11
V (m s ⁻¹)	1,72	1,60	2,85	2,05
UR (%)	78,34	70,14	58,85	69,11

Por recomendação da FAO métodos empíricos de estimativa de ETo devem ser calibrados e validados através da equação de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), equação 1. Jensen et al. (1997) propõem uma correção da equação de Hargreaves & Samani (1985) usando a velocidade do vento (equação 2). Para o cálculo da ETo^{PM} (dados limitados) foi realizada a estimativa da pressão parcial de vapor (e_a) (equação 3), sendo obtida com a substituição da temperatura do ponto de orvalho pela temperatura mínima do ar, subtraída de 2 °C (T_d = T_{min} - 2°C), seguindo recomendações de Allen et al. (1998). A estimativa da radiação solar global (R_s) foi realizada pela equação 4, método proposto por Hargreaves & Samani (1982)

Tabela 2. Equações de estimativa de evapotranspiração de referência, Penman Monteith (1), Hargreaves & Samani ajustada (2), Pressão parcial de vapor (3), Radiação líquida total (4)

$$ET_o^{PM} = \frac{0,408\Delta(R_s - G) + \gamma \frac{900}{T_m + 273} v_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 v_2)} \quad (1)$$

$$ET_o^{HS-Jen} = (a + b.v_2) \left[0,0023(T_{max} - T_{min})^{0,5} (T_m + 17,8) R_a \cdot 0,408 \right] \quad (2)$$

$$e_a = 0,6108 \exp \left(\frac{17,27 T_d}{T_d + 237,3} \right) \quad (3)$$

$$R_s = 0,16(T_{max} - T_{min})^{0,5} R_a \quad (4)$$

ETo^{PM} – evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith, mm dia⁻¹; ETo^{HS-Jen} – evapotranspiração de referência obtida pelo método de Hargreaves & Samani modificada pelo velocidade do vento, mm dia⁻¹; a e b são parâmetros empíricos; R_s - radiação líquida total do gramado, MJ m⁻² dia⁻¹; G - densidade do fluxo de calor no solo, MJ m⁻² dia⁻¹; T_m, T_{max} e T_{min} - temperaturas média, máxima e mínima diária do ar, °C; v₂ - velocidade do vento média diária a 2 m de altura, m s⁻¹; e_s - pressão de saturação de vapor, kPa; e_a - pressão parcial de vapor, kPa; e_s-e_a - déficit de saturação de vapor, kPa; Δ - declividade da curva de pressão de vapor no ponto de T_m, kPa °C⁻¹; γ - coeficiente psicrométrico, kPa °C⁻¹; R_a – radiação no topo da atmosfera, MJ m⁻² dia⁻¹.

Foram calculados os valores de ETo diária nas metodologias citadas anteriormente, e também foram calibrados os parâmetros “a” e “b” da equação 2, utilizando o Solver, do Microsoft Excel®, seguindo mesma metodologia utilizada por Lima Junior et al. (2016) e Arraes et al. (2016) em ajustes da equação de Hargreaves & Samani para Ceará e Pernambuco, respectivamente. A análise do desempenho das calibrações será realizada de acordo com os índices estatísticos sugeridos por Legates & McCabe Jr (1999): índice de Willmott (Id) e raiz quadrada do erro médio (RQEM).



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na calibração dos parâmetros de ajuste da equação HS com a modificação sugerida por Jensen et al. (1997), os valores “a” e “b” encontrados foram 0,720 e 0,115, respectivamente. Valores aceitáveis, quando comparados com valores obtidos em ajustes realizados no Pernambuco, Arraes et al. (2017) obtiveram valores de “a” variando de 0,669 a 0,675 e de “b” oscilando de 0,079 a 0,135. Ainda segundo os mesmos autores, os valores originais dos parâmetros propostos por Jensen et al. (1997) para “a” e “b” são respectivamente 0,66 e 0,1459.

Observando o comportamento das estimativas (Figura 1), nota-se que o ajuste proposto por Jensen et al (1997) aproxima as estimativas da equação de Hargreaves & Samani as do modelo padrão (ET_o^{PM}). Durante o primeiro semestre, até aproximadamente o final do sexto mês (Junho) o modelo HS^{Jen} apresenta comportamento similar ao de Penman-Monteith. Pode-se assim afirmar que sua utilização para estimativa de ET_o nesse período do ano, mesmo utilizando quantidade de variáveis de entrada limitada, fornece dados confiáveis.

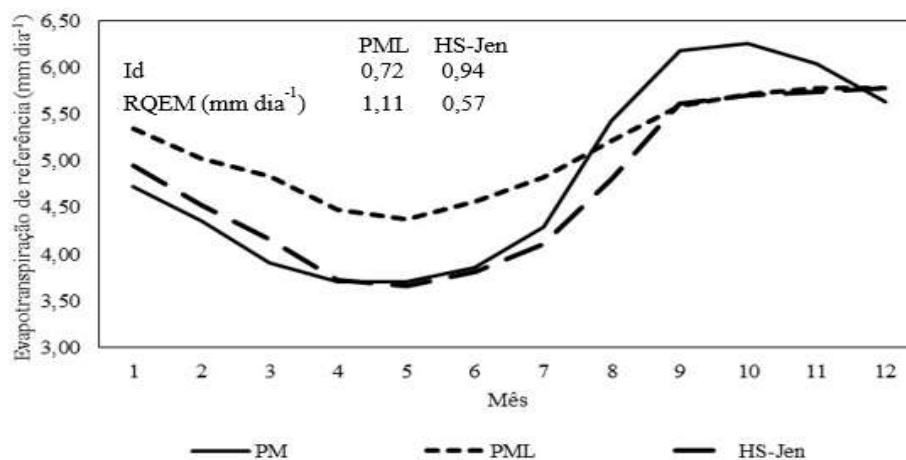


Figura 1. Comportamento dos valores estimados de ET_o calculados por Penman Monteith (PM), Penman Monteith Limitado (PML) e Hargreaves & Samani com ajuste proposto por Jensen et al. (1997) (HS-Jen), Id – Índice de Willmott, RQEM – raiz quadrada do erro médio.

As superestimativas e subestimativas de ET_o calculadas pela equação PML no primeiro e segundo semestre, respectivamente, podem ser explicadas a partir de observações de dados climatológicos da região estudada, a média de velocidade do vento dos dois primeiros terços do ano (Janeiro a Agosto) varia de 1,72 a 1,60 $m s^{-1}$, passando para 2,85 $m s^{-1}$ nos últimos quatro meses do ano, um aumento de 38% em relação à média anual. Como o modelo PML utiliza o valor médio de velocidade do vento de 2 $m s^{-1}$, não se mostra sensível a essas alterações, causando erros maiores em suas estimativas.



Outro fator que contribui para a importância da velocidade do vento na estimativa é a variação da UR, com comportamento inverso, nos dois primeiros terços do ano ela apresenta valores médios de 78 e 70%, caindo para 58% no final do ano, potencializando a importância da velocidade do vento na ETo. Importante ressaltar que o período chuvoso de grande parte da região nordeste, bem como do estado do Ceará ocorre no primeiro semestre, daí a maior umidade relativa do ar.

A estimativa por HS^{Jen} obteve índice de concordância e erro satisfatórios ($Id = 0,94$; $RQEM = 0,57$), com diminuição do erro. Lima Junior et al. (2016) ajustando de forma diferente a equação de HS para Sobral utilizando dados mensais encontraram valores de Id e $RQEM$ semelhantes.

A inclusão da velocidade do vento na equação de HS diminuiu o erro e aumentou a concordância. Trajkovic (2007) e Fooladmand & Haghighat, (2007), afirmam que o modelo de HS pode ser mais utilizado para estimar a ETo para períodos semanais ou maiores, porém, quando ajustado aumenta sua precisão, tornando possível sua utilização para estimativas diárias.

CONCLUSÕES

O ajuste da equação Hargreaves & Samani, com inclusão da velocidade do vento, se mostra uma opção viável para estimativa da evapotranspiração de referência para Sobral, Ceará.

O modelo Penman Monteith, com dados limitados (PML), não se adapta bem às condições climáticas de Sobral – CE.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56**. FAO, 1998, p. 300.

ARRAES, F. D. D; LIMA JUNIOR, J. C; OLIVEIRA, J. B; MACÊDO, K. G; COURAS, Y. S; OLIVEIRA, W. C. Parametrização da equação de Hargreaves-Samani para o estado do Pernambuco – Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 1, p. 410–419, 2016.

ARRAES, F. D. D; ANGELIM, C. N. T; MACÊDO, K. G; LIMA JUNIOR, J. C; OLIVEIRA, J. B. Desempenho e calibração da equação Hargreaves e Samani modificada para o Sertão Pernambucano. In: II SIMPOSIO DE MANEJO DE SOLO E ÁGUA, **Anais...** Mossoró – RN, 2017.

LEGATES, D. R.; MCCABE, G. J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in



hydrologic and hydroclimatic model validation. **Water resources research**, v. 35, n. 1, p. 233–241, 1999.

LIMA JUNIOR, J. C; ARRAES, F. D. D; OLIVEIRA, J. B; NASCIMENTO, F. A. L; MACÊDO, K. G. Defining parameters for the Hargreaves-Samani equation for estimating reference evapotranspiration in the State of Ceará, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 447–454, 2016.

TRAJKOVIC, S. Hargreaves versus Penman-Monteith. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 133, n. 1, p. 38–42, 2007.

FOOLADMAND, H.R.; HAGHIGHAT, M. Spatial and temporal calibration of Hargreaves equation for calculating monthly ETo based on Penman-Monteith method. **Irrigation and Drainage**, v.56, p 439-444, 2007.

JENSEN D.T; HARGREAVES G. H; TEMESGEN, B; ALLEN, R. G. Computation of ETo under nonideal condition. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 123, n. 5, p. 394–400, 1997.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Estimating potential evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 108, p. 225-230, 1982.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 01, n. 02, p. 96-99, 1985.