



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



Calibração de parâmetros da equação de Hargreaves Samani e equação empírica para a estimativa da Evapotranspiração de Referência para o Município de Petrolina, PE - Brasil

Kleber Gomes de Macêdo¹; Francisco Dirceu Duarte Arraes²; Joaquim Branco de Oliveira³; Willame Cândido de Oliveira⁴; Ramon Firmino Bezerra¹, Celianne Dayane Matos de Oliveira¹,

¹Graduando em Irrigação e Drenagem, Bolsista do Laboratório de Geoprocessamento, Fone: (88) 3582-1000 R 220, e-mail: kleber117@hotmail.com

²Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, Professor, Dr., Instituto Federal do Sertão, *Campus* Salgueiro, Salgueiro – PE

³Eng. Agrônomo, Professor, Dr., Instituto Federal do Ceará, *Campus* Iguatu, Iguatu – CE

⁴Graduando em Irrigação e Drenagem, Bolsista PBIC, Instituto Federal do Ceará, *Campus* Iguatu, Iguatu – CE

RESUMO: A FAO recomenda o modelo Hargreaves Samani (HS) que utiliza apenas as temperaturas máximas e mínimas do ar na falta dos dados necessários ao modelo Penman-Monteith. Porém a utilização do modelo HS se mostra ineficaz em locais diferentes de onde foi desenvolvido, necessitando assim da calibração de seus parâmetros para que haja uma adaptação ao local de utilização. O uso de equações empíricas obtidas através da análise dos dados de maior sensibilidade na estimativa da ET_0 é uma boa alternativa a escassez de dados meteorológicos. Este trabalho teve como objetivo calibrar a equação de HS e elaborar uma equação empírica utilizando a técnica de regressão linear múltipla usando a técnica de seleção por etapa, visando facilitar a estimativa da ET_0 . Foram utilizados os dados mensais de: temperaturas máximas e mínimas, velocidade do vento, umidade relativa do ar e insolação, obtidos da rede de estações convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do município de Petrolina-PE. O modelo de regressão linear desenvolvido entre os valores da ET_0 (PM) e as variáveis climatológicas analisadas, mostrou que a temperatura máxima, velocidade do vento e insolação apresentaram maior sensibilidade na determinação da ET_0 para Petrolina. Segundo o índice de Willmott o melhor resultado foi obtido pela equação empírica Modelo Petrolina, seguido por Hargreaves Samani Calibrado, com valores de 0,974 e 0,972 respectivamente, Já de acordo com o erro padrão de estimativa (EPE) o Modelo Petrolina mostrou novamente resultado satisfatório com valor de 0,166 mm dia⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE: regressão linear, semiárido, temperatura do ar

Calibration of Hargreaves and Samani equation parameters and empirical equation for Reference Evapotranspiration estimation for the city of Petrolina, PE – Brazil

ABSTRACT: The FAO recommends Samani Hargreaves model (HS) using only the maximum and minimum air temperatures in the absence of the necessary data to Penman Monteith model. However, the use of the HS model has proven ineffective in different locations where it was developed, thus necessitating calibration of its parameters so that there is an adaptation to the place of use. The use of empirical equations obtained from the analysis of the most sensitive data to estimate ET_0 is a good alternative to shortage of meteorological data. This study aimed to calibrate the equation HS and prepare an empirical equation using the multiple linear regression technique using the selection technique by step, to facilitate the estimation of ET_0 . The monthly data were used: Maximum and minimum temperatures, wind speed, relative humidity and heat stroke, obtained from conventional network stations of the National Institute of Meteorology (INMET) of Petrolina municipality: The linear regression model developed between the values of ET_0 (PM) and climatological variables showed that

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

the maximum temperature, wind speed and insolation showed greater sensitivity in determining ET_o to Petrolina. According to Willmott index the best result was obtained by empirical equation Model Petrolina, followed by Samani Hargreaves calibrated, with values of 0.974 and 0.972 respectively, already according to the estimated standard error (EPE) Model Petrolina again showed satisfactory results with value of $0.166 \text{ mm day}^{-1}$.

KEYWORDS: linear regression, semi-arid, air temperature

INTRODUÇÃO

A agricultura consome grande parte dos recursos hídricos disponíveis, tal consumo pode ser reduzido aumentando a eficiência da irrigação, que depende de vários fatores, dentre eles a evapotranspiração de referência (ET_o) que pode ser medida através de lisímetros e estimada através de equações empíricas (CHATZITHOMAS; ALEXANDRIS, 2015). O método de medição direta (lisímetro), apesar de apresentar ótimos resultados, utiliza equipamentos de custo muito elevado, o que torna inviável o seu uso no manejo da agricultura irrigada no dia a dia. Já os métodos indiretos (equações) oferecem a estimativa da ET_o , sendo o método Penman-Monteith-FAO considerado padrão. (GONÇALVES et al., 2009).

O modelo Penman-Monteith (PM) necessita dos dados climáticos: temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e insolação. Porém tais dados não estão facilmente disponíveis para todos os locais o que pode impossibilitar o uso desta equação. Na falta de dados necessários a PM, Allen et al., (1998) recomenda o uso da equação de Hargreaves e Samani (HARGREAVES e SAMANI, 1985) como alternativa para a estimativa ET_o . Porém o modelo proposto por Hargreaves e Samani (HS) não apresenta resultados satisfatórios quando usado em locais de clima diferente de onde o mesmo foi desenvolvido, necessitando de calibração de seus parâmetros para que ocorra uma adaptação ao local de utilização (ALENCAR, DE et al., 2011).

O uso de equações empíricas obtidas através da análise dos dados climáticos de maior sensibilidade na estimativa da ET_o é uma boa alternativa a escassez de dados meteorológicos necessários ao modelo PM e a erros de adaptação do modelo HS original e calibrado.

Objetivou-se com este trabalho calibrar os parâmetros da equação de Hargreaves e Samani e elaborar uma equação empírica para a estimativa da evapotranspiração de referência na cidade de Petrolina no estado do Pernambuco.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os dados climáticos: temperatura máxima e mínima do ar, insolação, velocidade do vento e umidade relativa do ar, obtidas junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da rede de estações convencionais. A cidade de Petrolina está localizada a latitude: $9^{\circ} 9' \text{ S}$, longitude: $40^{\circ} 22' \text{ W}$ e altitude de 365,5 m no estado de Pernambuco.

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada utilizando o método de Penman-Monteith parametrizada pela FAO em seu manual 56 (ALLEN et al., 1998) (Equação 1).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273} v_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 v_2)} \quad (01)$$

Em que: ET_o - evapotranspiração de referência, mm dia^{-1} ; R_n - radiação líquida total do gramado, $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; G - densidade do fluxo de calor no solo, $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; T_{med} - temperatura média diária do ar, $^{\circ}\text{C}$; v_2 - velocidade do vento média diária a 2 m de altura, m s^{-1} ; e_s - pressão de saturação de vapor, kPa; e_a -

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

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 , $kPa^{\circ}C^{-1}$; γ - coeficiente psicrométrico, $kPa^{\circ}C^{-1}$.

O modelo calibrado foi o proposto por Hargreaves e Samani (1985) para estimativa da ET_o que utiliza apenas os valores de Temperatura máxima, mínima e média do ar e da Radiação no topo da atmosfera (Equação 2).

$$ET_o = \alpha \cdot (T_{\max} - T_{\min})^{\beta} (T_{med} + 17,8) \cdot Ra \cdot 0,408 \quad (02)$$

Em que: α - um parâmetro empírico, sendo utilizado o seu valor original de 0,0023; β - um parâmetro empírico exponencial, tendo seu valor original 0,5.

O ajuste da equação de HS de acordo com a estimativa por PM foi realizado utilizando as médias mensais de ET_o dos meses ímpares, efetuando o cálculo das médias de ET_o com os dados dos meses pares, assim validando o ajuste. Os parâmetros α e β foram calculados a partir do Microsoft Excel[®] utilizando a metodologia descrita por Wraith e Or, (1998) para ajuste de equação não linear usando o aplicativo Solver.

A equação empírica nomeada de Modelo Petrolina foi elaborada utilizando a regressão linear múltipla usando a técnica de seleção por etapa. Dentre as variáveis climatológicas analisadas a temperatura máxima, velocidade do vento e insolação apresentaram maior sensibilidade na determinação da ET_o para Petrolina (Equação 3).

$$ET_o = -9,394 + (T_x \cdot 0,369) + (U \cdot 0,371) + (Ins \cdot 0,165) \quad (03)$$

Em que: T_x - temperatura máxima; U - velocidade do vento; Ins - insolação.

O desempenho da equação original e calibrada de HS e do Modelo Petrolina (MP) na estimativa da ET_o foi avaliado através dos seguintes índices estatísticos: coeficiente “c” de Camargo e Sentelhas (1997) como descrito por Arraes et al. (2009), erro padrão de estimativa (EPE), índice de Willmott (1981) (id) (Equações 04 e 05).

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - X_i)^2}{n}} \quad (04)$$

$$id = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O_i| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (05)$$

Em que: O_i - valores estimados pelo modelo padrão; P_i - valores estimados pelos modelos propostos; Y_i - valores médios obtidos pelos modelos propostos; X_i - valores médios obtidos pelo modelo padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos ajustes realizados no modelo de HS o coeficiente α foi igual a 0,0016 mostrando diferença do valor original 0,0023 estabelecido na cidade de Salt Lake City (Estados Unidos), em estudo realizado na

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

cidade de Minaçu no estado de Goiás, Fernandes et al.,(2012) encontrou valor semelhante para o coeficiente α com 0,0014, já na cidade de Sete Lagoas em Minas Gerais, Nascimento et al. (2012) encontrou 0,0012 em sua calibração, corroborando para a necessidade de calibração deste parâmetro em locais semelhantes. O coeficiente β foi 0,68 também diferindo do valor original de 0,5. Resultados semelhantes foram encontrados por Fernandes et al. e Nascimento et al. (2012) com 0,65 e 0,67 respectivamente. Já Borges Júnior et al., (2012), calibrando o parâmetro β para a microrregião de Garanhuns-PE encontrou valor de 0,76, mostrando que mesmo em regiões de alta umidade relativa do ar, parâmetro não considerado na equação, combinada com elevada velocidade do vento (3 m s^{-1}) pode ocorrer sub ou superestimativa de evapotranspiração calculada com Hargreaves-Samani em relação a PM.

O modelo original de HS subestimou os valores de PM em todos os meses do ano, mostrando que seu uso na cidade de Petrolina poderia causar problemas no manejo da irrigação das culturas, já que a agricultura é a principal atividade econômica da cidade (Figura 1). Tanto a equação calibrada de HS quanto o Modelo Petrolina (MP) alcançaram resultados mais próximos da equação de PM, mostrando um comportamento oposto das equações durante o ano, que quando ocorre subestimativa em um no outro ocorre superestimativa, o que pode ter relação com as variações de umidade relativa e velocidade do vento.

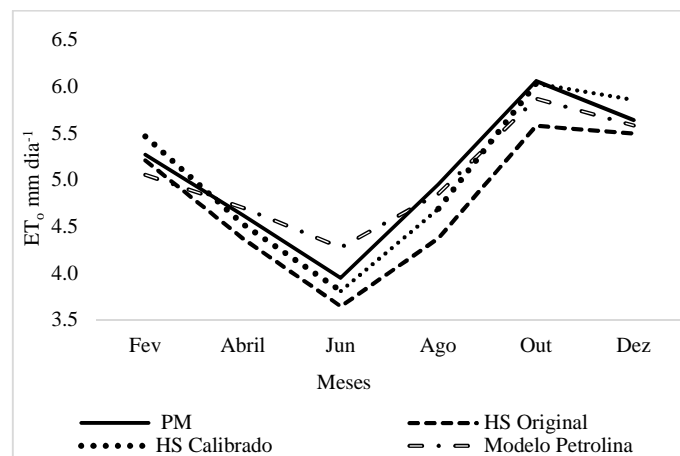


Figura 1 – Comparação dos modelos de estimativa de evapotranspiração de referência.

Na análise estatística (Tabela 1) segundo o índice de Willmott os modelos HS calibrados e o MP obtiveram ótimos resultados na estimativa da ET_0 com id variando de 0,972 a 0,974 para HS e MP, respectivamente. Resultado semelhante foi encontrado por Lima Junior et al. (2015) calibrando a equação de HS na cidade de Campina Grande-PB com um id de 0,963.

De acordo com o EPE, MP foi quem apresentou melhor desempenho em estimar a ET_0 com $0,166 \text{ mm dia}^{-1}$. Entre as equações analisadas HS original apresentou o valor de EPE mais elevado ($0,280 \text{ mm dia}^{-1}$). Todorovic et al., (2013) em estudo realizado em regiões semiáridas de países mediterrânicos registrou EPE de $0,520 \text{ mm dia}^{-1}$, bem maior do que o encontrado nesse trabalho.

Tabela 1 – Análise estatística dos modelos de estimativa da ET_o

Modelo	id	EPE	c
HS-Original	0,928	0,280	Muito Bom
HS-Calibrado	0,972	0,177	Ótimo
Modelo Petrolina	0,974	0,166	Ótimo

CONCLUSÕES

Para a cidade de Petrolina PE quando não houverem dados disponíveis para a utilização do modelo PenmanMonteith recomenda-se o uso do modelo calibrado de Hargreaves e Samani ou a equação empírica Modelo Petrolina, pois ambas apresentaram resultados satisfatórios em estimar a ET_o.

Já a utilização da equação de Hargreaves e Samani original apresentou erros de subestimativa da ET_o, evidenciando que não ocorreu adaptação da mesma ao local de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, L. P. DE; DELGADO, R. C.; ALMEIDA, T. S.; WANDERLEY, H. S. Comparação de diferentes métodos de estimativa diária da evapotranspiração de referência para a região de Uberaba. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 2, p. 337–343, 2011.

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

ARRAES, F. D. D.; ANDRADE, E. M. DE; PALÁCIO, H. A. D. Q.; FROTA JUNIOR, J. I.; SANTOS, J. C. N. DOS. Identificação dos íons determinantes da condutividade elétrica nas águas superficiais da bacia do Curu, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 3, p. 346–355, 2009.

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, n. 4, p. 380–390, 2012.

CHATZITHOMAS, C. D.; ALEXANDRIS, S. G. Solar radiation and relative humidity based, empirical method, to estimate hourly reference evapotranspiration. **Agricultural Water Management**, v. 152, p. 188–197, 2015.

FERNANDES, D. S., HEINEMANN, A. B., PAZ, R. L. F., & AMORIM, A. D. O. (2012) Calibração regional e local da equação de Hargreaves para estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 2, p. 246-255, 2012.

GONÇALVES, F. M., FEITOSA, H. O., CARVALHO, C. M., GOMES FILHO, R. R., & VALMIR JUNIOR, M. (2009). Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Sobral-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza-CE, v. 3, n. 2, p. 71-77, 2009.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. **American Society of Agricultural Engineers (Microfiche collection)(USA)**. no. fiche no. 85-2517., 1985.

LIMA JUNIOR, J. C. et al. Ajuste dos parâmetros da equação de Hargreaves e Samani para Campina Grande na Paraíba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS NATURAIS DO SEMIÁRIDO, 2., 2015, Quixadá, CE. **Anais...** Quixadá, CE: UFC, 2015. 5 p. Disponível em: <



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



http://sbrns.blogspot.com.br/p/blog-page_29.html#uds-search-results >. Acesso em: 20 de Maio de 2015.

NNASCIMENTO, P. T. et al. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Sete Lagoas, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 10., 2012, Londrina, PR. **Anais...** Londrina, PR: SBEA, 2012..

TODOROVIC, M.; KARIC, B.; PEREIRA, L. S. Reference evapotranspiration estimate with limited weather data across a range of Mediterranean climates. **Journal of Hydrology**, v. 481, p. 166–176, 2013.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical geography**, v. 2, n. 2, p. 184–194, 1981. Taylor & Francis.

WRAITH, J. M.; OR, D. **Nonlinear Parameter Estimation Using Spreadsheet Software**. Journal of Natural Resources and Life Sciences Education. **v. 27, p. 13–19, 1998.**