

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA MÉDIA EM REGIÃO SEMIÁRIDA DE PERNAMBUCO VIA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

Tatyana Keyty de Souza Borges¹, Aureo Silva de Oliveira², Neilon Duarte da Silva³, Lidaiane
Maria da Silva⁴

RESUMO: O modelo Penman-Monteith-FAO56 (PM56) é o mais indicado internacionalmente para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) em estudos de demanda hídrica de culturas irrigadas. Porém, este método requer muitas variáveis climáticas nem sempre disponíveis, especialmente em países que importam instrumentos meteorológicos, como o Brasil. No presente estudo, objetivou-se derivar modelos lineares simplificados com uma ou mais variáveis climáticas para estimativa da ET_o-PM56 em região semiárida de Pernambuco. Foram utilizados dados meteorológicos do período de 2011 a 2018 da localidade de Ouricuri, PE, (7°53' S, 40°06' W, 458 m). A ET_o média anual foi de 5,8 mm dia⁻¹ com mínimo no final do período chuvoso (abril/maio) e máximo no meio da primavera. Observou-se maior correlação entre a ET_o-PM56 e a variável déficit de pressão de saturação (DPV, kPa) com $r^2 = 0,89$, seguida da radiação solar (R_g, MJ m⁻² dia⁻¹), temperatura máxima (T_x, °C) e menor correlação com a velocidade do vento (U², m s⁻¹) e a temperatura mínima (T_n, °C), esta com r^2 de apenas 0,16. Quando se estima a ET_o-PM56 com base em DPV e T_x conjuntamente, o r^2 aumenta para 0,90 e o erro padrão da estimativa (SEE) é de 0,30 mm dia⁻¹. Quando se usa conjuntamente as variáveis DPV, T_x e R_g a melhoria é substancial com r^2 múltiplo de 0,96 e SEE igual a 0,19 mm dia⁻¹. Conclui-se que a ET_o-PM56 média no semiárido de Pernambuco pode ser estimada de forma confiável com apenas um termohigrômetro operando na estação meteorológica.

PALAVRAS-CHAVE: fluxo de calor latente; regressão linear; semiárido brasileiro

¹Profa. Doutora, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano (IF Sertão-PE) – Campus Ouricuri/PE, Estrada do Tamboril, S/N, CEP: 56200-000, e-mail: tatyana.borges@ifsertao-pe.edu.br.

² Prof. PhD, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Cruz das Almas, Bahia.

³ Doutorando, UFRB, PPGEA, Cruz das Almas, Bahia.

⁴ Graduanda, Curso Técnico Subsequente em Agropecuária, IF-Sertão-PE, Ouricuri, PE.

ESTIMATION OF MEAN REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN A SEMIARID REGION OF PERNAMBUCO THROUGH MULTIPLE LINEAR REGRESSION

ABSTRACT: The Penman-Monteith-FAO56 (PM56) model is the most recommended internationally for estimating reference evapotranspiration (ET_o) for irrigated crop water demand studies. However, this method requires many climate variables that are not always available, especially in countries that import meteorological instruments such as Brazil. The present study aimed to derive simplified linear models with one or more climatic variables to estimate the ET_o-PM56 in the semiarid region of Pernambuco. Weather data from 2011 to 2018 from Ouricuri, PE (7° 53' S, 40° 06' W, 458 m anm) were used. The average annual ET_o was 5.8 mm day⁻¹ with a minimum at the end of the rainy season (April / May) and a maximum in the middle spring. Higher correlation was observed between ET_o-PM56 and the saturation vapor pressure deficit variable (DPV, kPa) with $r^2 = 0.89$, followed by solar radiation (R_g, MJ m⁻² day⁻¹), maximum temperature (T_x, °C) and lower correlation with wind speed (U², m s⁻¹) and minimum temperature (T_n, °C), with r^2 multiple of only 0.16. When using DPV and T_x combined to estimate ET_o-PM56, r^2 increased to 0.90 and the standard error of the estimate (SEE) was 0.30 mm day⁻¹. When using the variables DPV, T_x and R_g together, the improvement was substantial with r^2 multiple of 0.96 and SEE equal to 0.19 mm day⁻¹. It can be concluded that the mean ET_o-PM56 in semiarid of Pernambuco can be reliably estimated with only one thermo hygrometer operating at the weather station.

KEYWORDS: latent heat flux; linear regression; Brazilian semiarid

INTRODUÇÃO

O conhecimento da evapotranspiração (ET) em áreas agrícolas é essencial ao adequado manejo da água na agricultura (Jensen & Allen, 2016), principalmente em regiões áridas e semiáridas, onde estimativas precisas e confiáveis da ET são imprescindíveis para o máximo de rendimento por unidade de lâmina d'água aplicada.

O método de Penman-Monteith modificado pela FAO (Allen et al., 1998) é o mais indicado, internacionalmente para estimativa da ET_o, entendida como à quantidade de água que uma superfície com características específicas, denominada superfície de referência, transfere para a atmosfera, por unidade de área e de tempo. No modelo de Penman-Monteith FAO56 (PM56), a ET_o diária é basicamente função da temperatura e umidade relativa do ar,

velocidade do vento e radiação solar incidente. A coleta desses dados, no entanto, envolve um conjunto de instrumentos relativamente caros tanto para aquisição quanto para operação e manutenção. É desejável, portanto, que a ETo-PM56 possa ser obtida, com precisão, por meio de um mínimo de instrumentos.

Ao lado do modelo PM56, mais elaborado fisicamente, existem outros que utilizam menor número de variáveis climáticas (Fisher & Pringle III, 2013). Todos, no entanto, requerem dados de boa qualidade coletados por instrumentos devidamente calibrados. Uma outra opção é a utilização de modelos de regressão linear múltipla que permitem a estimativa da ETo-PM56 com mínimo erro (Valiantzas, 2013; Djaman et al., 2016). Estes últimos pretendem ser modelos universais e tipicamente se apresentam na forma de extensas equações.

Com aplicação no planejamento de uso e manejo de recursos hídricos em escala regional, a ETo média baseada no modelo PM56 pode ser facilmente estimada com precisão, uma vez que a ETo diária obedece a um padrão médio anual previsível, tipicamente com máximos no verão e mínimos no inverno. Para isso, podem ser utilizados modelos de regressão linear múltipla com uma ou mais variáveis independentes. Um dos inconvenientes dessa alternativa baseada na ETo média é a dificuldade em se capturar a variabilidade interanual da ETo, por isso tais modelos de regressão não são indicados para o manejo da irrigação na propriedade agrícola.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi derivar para o semiárido de Pernambuco, modelos de regressão linear múltipla para estimativa da ETo-PM56 média a partir de uma ou mais variáveis independentes, bem como avaliar os erros associados a cada opção de regressão.

MATERIAL E MÉTODOS

Esse estudo baseou-se em dados de 2011 a 2018 coletados na estação meteorológica automática INMET-A366 localizada no campus do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, em Ouricuri, PE (7°53' S e 40°06' W, 458 m). O município de Ouricuri possui clima semiárido, do tipo BSh (classificação de Köppen), com longos períodos de estiagem (7 a 8 meses) (Arruda, 2012).

Inicialmente os dados horários foram convertidos para hora local e, em seguida, agrupados para médias e totais diários. Na sequência, obteve-se o ano médio do período para

as variáveis temperatura máxima (T_x , °C) e mínima do ar (T_n , °C); umidade relativa máxima (UR_x , %) e mínima do ar (UR_n , %); velocidade do vento a 2 m de altura (U_2 , $m\ s^{-1}$) e radiação solar global (R_g , $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$). Calculou-se a ET_o com uso da equação PM56 (Eq. 1) (Allen et al., 1998). Detalhes sobre o cálculo de cada um dos termos da Eq. (1) podem ser obtidos de Allen et al. (1998) e ASCE (2005).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_m + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (1)$$

Em que,

ET_o - ET de uma superfície de referência hipotética, $mm\ dia^{-1}$

Δ - inclinação da reta tangente à curva de pressão de saturação de vapor de água (vpd) em função da temperatura do ar, $kPa\ ^\circ C^{-1}$

R_n - saldo diário de radiação, $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$

G - fluxo diário de calor no solo, $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ ($G = 0$)

γ - constante psicrométrica, $kPa\ ^\circ C^{-1}$

T_m - temperatura média do ar, °C

U_2 - velocidade média do vento a 2 m de altura, $m\ s^{-1}$

e_s - pressão de saturação de vpd, kPa

e_a - pressão atual de vapor do ar, kPa

Com os valores médios das variáveis meteorológicas e da ET_o procedeu-se a análise de regressão, inicialmente expressando-se a ET_o em função de cada uma das variáveis individualmente, para se avaliar o grau de correlação entre elas. Na sequência, e por meio do programa estatístico Systat v. 11 (Systaty Software, Inc.) regressão linear múltipla foi utilizada para se avaliar o ajuste entre a ET_o e mais de uma variável climática como estimadores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra o curso anual da ET_o diária média em Ouricuri, PE, no período de 2011 a 2018, totalizando oito anos, bem como a correlação entre a ET_o média e as variáveis climáticas utilizadas como *inputs* na equação PM56 (Eq. 1).

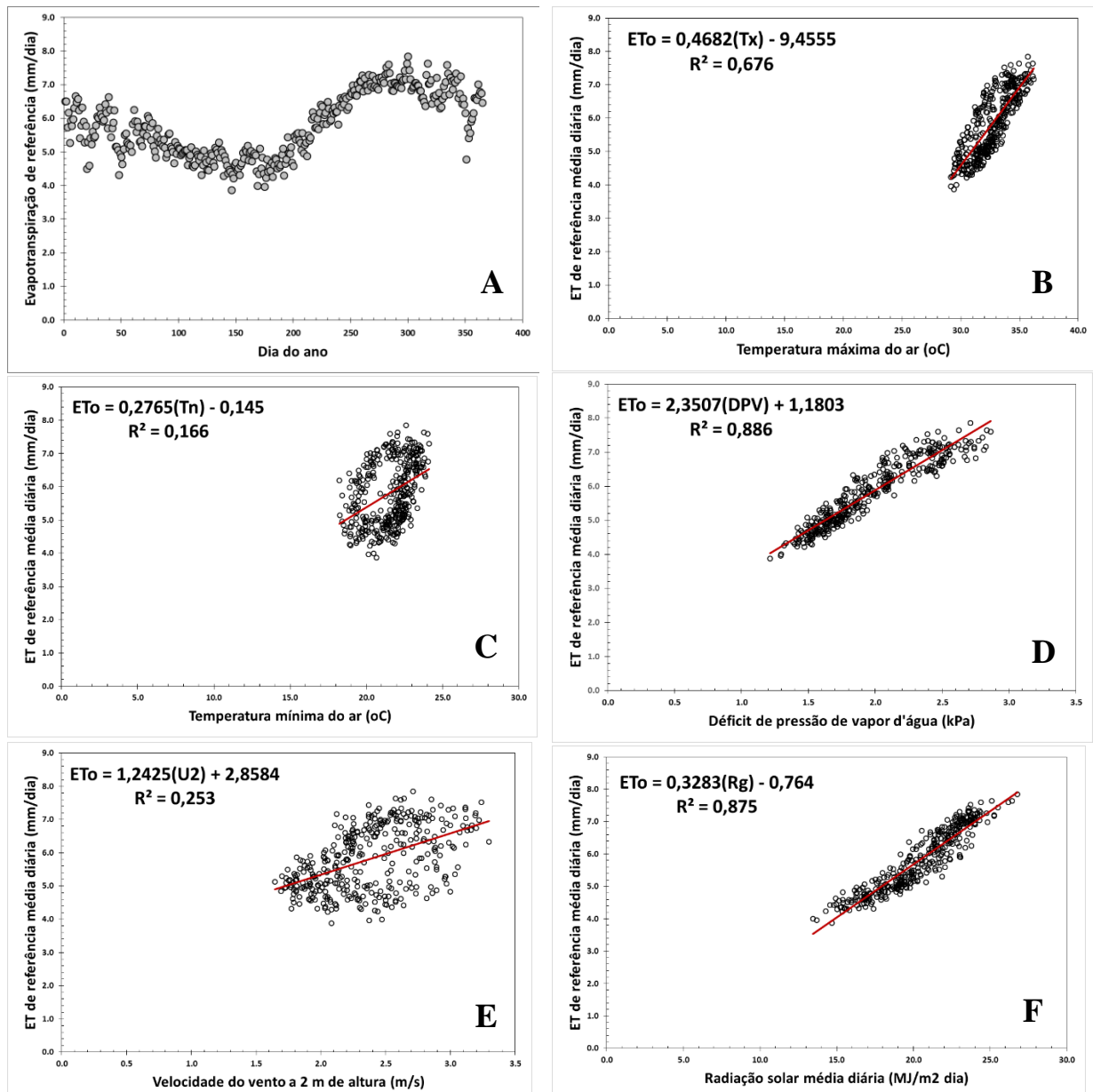


Figura 1. Curso anual da ETo média segundo a equação de PM56 (A) e correlação entre a ETo média e as variáveis climáticas temperatura máxima do ar Tx (B), temperatura mínima do ar Tn (C), déficit de pressão de vapor d'água DPV (D), velocidade do vento a 2 m de altura U2 (E) e radiação solar global Rg (F).

No período de oito anos, a média aritmética anual dos valores diários da ETo foi de 5,8 mm dia⁻¹, oscilando entre 3,9 a 7,9 mm dia⁻¹. As chuvas em Ouricuri concentram-se de janeiro a abril, com total mensal máximo de 150 mm em março. A Figura 1A mostra ETo mínima ao final do período chuvoso (outono/inverno), quando a temperatura do ar também é mínima e a UR anual é máxima.

A Figura 1D evidencia que o DPV é o melhor estimador da ETo média em Ouricuri, PE, com coeficiente de determinação (r^2) de aproximadamente 0,89, seguido das variáveis Rg ($r^2 = 0,87$) e Tx ($r^2 = 0,68$). Segundo o critério do r^2 , as variáveis U₂ e Tn apresentaram em correlações mais fracas com a ETo média, com r^2 iguais a 0,25 e 0,17, respectivamente.

A Figura 1 sugere que com apenas o DPV é possível estimar a ETo-PM56 média com alto grau de confiabilidade. Nesse caso, basta um termohigrômetro em operação na estação meteorológica. Considerando que este instrumento também fornece a temperatura do ar, a qualidade da estimativa pode ser ainda melhor com o uso da Eq. (2) [regressão linear múltipla, r^2 múltiplo = 0,90 e erro padrão da estimativa (SEE) = 0,30 mm/dia].

$$EToPM56 = 5,67 + 3,09(DPV) - 0,18(Tx) \quad (2)$$

Colocando em operação um piranômetro, o modelo da Eq. (2) melhora significativamente, pois diferente da temperatura máxima Tx, a variável Rg isoladamente (Figura 1F) mostrou-se ser um estimador de maior confiabilidade da ETo-PM56 média. Com a inserção de Rg o r^2 múltiplo aumentou para 0,962 e o SEE diminuiu para 0,19 mm/dia. O novo modelo de regressão linear múltipla é apresentado na Equação (3).

$$EToPM56 = 4,99 + 2,11(DPV) - 0,21(Tx) + 0,18(Rg) \quad (3)$$

Nas Eqs. (2) e (3), as variáveis EToPM56, DPV, Tx e Rg tem unidades de mm dia⁻¹, kPa, °C e MJ m⁻² dia⁻¹.

CONCLUSÕES

Os resultados permitem concluir que (a) O uso combinado de DPV com a variável temperatura máxima (Tx, °C) resultou num modelo de regressão linear múltipla mais eficaz em relação ao modelo linear simples com apenas DPV e (b) a ETo-PM56 média diária pode ser estimada de forma confiável com apenas um termohigrômetro operando na estação meteorológica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO. 1998. 333p. (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56)

ARRUDA, K.E.C. Mapeamento geomorfológico da folha Ouricuri – Pernambuco, através da utilização de softwares de geoprocessamento. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, p. 1046-1055.

ASCE-EWRI (2005). The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Reston, VA: ASCE. 2005. 204 p.

DJAMAN, K.; IRMAK, S.; KABENGE, I.; FUTAKUCHI, K. Evaluation of FAO-56 Penman-Monteith model with limited data and the Valiantzas models for estimating grass-reference evapotranspiration in Sahelian conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 142, n. 11, 2016.

FISHER, D.K.; PRINGLE III, H.C. Evaluation of alternative methods for estimating reference evapotranspiration. *Agricultural Sciences*, v. 4, n. 8A, p. 51-60, 2013.

JENSEN, M.E.; ALLEN. R.G. Evaporation, evapotranspiration, and irrigation water requirements. 2nd ed. Reston, VA: ASCE. 2016. 769p. (ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 70).

VALIANTZAS, J.D. Simple ETo forms of Penman's equation without wind and/or humidity data. I: Theoretical development. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 139, n. 1, p. 1-8, 2013.

JENSEN, M.E.; ALLEN. R.G. Evaporation, evapotranspiration, and irrigation water requirements. 2nd ed. Reston, VA: ASCE. 2016. 769p. (ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 70).