

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA EQUAÇÃO FAO56 PENMAN-MONTEITH A VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NO SERTÃO DE PERNAMBUCO

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

RESUMO: A sensibilidade da evapotranspiração de referência (ET_o) calculada por meio da equação de Penman-Monteith modificada pela FAO56 (PM56) a alterações nas variáveis climáticas temperatura máxima (T_x) e mínima do ar (T_n), velocidade do vento a 2 m de altura (U₂), radiação solar global (R_g) e déficit de pressão de vapor d'água (DPV) foi avaliada no presente estudo. Dados meteorológicos do período de 2011 a 2018 da localidade de Ouricuri, PE, (7°53' S, 40°06' W, 458 m anm) foram utilizados. A análise de sensibilidade foi feita com o ano médio e consistiu em se calcular a magnitude da variação da ET_o em função de alterações nas variáveis climáticas em incrementos e decrementos de 4% até 20%. As variáveis foram alteradas individualmente e os efeitos avaliados. Em Ouricuri, a ET_o-PM56 revelou-se mais sensível a mudanças em T_x com coeficiente de sensibilidade de 0,039 mm/%, seguida de mudanças em DPV (0,027 mm/%) e R_g (0,025 mm/%) e menos sensível à mudanças em U₂ (0,018 mm/%) e T_n (0,004 mm/%). Embora os resultados não tenham sido baseados a partir de mudanças reais nas variáveis, mas por perturbações previamente estabelecidas nas variáveis, eles fornecem uma perspectiva do impacto e a magnitude no efeito da ET_o no futuro.

PALAVRAS-CHAVE: evaporação; métodos combinados de ET; semiárido brasileiro

SENSITIVITY ANALYSIS OF THE FAO56 PENMAN-MONTEITH EQUATION TO CLIMATIC VARIABLES IN THE SEMIARID OF PERNAMBUCO

ABSTRACT: The sensitivity of reference evapotranspiration (ET_o) calculated by the FAO56-modified Penman-Monteith equation (PM56) to changes in the climate variables maximum

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.

temperature (T_x) and minimum air temperature (T_n), wind speed at 2 m height (U_2), global solar radiation (R_g) and water vapor pressure deficit (DPV) were evaluated in the present study. Weather data from 2011 to 2018 from Ouricuri, PE ($7^{\circ}53'S$, $40^{\circ}06'W$, 458 m anm) were used. Sensitivity analysis was performed over the average year and consisted of calculating the magnitude of the ET_o change due to changes in climate variables through increments and decrements from 4% to 20%. The variables were individually changed and the effects evaluated while the others remained constant. In Ouricuri, the ET_o -PM56 was more sensitive to changes in T_x with a sensitivity coefficient of 0.039 mm/%, followed by changes in DPV (0.027 mm /%) and R_g (0.025 mm/%) and less sensitive to changes in U_2 (0.018 mm/%) and T_n (0.004 mm/%). Although the results were not based on actual changes but on artificial perturbations in the variables, they provide insight into the impact and magnitude of climate change scenarios on ET_o .

KEYWORDS: evaporation; ET combination methods; Brazilian semiarid

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração, ET (evaporação + transpiração) é um dos componentes hidrológicos susceptíveis a grande variabilidade tanto temporal quanto espacial e o conhecimento do fluxo de ET de culturas agrícolas é essencial ao adequado manejo da água na agricultura (Jensen & Allen, 2016). Principalmente em regiões áridas e semiáridas, estimativas precisas e confiáveis da ET das culturas é imprescindível para se garantir o máximo de rendimento por unidade de lâmina d'água aplicada.

O método de Penman-Monteith modificado pela FAO conforme publicado no *FAO Irrigation and Drainage Paper 56* (Allen et al., 1998) é o mais indicado, internacionalmente, para estimativa da ET_o . 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. Os efeitos relativos dessas variáveis climáticas sobre a ET_o tem sido investigados via diferentes abordagens de análise de sensibilidade (McCuen, 1974; Irmak et al., 2006; Koudahe et al., 2018). Um dos benefícios da análise de sensibilidade, nesse contexto, é investigar impactos de mudanças climáticas futuras sobre a magnitude da evaporação e evapotranspiração e, por conseguinte, sobre a disponibilidade de recursos hídricos para irrigação.

O objetivo desse estudo foi avaliar a sensibilidade da equação PM56 a variáveis climáticas numa localidade do semiárido nordestino, quando perturbações em níveis decrescentes e crescentes são aplicadas às referidas variáveis. É importante frisar a ausência de informações dessa natureza no território brasileiro, com ênfase no nordeste semiárido.

MATERIAL E MÉTODOS

Esse estudo baseia-se em dados de 2011 a 2018 da estação meteorológica automática INMET-A366 (www.inmet.gov.br) 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 ann) foram utilizados. 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 (Tx, °C) e mínima do ar (Tn, °C); umidade relativa máxima (URx, %) e mínima do ar (URn, %); velocidade do vento a 2 m de altura (U₂, m s⁻¹) e radiação solar global (Rg, MJ m⁻² dia⁻¹). Na planilha SAETo (*Sensitivity Analysis of ET*) calculou-se a ET_o com uso da equação PM56 (Eq. 1) (Allen et al., 1998) e procedeu-se a análise de sensibilidade da mesma às alterações nas variáveis climáticas. Detalhes sobre o cálculo de cada um dos termos da Eq. (1) podem ser obtidos de Allen et al. (1998).

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

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 °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 °C⁻¹

T_m - temperatura média do ar, °C

U₂ - velocidade média do vento a 2 m de altura, m s⁻¹

es - pressão de saturação de vpd, kPa

ea - pressão atual de vapor do ar, kPa

A ETo estimada com os dados meteorológicos inalterados do ano médio é aqui denominada ETo base (ET_{ob}). A sensibilidade da equação PM56 foi avaliada a partir de alterações nas variáveis climáticas Tx, Tn, U₂, Rg e DPV (déficit de pressão de vpd, kPa). A análise de sensibilidade consistiu em se aplicar incrementos/decrementos de 4% a cada variável enquanto se mantinha as demais constantes, obtendo-se, assim, uma nova ETo para cada nível, totalizando no final 50 novas séries de ETo. Por exemplo, após aumentar o valor de uma das variáveis em 4%, recalculava-se a ETo para se obter a ETo_(+4%) e em seguida a diferença $\Delta ETo = ETo_{(+4\%)} - ET_{ob}$.

Com a variação em ETo (ΔETo) a partir da alteração percentual imposta à variável climática obtinha-se o coeficiente de sensibilidade da ETo (CS) (Eq. 2) (Irmak et al., 2006):

$$CS = \frac{\Delta ETo}{\Delta VC} \left(\frac{mm}{\%} \right) \quad (2)$$

Em que,

CS - coeficiente de sensibilidade da ETo estimada pela equação PM56 (Eq. 1)

ΔETo - variação da ETo devido à alteração percentual ΔVC ($\pm 4\%$, $\pm 8\%$, $\pm 12\%$, $\pm 16\%$, $\pm 20\%$) aplicada sobre a variável climática.

Após a determinação de valores diários de CS, em cada nível percentual, obteve-se o valor médio anual ($\sum \Delta ETo / 365$), resultando, portanto, em dez pares ordenados (ΔVC , ΔETo_{om}). Com esses pares ordenados, procedeu-se à análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dados climáticos e ETo média

A análise aqui feita é baseada no ano médio representativo do período 2011 a 2018. No semiárido Ouricuri, PE, a Rg média foi de 20,3 MJ m⁻² dia⁻¹. A temperatura Tx (36,2 °C a 29,2 °C) variou mais que a temperatura Tn (24,1 °C a 18,2 °C). A temperatura média anual na região foi de 27,0 °C. A umidade relativa URx variou de 90,6% a 63,4% e URn de 46,9% a 19,4%. A

velocidade média anual U_2 foi de $2,4 \text{ m s}^{-1}$ e o DPV médio de 2 kPa , oscilando entre $2,7$ e $1,2 \text{ kPa}$. A diferença entre a pressão de vpd na superfície evaporante e o ar circundante é fator determinante para remoção de vpd (Debnath et al., 2015). A ET_{ob} média anual em Ouricuri foi de $5,8 \text{ mm dia}^{-1}$, variando de $3,9$ a $7,9 \text{ mm dia}^{-1}$.

Análise de sensibilidade

A magnitude das alterações nas variáveis climáticas sobre a ET_o mostrou-se muito diferente entre as variáveis climáticas, como mostram a Figura 1 e a Tabela 1, onde o CS médio é dado pela inclinação da reta de regressão. A ET_o -PM56 mostrou-se mais sensível a alterações na variável T_x , seguida das variáveis DPV, Rg, U_2 e, menos sensível à variável T_n .

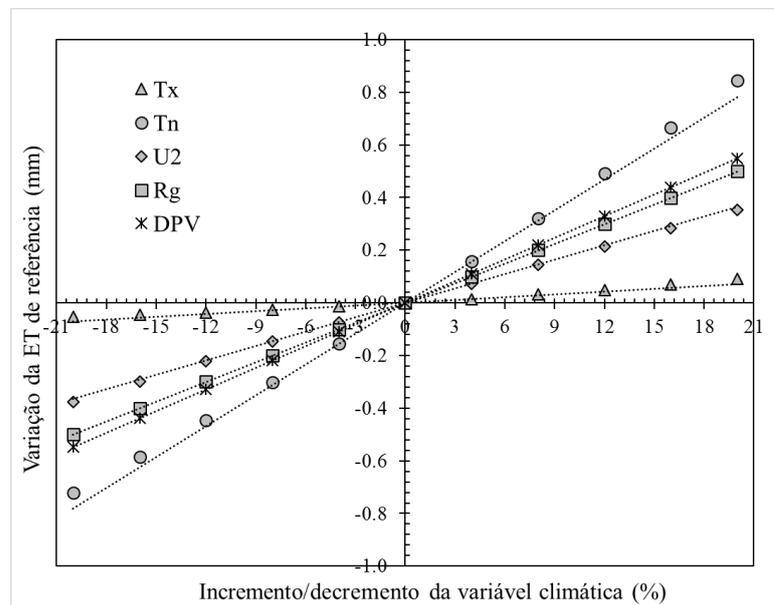


Figura 1. Variação sobre a ET_o -PM56 devido a incrementos e decrementos de $\pm 4\%$ até $\pm 20\%$ sobre as variáveis climáticas T_x , T_n , U_2 , Rg e DPV, em Ouricuri/PE.

Os resultados mostram que mudanças na ET_o relacionaram-se linearmente com alterações em todas variáveis climáticas (Debnath et al, 2015). Os incrementos de 4, 8, 12, 16 e 20% aplicados à variável T_x (maior CS na Tabela 1), por exemplo, resultaram em aumentos médios de $1,3$, $2,6$, $3,9$, $5,2$ e $6,5^\circ\text{C}$ em relação à T_x base, correspondendo a aumentos médios de $0,16$, $0,32$, $0,49$, $0,67$ e $0,85 \text{ mm}$ na ET_{ob} , respectivamente.

Tabela 1. Sensibilidade média da ETo-PM56 a alterações nas variáveis climáticas no município de Ouricuri, PE, para o ano médio que corresponde o período de 2011-2018.

Variável climática	Inclinação (mm/%)	R ²
Tx	0,039	0,9955
Tn	0,004	0,9491
U ₂	0,018	0,9993
Rg	0,025	1,0000
DPV	0,027	1,0000

Diferente de Ouricuri, PE, em região semiárida da Índia, a ETo foi mais sensível à variável Rg (Debnath et al., 2015). Os autores também encontraram a ETo ser menos sensível a Tn e umidade relativa média. Irmak et al. (2006) observaram que depois do DPV, a ETo foi mais sensível nos meses de verão à variável U₂ nas regiões semiáridas dos Estados Unidos (Clay Center, NE e Bushland, TX). Para o ano médio (2011-2018) de Ouricuri, U₂ foi a quarta variável mais influente, ficando à frente apenas de Tn. Borges (2017) ressalta que a velocidade do vento e o DPV são os principais responsáveis pela evaporação da água de reservatórios no período noturno. Na Espanha, a ETo foi afetada principalmente pela UR, U₂ e Tx, e menos pela variável Rg e Tn (Vicente-Serrano et al., 2014). Os autores concluíram que a componente aerodinâmica da equação PM56 provavelmente tem mais importância que o componente radiativo em determinar a demanda evaporativa atmosférica na área de estudo.

CONCLUSÕES

Os resultados permitem concluir que (a) variações na ETo relacionaram-se linearmente com alterações a incrementos constantes em todas as variáveis climáticas consideradas e (b) a ETo do ano médio (2011-2018), em Ouricuri, PE, revelou-se mais sensível à alterações na temperatura máxima do ar, seguida do déficit de pressão de vapor d'água, radiação solar global, velocidade do vento a 2 m de altura e menos sensível à temperatura mínima do ar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO. 1998. 333 p. (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.

BARRY, R.G.; CHORLEY, R.J. *Atmosphere, weather and climate*. Routledge: New York. 9ed. 2010. 532 p.

IRMAK, S.; PAYERO, J.O.; MARTIN, D.; IRMAK, A.; HOWELL, T.A. Sensitivity analyses and sensitivity coefficients of standardized daily ASCE-Penman-Monteith equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 132, n. 6, p. 564-578, 2006.

DEBNATH, S.; ADAMALA, S.; RAGHUWANSHI, N.S. Sensitivity analysis of FAO-56 Penman-Monteith method for different agro-ecological regions of India. *Environmental Processes*, v. 2, p. 689-704, 2015.

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).

KOUDAHE, K.; DJAMAN, K.; ADEWUMI, J. K. Evaluation of the Penman-Monteith reference evapotranspiration under limited data and its sensitivity to key climatic variables under humid and semiarid conditions. *Modeling Earth Systems and Environment*, v. 4, n. 3, p. 1239-1257, 2018.

McCUEN, R.H. A sensitivity and error analysis of procedures used for estimating evapotranspiration. *Water Resources Bulletin*, v. 10, n. 3, p. 486-498, 1974.

VICENTE-SERRANO, S.M.; AZORIN-MOLINA, C.; SANCHEZ-LORENZO, A.; REVUELTO, J.; MORÁN-TEJEDA, E.; LÓPEZ-MORENO, J.I.; ESPEJO, F. Sensitivity of reference evapotranspiration to changes in meteorological parameters in Spain (1961-2011). *Water Resources Research*, v. 50, p. 8458-8480, 2014.