

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERENCIA POR DIFERENTES MÉTODOS PARA O MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE-PB

DENIS MIRANDA LOPES^{1*}; PÉRICLES DE FARIAS BORGES²; IZAIAS ROMÁRIO SOARES DO NASCIMENTO³; IGOR REVELLES GOMES LUNA⁴; MACIEL ROCHA DA SILVA⁵

¹ Graduando em Agronomia, UFPB, campus II, CCA Areia-PB. denismirandalopes@gmail.com

² Docente da Universidade Federal da Paraíba. Campus II. CCA. Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais. Setor de Matemática e Estatística. Areia-PB.

³ Graduando em Agronomia, UFPB, campus II, CCA Areia-PB. izaias.agronomia@gmail.com

⁴ Graduando em Agronomia, UFPB, campus II, CCA Areia-PB. revellesigor@yahoo.com.br

⁵ Graduando em Agronomia, UFPB, campus II, CCA Areia-PB. macielr87@gmail.com

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016
29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

RESUMO: Devido à dificuldade de medir diretamente a evapotranspiração, muitos métodos foram desenvolvidos utilizando as variáveis climáticas para estimativa da ET_0 , métodos empíricos de aplicação mais simples, é de grande significância, tendo em vista que se tem grandes déficits hídricos ao longo do ano. Este trabalho teve por finalidade analisar o grau de precisão de três métodos empíricos de estimação da ET_0 , correlacionando com o método Penman-Monteith, para cidade de Campina Grande-PB no ano de 2012, indicando qual o mais preciso. Os valores de evapotranspiração de referência (ET_0), foram estimados pelas equações de Penman-Monteith, Jensen, Hargreaves, e Hamon utilizando dados climáticos da estação do INMET. Os dados foram submetidos a análise de regressão linear e para se determinar o método alternativo de maior ajuste ao método padrão, foi utilizado os parâmetros: coeficientes de determinação (R^2); índice de concordância (d), Índice de correlação de Pearson (r) e índice de confiabilidade (c). De acordo com os resultados expostos, pôde ser observado que o método de Jensen foi o que demonstrou maior precisão, sendo indicado sua utilização para estimava da evapotranspiração de referência. O método de Hamon apresentou os piores índices não se ajustando ao método padrão.

PALAVRAS-CHAVE: Precisão, Penman-Monteith, Estimativa, Correlação

EVAPOTRANSPIRATION REFERENCE ESTIMATES FROM DIFFERENT METHODS FOR CAMPINA GRANDE CITY.

ABSTRACT: Because of the difficulty to measure the evapotranspiration, many methods have been developed using climate variables to estimate the ET_0 , empirical methods of simple application, shows great significance, due the large water deficits throughout the year. This study aimed to analyze the accuracy of three empirical methods of estimating ET_0 , correlating with the Penman-Monteith method for the city of Campina Grande-PB in 2012, indicating the most accurate method. The evapotranspiration data of reference (ET_0) were estimated by the Penman-Monteith equation, Jensen, Hargreaves, and Hamon using weather data from INMET station. The data were subjected to linear regression analysis and to determine the alternative method that was most adjustable to the standard method were used parameters: correlation coefficients (R^2); agreement index (d), Pearson correlation index (r) and reliability index (c). According to the results, it could be observed that the Jensen method demonstrated greater accuracy, being indicated its use for estimating reference evapotranspiration. The Hamon method showed the worst indexes, don't being adjusted to the standard method.

KEYWORDS: Accuracy, Penman-Monteith, Estimate, Correlation

INTRODUÇÃO

Devido à dificuldade de medir diretamente a evapotranspiração, muitos métodos foram desenvolvidos utilizando as variáveis climáticas para estimativa da ET_0 e que tratam de uma cultura hipotética com altura de 12 cm, resistência aerodinâmica da superfície 70 s m^{-1} e albedo de 23%. Um desses métodos é o de Penman-Monteith, que é aceito pela FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura) como método padrão, devido a utilização de grande número de variáveis climáticas o que atribui uma maior precisão na estimativa diária. Porém, o fato de ser um método onde se utiliza grande número de variáveis o torna um método pouco viável pois é necessário a disponibilidade de todos esses dados, sendo mais utilizados em estações experimentais (Fanaya Junior, 2011).

Em certas regiões da Paraíba, principalmente em áreas secas onde se aproximam da semiaridez a quantificação da evapotranspiração por métodos empíricos que utilizem uma menor quantidade de variáveis climáticas e que sejam de aplicação mais simples, é de grande significância, tendo em vista que se tem grandes déficits hídricos ao longo do ano, que é grande empecilho à produção agrícola sendo um permanente risco (De An Henrique, 2007).

Este trabalho teve por finalidade analisar o grau de precisão de três métodos empíricos de estimativa da ET_0 , correlacionando com o método Penman-Monteith, para cidade de Campina Grande-PB no ano de 2012, indicando qual o mais preciso.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado utilizando valores de evapotranspiração de referência (ET_0) diária para o ano de 2012 na cidade de Campina Grande, os quais foram estimados pelas equações de Penman-Monteith (Eq.1), Jensen (Eq.2), Hargreaves (Eq.3), e Hamon (Eq.4), que utilizaram dados climáticos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da estação meteorológica localizada na cidade de Campina Grande-PB.

Método de Penman-Monteith

É o método considerado como padrão pela FAO, pois é o método que apresenta grande precisão na estimativa de ET_0 pelo fato de usar grande número de variáveis climáticas no seu cálculo. É descrita pela seguinte relação:

$$ET_0 = \frac{0,408\lambda \left[R_n - G \right] \frac{900}{T_{med} + 273} U_{2m} e_s - e_a}{\lambda + 1 + 0,34U_{2m}} \quad (1)$$

Em que: ET_0 = evapotranspiração de referência diária (mm); R_n = saldo de radiação à superfície (MJ m^{-2}); G = fluxo de calor no solo (MJ m^{-2}), considerado nulo para período diário; T_{med} = temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$); U_{2m} = velocidade média diária do vento a 2 metros de altura (m s^{-1}); e_a = pressão parcial do vapor d'água (kPa) média diária; e_s = pressão de saturação do vapor d'água (kPa) média diária; λ = inclinação da curva de pressão de saturação de vapor d'água ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); ρ = é o fator psicrométrico ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); 900 = um fator de conversão;

Método de Jensen

Método desenvolvido para realizações de trabalhos nas regiões semiáridas americanas, onde foi proposta a seguinte relação.

$$ET_0 = R_s \cdot (0,025T + 0,078) \quad (2)$$

Em que: ET_0 = evapotranspiração de referência obtida com o método de Jensen (mm dia^{-1}); R_s = radiação solar ao nível do solo (MJ m^{-2}); T = temperatura média do período ($^{\circ}\text{C}$).

Método de Hargreaves

O método proposto de Hargreaves é uma alternativa para situações em que não se têm dados medidos de radiação solar à superfície, umidade relativa do ar e velocidade do vento:

$$ET_0 = 0,0023R_o (T_{máx} - T_{mín})^{0,5} \cdot (T + 17,8) \quad (3)$$

Em que: ET_0 = evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); R_o = radiação solar extraterrestre ou no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); $T_{\text{máx}}$ = temperatura máxima diária ($^{\circ}\text{C}$); $T_{\text{mín}}$ = temperatura mínima diária ($^{\circ}\text{C}$)

Método de Hamon:

Esse método é influenciado pela altitude, pois nele inclui o efeito de insolação que vai ser incorporado durante dia e utiliza dados de temperatura do ar para obter a pressão de vapor de saturação.

$$ET_0 = 0,55 \frac{N}{12} \frac{4,95 \exp^{0,062t}}{100} + 25,4 \quad (4)$$

Em que: ET_0 = Evapotranspiração de Referencia (mm dia^{-1}); N = Foto período (h).

Análise dos dados

Os dados foram submetidos a análise de regressão linear entre os métodos alternativos de Jensen-Haise, Hargreaves-Samani e Hamon com o método de Penman-Monteith, utilizando as estimativas da evapotranspiração de referência. A partir das análises, determinou-se a relação funcional, $f(x) = a + bx$ (a - coeficiente de linear e, b - coeficiente angular), entre cada um dos métodos alternativos e o método padrão. Baseado na relação funcional, estimou-se a evapotranspiração de referência de Penman-Monteith em função do método alternativo.

Para se determinar o método alternativo de maior ajuste ao método padrão, foi utilizado os parâmetros: coeficientes de determinação (R^2); índice de concordância (d) (Eq.5); (Índice de correlação de Pearson (r)) (Eq.6); e índice de confiabilidade (c) (Eq.7)

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - O| + |O_i - O|)^2} \quad (5)$$

Em que: d = índice de concordância proposto por Willmott; E_i = valores estimados na observação i ; O_i = variável observada na observação i e; O = média dos valores observados no período;

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (6)$$

Em que: r = índice de Pearson; x_i = valores observados na observação i ; \bar{x} = valor médio dos dados observados no período; y_i = valores estimados na observação i e; \bar{y} = valor médio dos dados estimados no período.

A confiabilidade das equações foi testada através do índice de confiança “ c ” proposta por Camargo e Sentelhas (1997) descrito da seguinte forma:

$$c = d \times r \quad (7)$$

Em que : c = índice de desempenho; d = índice de concordância proposto por Willmott; r = índice de Pearson.

A confiabilidade c , proposto por Camargo e Sentelhas (1997), é interpretado de acordo com os referidos autores pela tabela 1, demonstrando o desempenho de cada método.

Tabela 1. Avaliação do desempenho pelo índice “ c ”, Sentelhas e Camargo (1997).

Valor de c	Desempenho
$c > 85$	Ótimo
$0,76 < c < 0,85$	Muito Bom
$0,66 < c < 0,75$	Bom
$0,61 < c < 0,65$	Mediano
$0,51 < c < 0,60$	Sofrível
$0,41 < c < 0,50$	Mau
$\leq 0,40$	Péssimo

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 2, mostram os indicadores estatísticos da análise do coeficiente de determinação (R^2), índice de Concordância (d), Coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de desempenho e confiabilidade (c) da correlação dos modelos empíricos com o método padrão, Penman Monteith para o ano de 2012 na cidade de Campina Grande, PB.

Tabela 2: Indicadores estatísticos da correlação dos modelos empíricos com o método padrão, Penman Monteith para o ano de 2012 na cidade de Campina Grande, PB

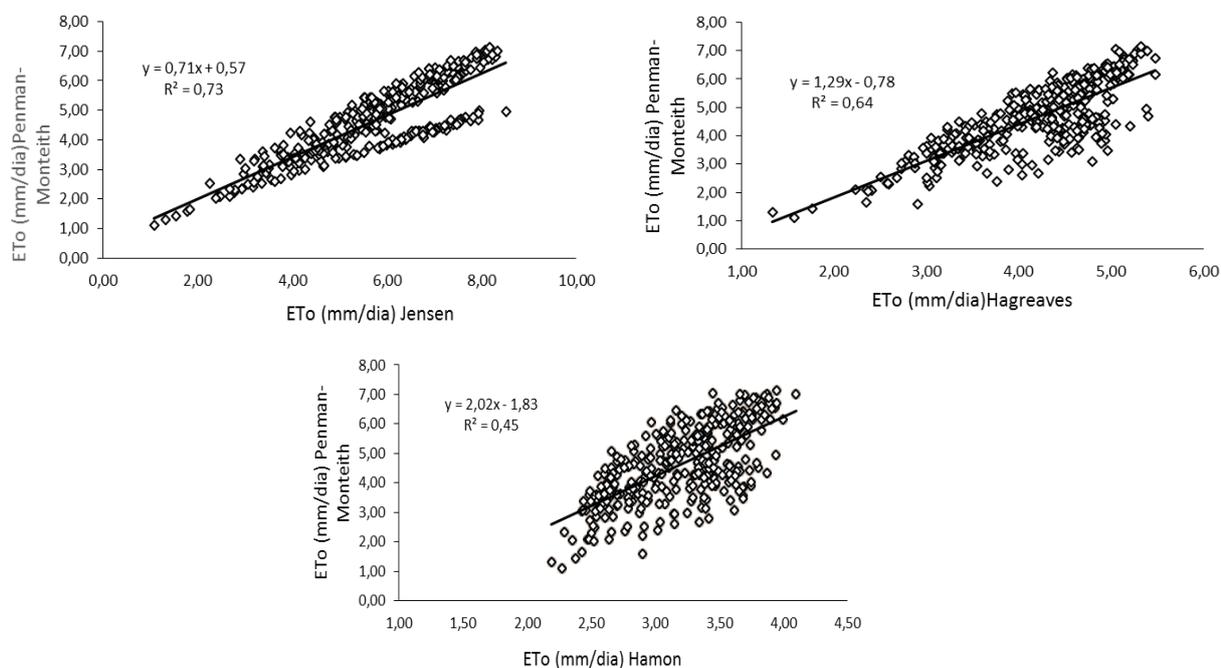
Método	R^2	d	R	C	Desempenho
Hamon	0,45	0,76	0,66	0,51	Sofrível
Jensen	0,73	0,91	0,85	0,78	Muito Bom
Hargreaveas	0,64	0,88	0,79	0,70	Bom

O método de Jensen foi o que mostrou melhor confiabilidade, apresentando um desempenho muito bom de acordo com o critério proposto por Camargo e Sentelhas (1997), com o valor de $c > 0,76$. O método de Hargreaves apresentou um bom desempenho com um índice de confiabilidade de $c > 0,66$. O que se mostrou com a confiabilidade mais baixa foi o método de Hamon, apresentando um desempenho sofrível, com o valor de $c < 0,60$.

De acordo com os resultados obtidos neste período analisado, o melhor método foi o de Jensen com o maior índice de concordância, $d = 0,91$, um considerável coeficiente de correlação, $r = 0,85$ e uma boa precisão apresentando maior coeficiente de determinação, $r^2 = 0,73$ (Fig.1), indicando que esse é o método que melhor se ajusta aos valores de ET_0 obtidos pelo método padrão, sendo recomendada a sua utilização para estimativa da ET_0 para cidade de Campina Grande.

Fanaya Junior (2011) relata a precisão do método de Jensen para regiões de clima árido e semiárido, clima no qual se enquadra a cidade de Campina Grande. Pereira et. al. (2009) constata resultados semelhantes, no qual, dos métodos analisados por ele, um dos melhores foi o de Jensen com um desempenho ótimo em períodos chuvosos, e muito bom em períodos secos

Figura 1: gráfico de dispersão da correlação entre o método de Penman-Monteith e os métodos empíricos de Jensen, Hargreaves e Hamon na cidade de Campina Grande-PB, no ano de 2012



O método de Hargreaves apresentou bom desempenho com índice de concordância de 0,88, coeficiente de correlação de 0,79 e um coeficiente de determinação de 0,64 (Fig.1). Esse método não é tão preciso quanto o método de Jensen, porém ele pode ser recomendado para estimativa da ET_0 com certa restrição ou ajuste para região.

Cunha (2013), analisando métodos de estimativa de E_{to} para Chapadão do Sul - MS obtve resultados parecidos, nos quais o método de Hargreave quando correlacionado com o método padrão apresentou índices de confiabilidade de 0,73 e sendo descrito com um desempenho bom e apresentando um índice de concordância de 0,83. Mendonça (2003) relata a boa adequação do método de Hargreaves quando se dispõe somente de dados de temperatura máxima e mínima, apresentando precisão para se estimar a E_{to} na região, sobretudo para períodos superiores a 7 e 10 dias.

O método de Hamon apresenta o menor índice de concordância, $d = 0,72$, porém, indicando que não há uma grande amplitude de erro nos resultados obtidos. O mesmo subestimou os valores de E_{to} obtidos pelo método padrão, com coeficiente de correlação mais baixo, $r = 0,66$, também não se mostrou com uma boa precisão se comparando com os resultados dos demais métodos com um coeficiente de determinação $r^2 = 0,45$, que também pode ser analisado pela dispersão dos pontos em relação a linha determinante no quadro da correlação com Hamon, na figura 1.

Segundo Borges (2007) a equação de Hamon subestima a E_{to} , sem tendência específica quanto à estação do ano. Fanaya Junior (2011) também observou usando correlação que, o método de Hamon subestima o valor da E_{to} para períodos secos quando comparadas com o método padrão.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados expostos, pôde ser observado que o método de Jensen foi o que demonstrou maior precisão na estimativa da E_{to} e um desempenho muito bom quando comparado com o método de Penman-Monteith, sendo indicado sua utilização para estimar a E_{to} na cidade de Campina Grande.

O método de Hargreaves é de simples utilização pois usa principalmente dados de temperatura do ar e pode ser utilizado com uma certa restrição ou um ajuste para região.

O método de Hamon apresentou os piores índices quando correlacionado com o método de Penman-monteith, não sendo indicado sua utilização para estimativa da E_{to} para a cidade de campina grande.

REFERÊNCIAS

- Pereira, D.R.; Yanagi, S.N.M.; Mello; C.R.; Silva, A.M.; Silva, L.A.
Desempenho de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Serra da Mantiqueira, MG. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, n.9, p. 2488-2493, 2009.
- Borges, AC de; Mendiondo, Eduardo 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.
- Fanaya Júnior, E.D. et al. Métodos empíricos para estimativa da evapotranspiração de referência para Aquidauana-MS. *Irriga*, v. 17, n. 4, p. 418, 2012.
- De An Henrique, F. D., Renilson T. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, v. 11, n. 6, 2007.
- Medeiros A.T. Estimativa da evapotranspiração de referencia a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Piraipaba, CE. 2002.103 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Piracicaba, SP.
- Mendonça, J.C.; Sousa, E.F.; Bernardo, S.; Dias, G.P.; Grippa, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (E_{to}) na região Norte Fluminense, RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.
- Cunha, F. F.; magalhães, Fernando Fagner; Castro, M. A. Métodos para estimativa da evapotranspiração de referência para Chapadão do Sul, MS. *Engenharia na agricultura*, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 159-172, 2013.
- De Carvalho, Luiz Gonsaga et al. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. *Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)*, v. 41, n. 3, p. DOI: 10.5216/pat. v41i3. 12760, 2011.
- Vescove, Humberto V.; Turco, José EP. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara-SP. *Engenharia Agrícola*, v. 25, n. 3, p. 713-721, 2005.
- Fernandes, D. S.; Heinemann, A. B.; Stone, L. F.; Estimativa da evapotranspiração de referência pela equação de hargreaves com calibração regional e local.

