

**Área de submissão:** (Recursos Hídricos; Engenharia Agrícola; Climatologia; Tecnologia Rural)

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA POR  
DIFERENTES MÉTODOS PARA O MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA,  
PARAÍBA**

Denis Miranda Lopes<sup>1</sup>, Nardiele de Souza Souto Freitas<sup>1</sup>, Inara da Silva Araujo<sup>1</sup>, Victor Coelho do Nascimento<sup>1</sup>, Péricles de Farias Borges<sup>2</sup>, Lazaro de Souto Araujo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Paraíba – UFPB/Campus II, Areia-PB, e-mail: denismlopes96@gmail.com

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

**Fonte de Financiamento:** CAPES/CNPQ/UFPB

## RESUMO

A evapotranspiração de referência é uma ferramenta muito importante na determinação de disponibilidade de recursos hídricos e caracterização climática. Para facilitar a obtenção da  $ET_0$  são usados como alternativa, métodos empíricos, os quais são baseados em apenas alguns dados climáticos. O objetivo deste trabalho é, analisar o grau de precisão de três métodos empíricos de estimação da  $ET_0$ , correlacionando com o método padrão de Penman-Monteith, para cidade de João Pessoa-PB no ano de 2011, indicando qual o mais preciso. Os valores de evapotranspiração de referencia ( $ET_0$ ), foram estimados pelas equações de Penman-Monteith, Jensen, Hargreaves, e Makkink utilizando dados climáticos da estação do INMET. 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). Para a cidade de João Pessoa os métodos que mostraram o melhor desempenho quando correlacionados com o método de Penman-Monteith, no ano analisado foram o de Jensen-Haise e Makkink. O método de Heagreaves foi o que apresentou os piores indicadores estatísticos. Os métodos de Jensen e Makkink são indicados para estimativa de evapotranspiração de referencia na cidade de João Pessoa diferente do método de Heagreaves que não se demonstrou preciso na avaliação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Recursos Hídricos, Penman-Monteith, Correlação,

## 1. INTRODUÇÃO

A evapotranspiração (ET) é a perda de água pelos processos de evaporação e transpiração que ocorrem simultaneamente do sistema solo-planta para atmosfera. Como processo oposto à precipitação atua compondo o ciclo hidrológico (DENSKI, 2015).

A Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) é a mensuração da taxa de evapotranspiração (ET) para culturas de referência, a partir de dados climáticos. Sua quantificação é a base para um bom manejo dos recursos hídricos no campo, possibilitando calcular a demanda de água para determinada cultura através de seu coeficiente ( $K_c$ ) e planejar a irrigação de maneira adequada (DEBNATH et al., 2015)

De acordo com Dantas (2018), o regime pluviométrico em algumas regiões da Paraíba é irregular. Nessas regiões a aplicação de irrigação para as culturas é indispensável. Para se obter uma produção agrícola sustentável é necessário que se planeje a irrigação de modo que se reponha a quantidade de água necessária para atender a demanda hídrica. Uma das formas de definir e quantificar essa necessidade é a estimativa da evapotranspiração

A mensuração direta da evapotranspiração não é simples, por isso, muitos métodos matemáticos foram desenvolvidos utilizando as variáveis climáticas para estimativa da  $ET_0$ . O método aceito pela FAO como método padrão é o de Penman-Monteith que engloba grande quantidade de variáveis climáticas. Para facilitar a obtenção da  $ET_0$  são usados como alternativa outros métodos empíricos, baseados em menor número de dados climáticos, mais simples de utilizar, embora não recomendados para todas as regiões (BACK, 2008).

O objetivo deste trabalho é, analisar o grau de precisão de três métodos empíricos de estimativa da  $ET_0$ , correlacionando com o método Penman-Monteith, para cidade de João Pessoa-PB no ano de 2011, indicando qual o mais preciso.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o cálculo da evapotranspiração de referência foram utilizados dados meteorológicos diários para o ano de 2011, que foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da estação meteorológica 82798 da cidade de João Pessoa-PB, latitude: -7.10, longitude: -34.87 e altitude: 7.43m. Os dados meteorológicos coletados do INMET foram: Temperatura instantânea, máxima e mínima (°C); umidade relativa instantânea, máxima e mínima (%); temperatura do ponto de orvalho instantânea, máxima e mínima (°C); pressão instantânea, máxima e mínima (hPa); Velocidade do vento (m/s) e radiação global (kJ/m<sup>2</sup>).

Para o cálculo da evapotranspiração foi utilizado o software PMday com base na plataforma do Excel, no qual foi utilizado os dados meteorológicos e dados sobre as estações meteorológicas como a latitude, longitude e altitude.

Os valores de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) diária foram estimados pelas equações de Penman-Monteith (Eq.1), Jensen (Eq.2), Hargreaves (Eq.3), e Makkink (Eq.4),

### Método de Penman-Monteith:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{T_{med} + 273} \right) U_{2m} (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_{2m})} \quad (\text{Eq.1})$$

### Método de Jensen:

$$ET_0 = R_S * (0,025T + 0,078) \quad (\text{Eq.2})$$

### Método de Hargreaves:

$$ET_0 = 0,0023R_0 (T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}})^{0,5} * (T + 17,8) \quad (\text{Eq.3})$$

### Equação de Makkink:

$$ET_0 = 0,61 * W * R_s - 0,12 \quad (\text{Eq.4})$$

Em que:  $ET_0$  = evapotranspiração de referência diária ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $R_n$  = saldo de radiação à superfície ( $\text{MJ m}^{-2}$ );  $G$  = fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2}$ ), considerado nulo para período diário;  $T_{\text{med}}$  = temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );  $U_{2m}$  = velocidade média diária do vento a 2 metros de altura ( $\text{m s}^{-1}$ );  $e_a$  = pressão parcial do vapor d'água ( $\text{kPa}$ ) média diária;  $e_s$  = pressão de saturação do vapor d'água ( $\text{kPa}$ ) média diária;  $\Delta$  = inclinação da curva de pressão de saturação de vapor d'água ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ );  $\gamma$  = é o fator psicrométrico ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ );  $T$  = temperatura média do período ( $^{\circ}\text{C}$ );  $R_o$  = 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 ( $^{\circ}\text{C}$ );  $R_s$  = radiação solar global ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) e;  $W$  = fator de ponderação que depende da temperatura do bulbo molhado ( $T_u$ ).

#### **Análise dos dados**

Os dados foram submetidos a análise de regressão linear entre os métodos alternativos de Jensen-Haise, Hargreaves-Samani e Makkink com o método de Penman-Monteith, utilizando as estimativas da evapotranspiração de referência.

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 ( $\rho$ ); e índice de confiabilidade ( $c$ ), calculados na plataforma excel. 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    |

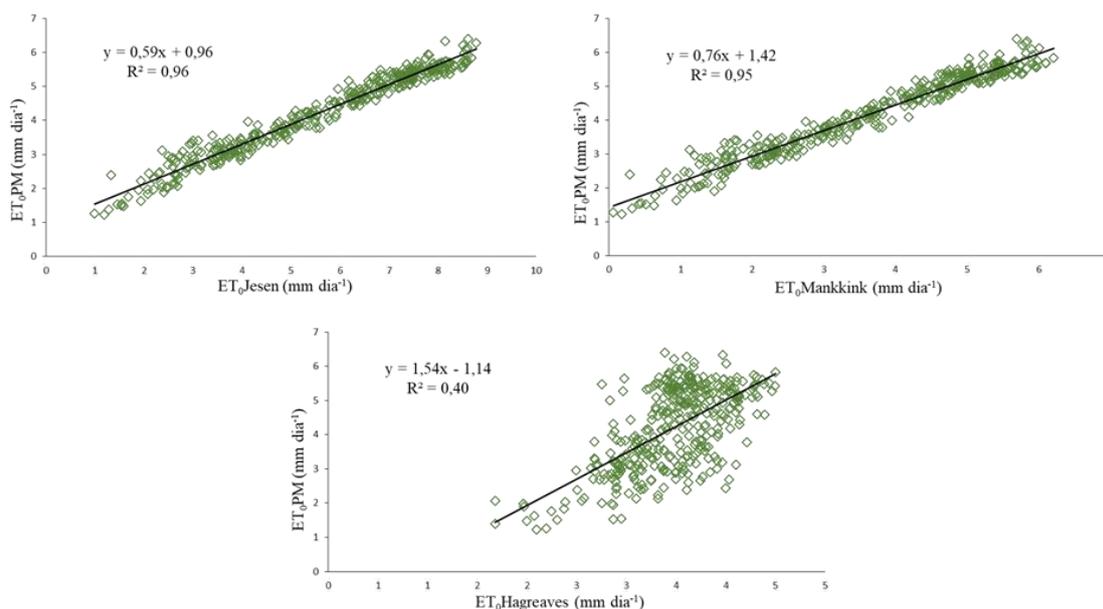
### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para a cidade de João Pessoa (Tabela 2) os métodos que mostraram o melhor desempenho quando correlacionados com o método de Penman-Monteith, no ano analisado, de acordo com o critério sugerido por Sentelhas & Camargo (1997), foram os métodos de Jensen, com um desempenho “Ótimo”, com confiabilidade de 0,97; correlação com o método padrão de 0,98 e coeficiente de determinação de 0,96, com boa modelagem ao método padrão (Figura 1). Na sequência ficou o método de Makkink, com índice de confiabilidade de 0,96 demonstrando também um desempenho “Ótimo” para a análise com coeficiente de determinação de 0,95 e correlação de 0,96.

**Tabela 2:** Indicadores estatísticos da correlação dos modelos empíricos com o método padrão Penman Monteith para o ano de 2011, João Pessoa-PB.

| Método     | R <sup>2</sup> | d      | r      | c      | Desempenho |
|------------|----------------|--------|--------|--------|------------|
| Jensen     | 0,96           | 0,9903 | 0,9803 | 0,9707 | Ótimo      |
| Hargreaves | 0,40           | 0,7483 | 0,6337 | 0,4742 | Mau        |
| Mankkink   | 0,95           | 0,9887 | 0,9769 | 0,9659 | Ótimo      |

Tais resultados corroboram com aqueles obtidos por Hallal (2013), que em suas análises, desempenhos satisfatórios foram obtidos da correlação feita para os mesmos métodos deste estudo, Mankkink, e Jensen-Haise, com o método de Penman-Monteith. Segundo Rosemberg et al. (1983), o método de Mankkink apresenta bons resultados em climas úmidos, no entanto, em regiões áridas não são observados resultados satisfatórios.



**Figura1:**Gráfico de dispersão da correlação entre o método de Penman-Monteith e os métodos empíricos de Jensen, Hargreaves e Mankkink na cidade de João Pessoa-PB, no ano de 2011.

O método de Hargreaves foi o que apresentou os piores indicadores estatísticos chegando a apresentar um “Mau” desempenho, coeficiente de determinação de 0,40 e correlação de 0,63, indicando que esse método não possui uma boa confiabilidade para estimar a evapotranspiração de referência quando comparado com o método de Penman-Monteith para João Pessoa.

Em seu trabalho, Valipour (2015), obteve resultados diferentes, em que o método de Hargreaves apresentou um R<sup>2</sup> de 0,99 produzindo resultados satisfatórios em estimar a evapotranspiração de referencia quando comparado com o método padrão, demonstrando que o método pode ser utilizado para determinadas regiões.

Como o método de Hargreaves utiliza basicamente dados de temperatura, e amplitude térmica, ele tende a subestimar os valores de ETo para regiões em climas ou

períodos úmidos, como no caso da cidade de João Pessoa que tem clima tropical úmida em região litorânea.

#### **4. CONCLUSÕES**

De acordo com os resultados expostos, pôde ser observado que o método de Jensen e Makkink demonstraram precisão na estimativa da  $ET_0$ , sendo indicado a sua utilização para a estimativa da  $ET_0$  para cidade de João Pessoa.

O método de Hargreaves apresentou baixa correlação com o método de estimativa padrão, com isso não se indica sua utilização para a estimativa da  $ET_0$  para cidade de João Pessoa.

#### **REFERÊNCIAS**

BACK, A. J. Desempenho de Métodos Empíricos Baseados na Temperatura do Ar Para a Estimativa da Evapotranspiração De Referência em Urussanga, SC. **Irriga**, v. 13, n. 4, p. 449-466, 2008.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do Desempenho de Diferentes Métodos de Estimativa da Evapotranspiração Potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

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, n. 4, p. 689-704, 2015.

DANTAS, G. F; OLIVEIRA, V. M. R; DALRI, A.B; PALARETTI, L.F; SANTOS, M.G; FARIA, R.T. Desempenho de Métodos na Estimativa de Evapotranspiração de Referência Para o Estado da Paraíba, Brasil. **Irriga**, v. 21, n. 3, p. 481, 2018.

DENSKI, A. P. N.; BACK, Á. J. Aderência de Distribuições de Probabilidades aos Dados de Evapotranspiração de Referência Decendial (Grib's Distribution Probabilities of Evapotranspiration data to Decendial Reference). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, 2015

HALLAL, M. C.; BRIXNER, G.F; SCHOFFEL, E.R; RADUNZ, A.L. Estimativa Da Evapotranspiração De Referência E Sua Relação Com A Precipitação Ocorrida Na Região De Pelotas-Rs1. **Irriga**, V. 18, N. 1, P. 85, 2013.

ROSEMBERG, N. J.; BLADE, B. L.; VERMA, S. B. **Microclimate: the biological environment**. 2nd ed. New York: J. Wiley, 1983. 495 p.

VALIPOUR, M. Temperature analysis of reference evapotranspiration models. **Meteorological Applications**, v. 22, n. 3, p. 385-394, 2015.