

## **ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA POR DIFERENTES MÉTODOS PARA O MUNICÍPIO DE AREIA-PB**

DENIS MIRANDA LOPES<sup>1\*</sup>; NARDIELE DE SOUZA SOUTO FREITAS<sup>1</sup>; VICTOR COELHO DO NACIMENTO<sup>1</sup>; MACIEL ROCHA DA SILVA<sup>1</sup>; PÉRICLES DE FARIAS BORGES<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduando em Agronomia, UFPB, Areia-PB, denismirandalopes@gmail.com; nardielesouza01@gmail.com; victorvcn@hotmail.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.

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018  
21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

**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. Objetivou-se com o presente trabalho, analisar o grau de precisão de três métodos empíricos de estimação da  $ET_0$ , correlacionando com o método Penman-Monteith, para cidade de Areia-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.

**PALAVRAS-CHAVE:** Recursos hídricos, Evapotranspiração, dados meteorológicos.

### **EVAPOTRANSPIRATION REFERENCE ESTIMATES FROM DIFFERENT METHODS FOR AREIA CITY.**

**ABSTRACT:** The reference evapotranspiration is a very important tool in determining the availability of water resources and climatic characterization. In order to facilitate the obtaining of  $ET_0$ , empirical methods are used as alternatives, which are based on only some climatic data. The objective of this work was to analyze the degree of precision of three empirical estimation methods of  $ET_0$ , correlating with the Penman-Monteith method, for the city of Areia-PB in the year 2012, indicating which is the most accurate. The reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) values were estimated by the Penman-Monteith, Jensen, Hargreaves, and Hamon equations using INMET station weather data. The data were submitted to linear regression analysis and to determine the alternative method of greater adjustment to the standard method, the following parameters were used: determination coefficients ( $R^2$ ); concordance index (d), Pearson correlation index (r) and reliability index (c). According to the results, it was observed that the Jensen method was the one that showed the highest precision, being indicated its use to estimate the reference evapotranspiration.

**KEY WORDS:** Water resources, Evapotranspiration, meteorological data.

### **INTRODUÇÃO**

A evapotranspiração de referência é uma ferramenta muito importante na determinação de disponibilidade de recursos hídricos e caracterização climática, sua utilização leva a uma boa gestão dos recursos hídricos e um manejo eficiente. É caracterizada como a transferência de água do sistema solo-planta para a atmosfera (De Carvalho, 2011).

Devido à dificuldade de medir diretamente a evapotranspiração, muitos métodos foram desenvolvidos utilizando as variáveis climáticas para estimativa da  $ET_0$ . Um desses métodos é o de Penman-Monteith, que é aceito pela FAO como método padrão, devido a utilização de grande número de variáveis climáticas o que atribui uma maior precisão na estimativa diária.

Para facilitar a obtenção da  $ET_0$  são usados como alternativa, métodos empíricos, os quais são baseados em apenas alguns dados climáticos. Esses métodos são mais simples, de fácil aplicação, embora de menor precisão sendo melhor aplicável em determinadas regiões (Back, 2008).

Areia é um município brasileiro localizado no estado da Paraíba com área territorial de de 269 km<sup>2</sup>, que faz parte da microrregião do Brejo Paraibano, mesorregião do agreste. O clima na região, pela classificação de Köppen, é do tipo As' (quente e úmido), com estação chuvosa no período outono-inverno, sendo as maiores precipitações nos meses de junho e julho (BRASIL, 1972). A temperatura média anual é de 24,0oC, com uma umidade relativa média em torno de 80% e precipitação média anual de 1400 mm.

Objetivou-se com o presente trabalho, analisar o grau de precisão de três métodos empíricos de estimativa da  $ET_0$ , correlacionando com o método Penman-Monteith, para cidade de Areia-PB no ano de 2012, indicando qual o mais preciso.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram obtidos dados meteorológicos diários, que foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da Estação Meteorológica-UFPB, para o ano de 2012. Os dados meteorológicos utilizados 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 com base na plataforma do Excel, denominado PMday, desenvolvido por R.L Snyder e S. Eching da universidade da Califórnia. No qual foi utilizado os dados meteorológicos e dados sobre as estações meteorológicas como a latitude, longitude e altitude.

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

### 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:

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

Em que:  $ET_0$  = evapotranspiração de referência diária (mm);  $R_n$  = saldo de radiação à superfície (MJ m<sup>-2</sup>);  $G$  = fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup>), considerado nulo para período diário;  $T_{med}$  = temperatura média do ar (°C);  $U_{2m}$  = velocidade média diária do vento a 2 metros de altura (m s<sup>-1</sup>);  $e_a$  = pressão parcial do vapor d'água (kPa) média diária;  $e_s$  = pressão de saturação do vapor d'água (kPa) média diária;  $\Delta$  = inclinação da curva de pressão de saturação de vapor d'água (kPa°C<sup>-1</sup>);  $\gamma$  = é o fator psicrométrico (kPa°C<sup>-1</sup>); 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<sup>-1</sup>);  $R_s$  = radiação solar ao nível do solo (MJ m<sup>-2</sup>);  $T$  = temperatura média do período (°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:

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

Em que:  $ET_0$  = evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $R_o$  = 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

$$ET_0 = 0,55 \left( \frac{N}{12} \right)^2 \left( \frac{4,95 \exp^{0,062r}}{100} \right) 25,4 \quad (4)$$

Em que:  $ET_0$  = Evapotranspiração de Referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $N$  = 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

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 ( $\rho$ ) (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:  $\rho$  = 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 & 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;  $\rho$  = índice de Pearson.

A confiabilidade  $c$ , proposto por Camargo & 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 & 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

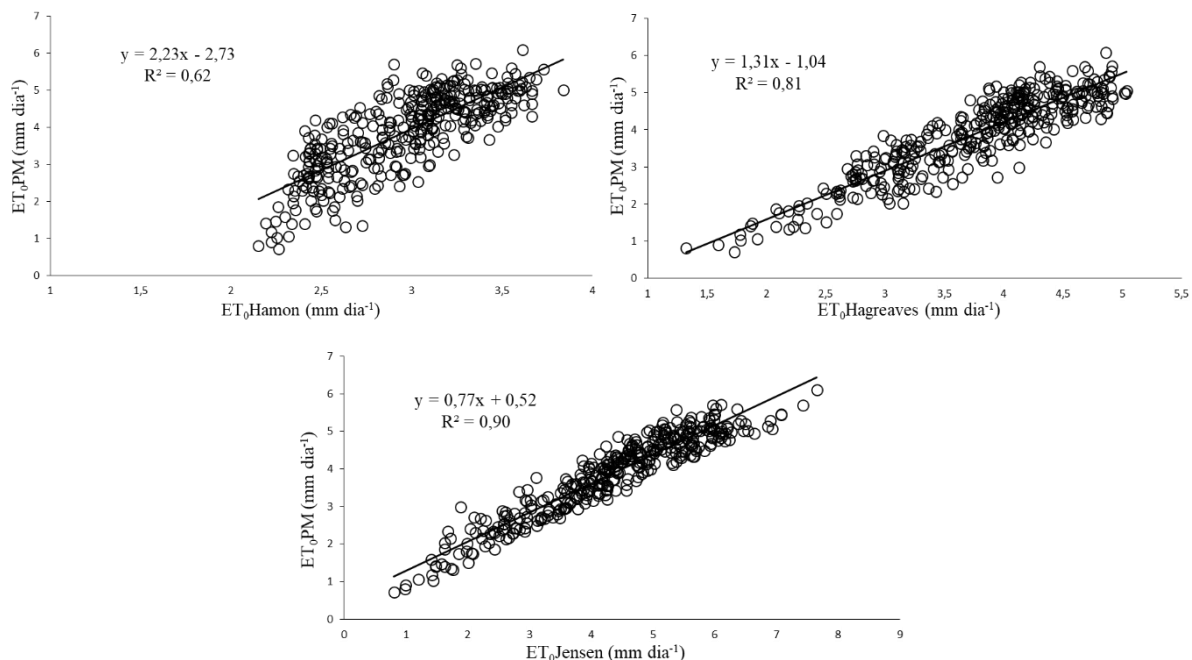
Na cidade de Areia (tabela 1) os métodos que mostraram o melhor desempenho, no ano analisado, de acordo com o critério sugerido por Sentelhas & Camargo (1997), foram os métodos de Jensen-Haise, com um desempenho ótimo, com confiabilidade de 0,92, na sequência o método de Hargreaves-Samani, com índice de confiabilidade de 0,85 um desempenho muito bom. Apesar de apresentar menor desempenho, o método de Hamon pode ser avaliado como tendo um bom desempenho, com valor de  $C$  acima de 0,66, o que indica que os métodos apresentam valores de confiabilidade aceitáveis

**Tabela 1:** Indicadores estatísticos da correlação dos modelos empíricos com o método padrão Penman Monteith para o ano de 2012 na cidade de Areia, PB.

Método	R <sup>2</sup>	D	r	C	Desempenho
Hamon	0,62	0,86	0,78	0,68	Bom
Jensen	0,90	0,97	0,94	0,92	Ótimo
Hargreaves	0,81	0,95	0,90	0,85	Muito Bom

Quando comparado os demais parâmetros estatísticos, o método de Jensen-Haise mostra os melhores resultados com coeficiente de determinação de 0,90, que pode também ser visualizado na figura 1. O método de Jensen-Haise foi o que apresentou os valores de estimativa de evapotranspiração de referência mais próximas das obtidas pelo método padrão de Penman Monteith, indicados por uma boa correlação de 0,94. Portanto o método de Jensen foi o que melhor se ajustou ao método padrão, mostrando valores bem aproximados, e dentre os métodos avaliados, o de melhor utilização para estimativa de Evapotranspiração de referência para cidade de Areia. O mesmo pode se dizer do método de Hargreaves, que se mostrou com valores bem próximos podendo ser utilizado para estimativa de  $ET_0$  com alguns ajustes.

**Figura 1:** Grafico de dispersão da correlação entre o método de Penman-Monteith e os métodos empiricos de Jensen, Hargreaves e Hamon na cidade de Areia-PB, no ano de 2012



Pereira et. al. (2009) também constata resultados semelhantes, em análises na Serra da Mantiqueira-MG, no qual, dos métodos analisados por ele, um dos melhores foi o de Jensen com um desempenho muito bom em períodos secos, e desempenho ótimo em períodos chuvosos.

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 ETo na região, sobretudo para períodos superiores a 7 e 10 dias.

O método de Hamon apresenta o menor índice de concordância,  $d = 0,86$ , porém, indicando que não há uma grande amplitude de erro nos resultados obtidos. O mesmo foi o que se apresentou com menor precisão, se comparando com os resultados dos demais métodos. Tais resultados corroboram com Borges (2007), o qual relata em suas análises, que a equação de Hamon pode subestimar a ETo, sem tendência específica quanto à estação do ano. Fanaya Junior (2011) também observou usando correlação que, o método de Hamon subestima o valor da ETo para períodos secos quando comparadas com o método padrão

## CONCLUSÃO

De acordo com os resultados expostos, pôde ser observado que o método de Jensen foi o que demonstrou maior precisão na estimativa da ETo e um desempenho ótimo quando comparado com o método de Penman-Monteith, sendo indicado sua utilização para estimar a ETo na cidade Areia.

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 índices mais baixos quando comparado com os outros métodos

## REFERÊNCIAS

- Back, A. J. Desempenho de métodos empíricos baseados na temperatura do ar para a estimativa da evapotranspiração de referência em Urussanga, SC. Irriga, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 449-466, 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Divisão de Agroecologia – SUDENE. Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro: MA/SUDENE, 1972. 670p. (Boletim Técnico, 15).
- 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.
- Camargo, AP de; Sentelhas, Paulo 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.
- 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.
- 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.
- Mendonça, J.C.; Sousa, E.F.; Bernardo, S.; Dias, G.P.; Grippa, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) na região Norte Fluminense, RJ. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.
- 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.