

Eixo Temático ET-03-031 - Meio Ambiente e Recursos Naturais

## ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POR DIFERENTES MÉTODOS PARA O MUNICÍPIO DE IGUATU, CEARÁ

Amadeus Mozarth Gomes Rodrigues<sup>1</sup>, Antônia Euzimar Amorim Sobreira<sup>2</sup>,  
Jorge Luís de Souza Alves<sup>2</sup>, Francisco Márcio Lopes Araújo<sup>2</sup>,  
Carlos Newdmar Vieira Fernandes<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, IFCE/Campus Iguatu.

<sup>2</sup>Discente do Curso de Tecnologia em Irrigação e Drenagem, IFCE/Campus Iguatu.

<sup>3</sup>Professor EBTT, IFCE/Campus Iguatu.

### RESUMO

A região nordeste brasileira, é marcada pela a escassez de água, baixa pluviosidade, altas temperaturas e altas taxas de evaporação, fatores estes que afetam de forma direta a produção agrícola daquela região. O uso da irrigação é apontada como solução para este problema, desde que seja, de forma eficiente. Para isso, a estimativa da evapotranspiração é de fundamental importância para o correto manejo da irrigação. Dessa forma objetivou-se neste trabalho estimar a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) por meio de diferentes métodos: Penman-Monteith, Blaney Criddle, Radiação Solar e Hargreaves-Samani, de modo, a contribuir para o planejamento e manejo de seus recursos hídricos da região. Os dados meteorológicos referentes à temperatura máxima e mínima do ar (°C), insolação (horas/dia), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (m.s<sup>-1</sup>), foram obtidos por meio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o ano de 2016. Os dados foram processados por meio do software REF-ET, onde se obteve os dados de ET<sub>o</sub>. Para a análise do desempenho dos métodos de estimativa da ET<sub>o</sub> utilizaram-se os seguintes indicadores: coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d) e índice de desempenho (c). Dentre os métodos avaliados verificou-se que o método de Blaney Criddle foi quem apresentou o melhor desempenho, com base em todos os indicadores. O método de Radiação tende a superestimar os valores de Penman-Monteith (Método Padrão), e o método de Hargreaves-Samani apresentou resultados inferiores aos outros métodos avaliados.

**Palavras-chave:** Evapotranspiração.; Penman-Monteith; Manejo de irrigação.

### INTRODUÇÃO

A região nordeste brasileira, é marcada pela a escassez de água, baixa pluviosidade, altas temperaturas e altas taxas de evaporação, fatores estes que afetam de forma direta a produção agrícola daquela região. Para o desenvolvimento do setor agrícola é necessária aplicação de tecnologias e planejamento que venha a tornar a irrigação mais eficiente, utilizando água de maneira racional (ANDRADE JUNIOR et al., 2017). A estimativa da evapotranspiração é de fundamental importância para o correto manejo da irrigação, pois determina o consumo de água pela cultura e, por consequência, a lâmina de irrigação a ser aplicada pelo sistema (MANTOVANI et al., 2006).

Segundo Sales (2008) o correto cálculo da evapotranspiração, possibilita a estimativa do volume e a intensidade de água a ser aplicado em uma área cultivada, resultando na otimização dos recursos hídricos, equipamentos de irrigação e energia elétrica, proporcionando redução nos custos de produção.

Na literatura encontra-se diferentes métodos para estimar a evapotranspiração de referência (Blaney Criddle, Radiação Solar, Hargreaves-Samani, Makkink, etc.), mas o desempenho deles variam de acordo as condições do local ao da região. Para Sentelhas et al. (2010) a variação ocorrida na maioria dos métodos de estimativa da E<sub>to</sub> e devido apresentarem empirismo em sua. Dessa forma, o método de Penman-Monteith FAO-56, foi apresentado como

método padrão para a estimativa de ETo em virtude de seu desempenho em diferentes condições climáticas (ALLEN et al., 1998).

A utilização do método de Penman-Monteith requer diversas variáveis meteorológicas como, temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento. Mas em muitos locais, esses dados não estão disponíveis (BACK, 2008). Esta ausência de dados meteorológicos leva ao desenvolvimento de outros métodos mais simples para estimar a ETo, métodos este que não necessitam de tantas variáveis climáticas (ALENCAR et al., 2011).

A não adequação dos métodos de estimativa da ETo às condições climáticas locais e a falta de precisão na estimativa, acarreta o manejo inadequado da irrigação, afetando de forma direta a produtividade agrícola. Aplicações de água tanto em excesso como em déficit resultam em perdas e prejuízos consideráveis para a cultura e o meio ambiente, diminuindo, dessa forma, a eficiência do uso de irrigação (VESCOVE et al., 2005; BERNARDO et al., 2006).

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi estimar a evapotranspiração de referência (ETo) por meio de diferentes métodos: Penman-Monteith, Blaney Criddle, Radiação Solar e Hargreaves-Samani, de modo, a contribuir para o planejamento e manejo de seus recursos hídricos da região.

## MATERIAL E MÉTODOS

O Município de Iguatu está localizado na região Centro-Sul do Estado do Ceará com 6° 21' 34'' de latitude sul e 39° 17' 55'' de longitude oeste, com 217,67 m de altitude. O clima da região, pela classificação de Koeppen, é do tipo Bsw'h' - clima quente e semiárido tipo estepo, com temperatura média mensal superior a 18°C no mês mais frio. Precipitação média anual de 859 mm, com 85% concentrada no período de janeiro a maio.

Foram utilizados dados médios diários do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da estação meteorológica convencional da cidade de Iguatu - CE. O período de coleta dos dados foi de 01 de janeiro de 2016 a 31 de dezembro de 2016. Os elementos climáticos estudados foram: temperatura máxima e mínima do ar (°C), insolação (horas/dia), umidade relativa média do ar (%) e velocidade do vento (m.s<sup>-1</sup>).

Os dados foram processados por meio do software REF-ET, onde se obteve os dados de ETo pelos seguintes modelos:

### Penman-Monteith - FAO 56

$$E_{To} = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

Em que:

- ETo é a evapotranspiração de referência, mm dia<sup>-1</sup>;
- Δ a declividade da curva de pressão de vapor (kPa °C<sup>-1</sup>);
- Rn a radiação líquida na superfície da planta (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);
- G a densidade de fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);
- γ a constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>);
- Ta a temperatura média do ar (°C);
- u<sub>2</sub> a velocidade do vento a 2,0 m de altura (m s<sup>-1</sup>);
- e<sub>s</sub> a pressão de saturação de vapor (kPa);
- e<sub>a</sub> a pressão atual de vapor (kPa).

### Blaney Criddle - FAO 24

$$ETo_{BC} = c. (0,46T + 8,13).P$$

Em que:

c o fator de ajuste em função de dados climáticos médios;

T a temperatura média mensal (°C);

P a porcentagem mensal das horas de luz (m.s<sup>-1</sup>);

### Radiação Solar - FAO 24

$$ETo_{RS} = a + b. (W.Rs)$$

Em que:

a o coeficiente linear da reta, mm d<sup>-1</sup>;

b o coeficiente angular da reta, adimensional;

W índice de ponderação dependente da temperatura e altitude, adimensional;

Rs é a radiação solar (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);

### Hargreaves-Samani (1985)

$$ETo_{HS} = 0,023. (Tmáx - Tmín)^{0,5} (17,8 + Tméd) R_a. 0,408$$

Em que:

Ra é a radiação solar incidente (°C);

Tmáx a temperatura máxima(°C);

Tmín a temperatura mínima(°C);

Tméd é temperatura média(°C);

Para a análise do desempenho dos métodos de estimativa da ETo utilizaram-se os seguintes indicadores:

### Coeficiente de correlação “r”

$$r = \sqrt{R^2}$$

Em que:

R<sup>2</sup> e o coeficiente de determinação;

### Índice de concordância “d” de Willmott et al. (1985)

$$d = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (Pi - Oi)^2}{\sum_{i=1}^N (|Pi - \bar{o}| + |Oi - \bar{o}|)^2} \right]$$

Em que:

Pi e a evapotranspiração estimada pelo método testado (mm);

Oi a evapotranspiração estimada pelo método padrão (mm);

O a média dos valores observados pelo método padrão (mm).

### Índice de desempenho “c”

$$c = r.d$$

Em que:

r o coeficiente de correlação;

d e o índice de concordância “d” de Willmott et al. (1985).

A Tabela 1 apresenta a classificação dos valores do coeficiente de confiança ou desempenho “c”, segundo Camargo e Sentelhas (1997).

**Tabela 1.** Classificação de acordo com o coeficiente de desempenho “c” conforme Camargo e Sentelhas (1997).

Valor de “c”	Desempenho
>0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os valores médios mensais da ETo obtida através de métodos de Penman-Monteith - FAO 56, Radiação Solar - FAO 24, Blaney Criddle - FAO 24 e Hargreaves-Samani (1985). Verificou-se que os meses de setembro, outubro e novembro foram que apresentaram maiores valores médios mensais de evapotranspiração pelo método padrão (Penman-Monteith - FAO 56).

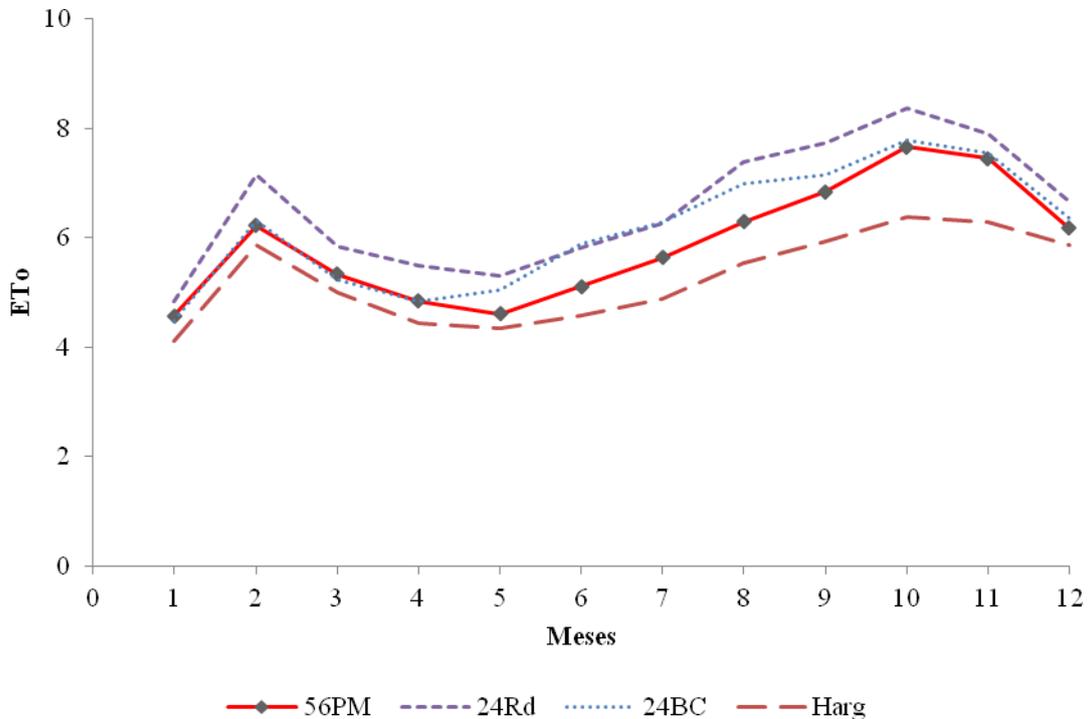
**Tabela 2.** Valores médios mensais de evapotranspiração para os modelos avaliados na cidade de Iguatu-CE.

MÊS	PM	RS	BC	HS
JAN	4,58	4,83	4,48	4,95
FEV	6,22	7,16	6,32	5,86
MAR	5,34	5,84	5,24	5,43
ABR	4,84	5,49	4,84	4,66
MAI	4,60	5,30	5,05	4,54
JUN	5,11	5,82	5,89	4,57
JUL	5,64	6,27	6,29	4,88
AGO	6,29	7,38	7,00	5,54
SET	6,84	7,74	7,16	5,94
OUT	7,67	8,38	7,78	6,38
NOV	7,45	7,91	7,55	6,28
DEZ	6,17	6,65	6,36	5,87
<b>MÉDIA</b>	<b>5,90</b>	<b>6,57</b>	<b>6,16</b>	<b>5,41</b>

Na figura 1 apresenta a variação mensal das médias de evapotranspiração obtidas a partir dos valores diários de ETo. Observa-se que os valores obtidos pelo método da Radiação tendem a superestimar os valores do método Penman-Monteith (Método Padrão) ao longo de todo o ano. Já os valores obtidos pelo método de Hargreaves-Samani, tendem a subestimar os valores do método adotado como padrão.

O método de Blaney-Criddle apresentou períodos de tendências maiores que o método padrão, nos meses de abril a outubro. Silva (2016) em trabalho semelhante para a cidade de Quixeramobim-CE, relata uma maior tendência no período chuvoso (fev-mai) e de menor

tendência no período de seca (jun-dez) para o método de Hargreaves-Samani. Está comportamento e relatado por Gomes et al. (2005), como sendo um reflexo da variação espacial da temperatura média do ar mensal.

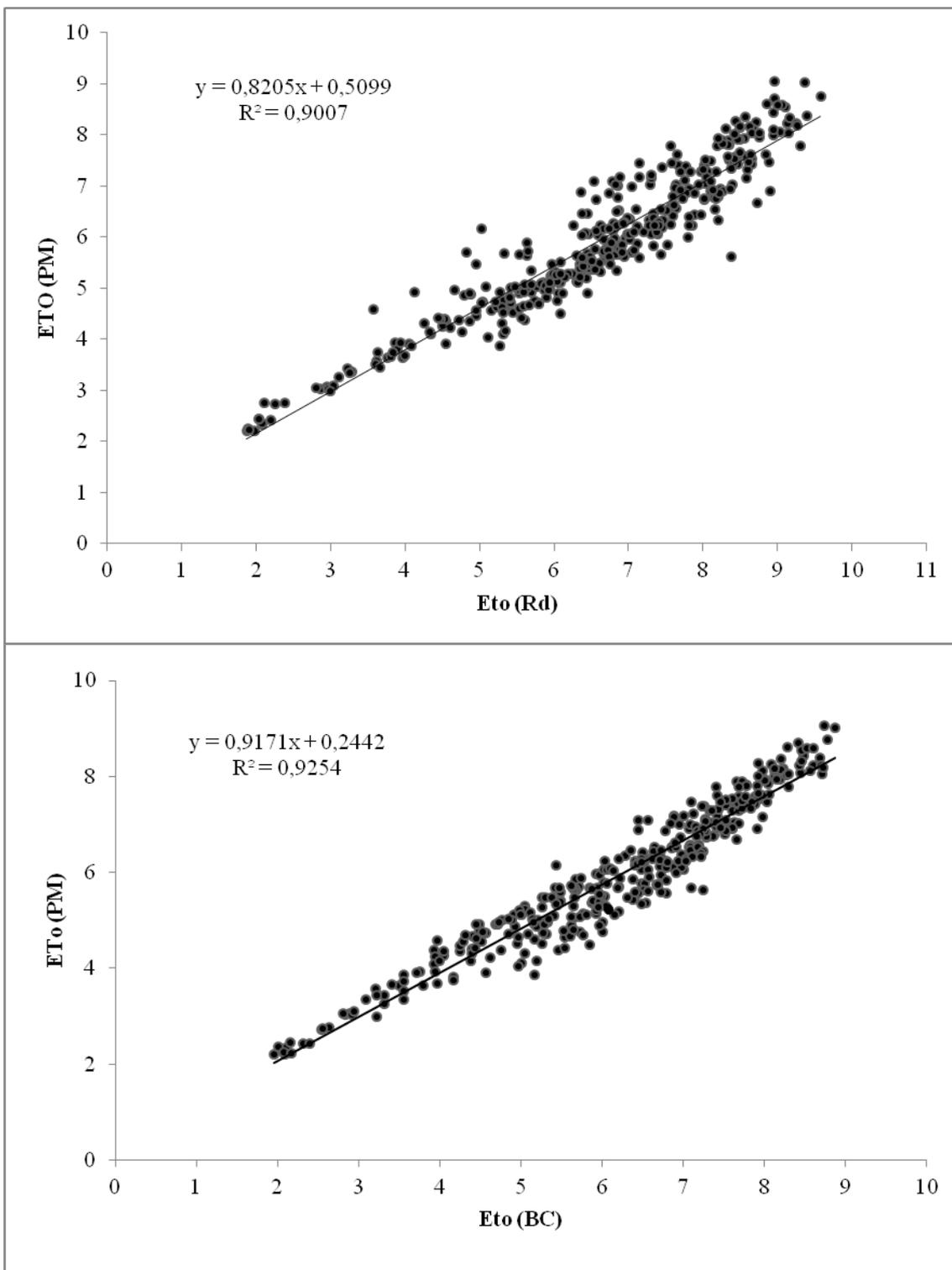


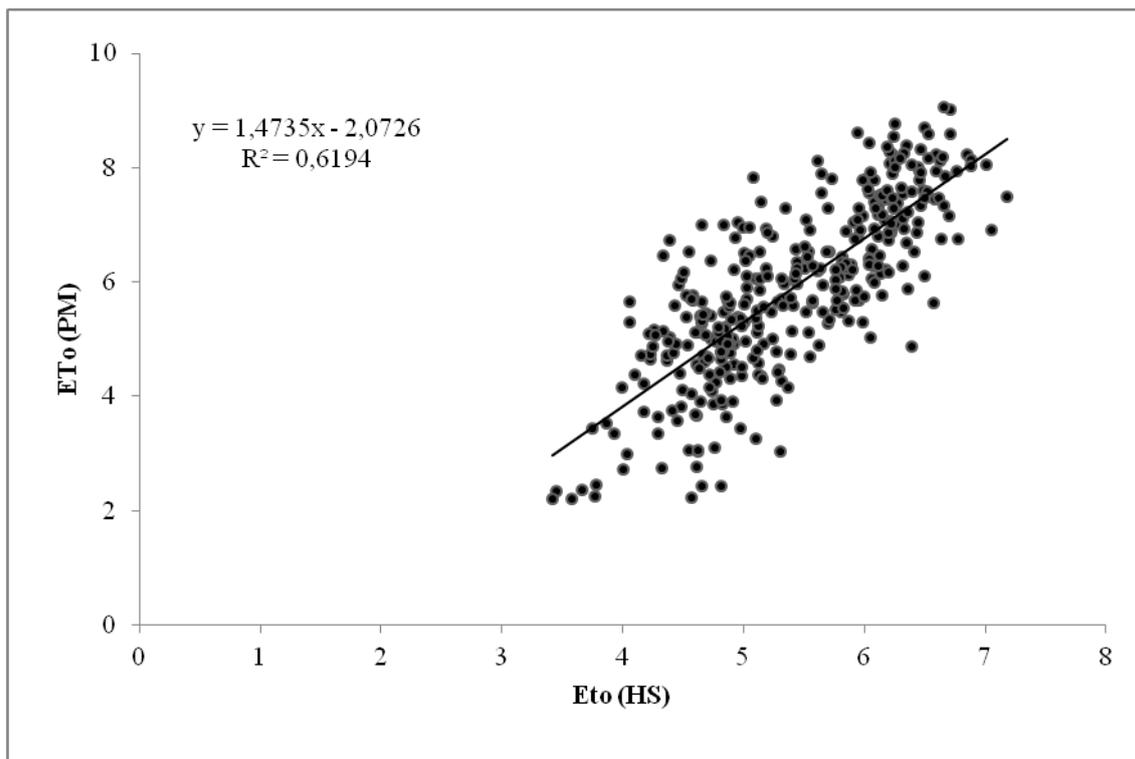
**Figura 1.** Variação mensal das médias de evapotranspiração obtidas a partir dos valores diários de ETo, para a cidade de Iguatu-CE.

A relação entre o método padrão de Penman-Monteith-FAO 56 e os métodos testados encontram-se nas figuras abaixo. O método de estimativa de evapotranspiração que melhor se ajustou ao adotado como padrão foi o método de Blaney-Criddle, com um  $R^2$  de 0,925, indicando uma excelente correlação, seguido do método de Radiação Solar, com  $R^2$  de 0,900. Chagas et al. (2013) compararam diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração de referência para no município de Rio Real – BA, verificaram que os métodos de Blaney-Criddle e de Radiação apresentou melhores desempenhos para as estimativas de ETo na região.

O método de Hargreaves-Samani apresentou uma correlação baixa entre os métodos avaliados, como  $R^2$  de 0,619. Resultados semelhantes foram encontrados por Alencar et al., (2011) e Chagas et al., (2013) relataram um baixo desempenho do método de Hargreaves-Samani.

Corroborando com os resultados encontrados Tagliaferre et al. (2010) estimando a evapotranspiração de referência para a região de Eunápolis-BA por meio de diferentes métodos, constatou que o método de Blaney Criddle e da Radiação apresentaram melhores desempenhos para as estimativas de ETo em todos os períodos de tempo estudados. Os mesmos também relatam que os resultados encontrados através do método de Hargreaves-Samani não foram satisfatórios para a estimativa da evapotranspiração.





**Figura 2** - Relação entre a evapotranspiração de referência estimada por diferentes métodos e o método Penman-Monteith-FAO 56.

A Tabela 3 apresenta os valores dos coeficientes de correlação “r”, índice de concordância “d” de Willmott et al. (1985) e índice de desempenho “c” para os diferentes métodos de estimativa de ETo. Os métodos de Radiação e Blaney Criddle apresentaram um ótimo desempenho com valores de “c” superiores a 0,85. O método de Hargreaves-Samani com valor 0,74 do coeficiente de desempenho “c” foi classificado como “bom”. Fernandes et al., (2012) em estudo semelhante para a cidade de Campos Sales-CE, encontrou desempenho ótimo dos modelos de Radiação e Blaney Criddle e bom para o modelo de Hargreaves-Samani, comportamento semelhante ao obtido no presente estudo.

Os métodos tenderam a apresentar estimativas de ETo com maior exatidão ( $d = 0,923$  e  $d = 0,922$ ) e menor precisão ( $r = 0,835$  e  $r = 0,822$ ) em relação à ETo estimada por Penman - Monteith.

**Tabela 3.** Relação dos coeficientes “r”, “d” e “c”.

Modelo	Indicadores			Classificação
	r	d	c	
Radiação	0,95	0,94	0,89	Ótimo
Blaney Criddle	0,96	0,99	0,95	Ótimo
Hargreaves-Samani	0,79	0,93	0,74	Bom

## CONCLUSÕES

Dentre os métodos de estimativa da evapotranspiração avaliados, verificou-se que o método de Blaney Criddle foi quem apresentou o melhor desempenho, com base em todos os indicadores.

Apesar de ter apresentado ótimos resultados o método de Radiação tende a superestimar os valores de Penman-Monteith (Método Padrão).

O método de Hargreaves-Samani apresentou resultados inferiores aos outros métodos avaliados, sendo que os valores obtidos por este método subestimam os valores de Penman-Monteith.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE JUNIOR, A. S.; SILVA, C. O.; DE SOUSA, V. F.; RIBEIRO, V. Q.L. Avaliação de métodos para estimativa da evapotranspiração de referência no estado do Piauí. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, 2017.
- ALENCAR, L. P.; DELGADO, R. C.; ALMEIDA, T. S.; WANDERLEY, H. S. Comparação de diferentes métodos de estimativa diária da evapotranspiração de referência para a região de Uberaba. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 2, p. 337-343, 2011.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ANDRADE, E. M.; RODRIGUES, M. M. A.; MENDONÇA, M. A. B.; CHAVES, L. C. G.; FEITOZA, R. M. Investigation of the maximum and minimum temperatures in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 5, n. 2, p. 82-87, 2011.
- 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.
- BLANEY, H. F.; CRIDDLE, W. D. 1950. **Determining Water Requirements in Irrigated Area from Climatological Irrigation Data**, US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Tech. Pap. No. 96, 48 p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. atual. e ampl. Viçosa: UFV, 2006.
- 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.
- CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. C. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.
- CHAGAS, R. M.; FACCIOLI, G. G.; AGUIAR NETTO, A. O.; SOUSA, I. F.; VASCO, A. N.; SILVA, M. G. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) no município de Rio Real-BA. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 1, p. 351-363, 2013.
- FERNANDES, J. L.; OLIVEIRA, J. B.; SOUZA, A. L. M.; SILVA, G. S.; IZIDIO, N. S. C. Avaliação de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência em Campos Sales-CE. **Conexões: Ciência e Tecnologia**, v. 6(3): 58-67, 2012
- GOMES, A. A. N.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MEDEIROS, R. M. Evapotranspiração de referência mensal para o Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 560-564, 2005.
- HARGREAVES, G.H., SAMANI, Z.A. **Reference crop evapotranspiration from temperature**. Transaction of ASAE, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.
- MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV, 2006.
- PALARETTI, L. F.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) em regiões citrícolas paulistas. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 1, p. 38-47, 2014.
- SALES, J. C. **Caracterização climática e comparação de modelos de evapotranspiração de referência para regiões do estado do Ceará**. 2008. 193 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômica, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; SANTOS, E. A. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 05, p. 635-644, 2010.

SILVA, E.B. Estimativa da evapotranspiração por diferentes métodos para a cidade de Quixeramobim, Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.10, n.5, p.935-942, 2016.

TAGLIAFERRE, C.; SILVA, R.; ROCHA, F.; SANTOS, L. Estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiração de referência em Eunápolis-BA. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 103-111, 2010.

VESCOVE, H. V.; TURCO, J. E. P. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara - SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 713-721, set./dez. 2005.

WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985.