

COMPARATIVO DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA POR DIFERENTES MÉTODOS EM SÃO JOÃO DO PIAUÍ

EMANUEL FRANÇA ARAÚJO¹, ADERSON SOARES DE ANDRADE JÚNIOR²,
EVERALDO MOREIRA SILVA³, KAÍSE BARBOSA DE SOUZA⁴, MARCELO SIMEÃO⁵

¹ Eng. Florestal, mestrando em Solos e Nutrição de Plantas - UFPI, Bom Jesus/PI, (89)94219380, emanuelfa.bj@hotmail.com

² Eng. Agrônomo, pesquisador Embrapa Meio-Norte, Teresina/PI.

³ Eng. Agrônomo, professor UFPI/CPCE Bom Jesus/PI.

⁴ Eng. Florestal, mestranda em Solos e Nutrição de Plantas - UFPI, Bom Jesus/PI.

⁵ Eng. Agrônomo mestrando em Solos e Nutrição de Plantas - UFPI, Bom Jesus/PI

Apresentado no
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014 - Campo Grande- MS, Brasil.

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de métodos de estimativa da ETo, em escala diária, durante o período chuvoso e seco, nos anos de 2010 a 2012 para o manejo da irrigação no município de São João do Piauí. O método de Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO 56) foi utilizado como referência. Os métodos de estimativa da ETo testados foram: Makking (MK), Hargreaves-Samani (HS), Blaney-Criddle (BC), Ivanov (IVN) Jensen-Haise (JH), Camargo (CM) e Priestley-Taylor (PT). Para avaliação do desempenho dos métodos foram considerados os coeficientes de correlação de Pearson (r) e determinação (R^2), concordância de Willmott (d), desempenho (c) e erro padrão de estimativa (EPE). O método JH, independentemente da época do ano, mostrou ser o mais indicado para a estimativa da ETo, por apresentar maior precisão e necessitar de dados de elementos de mais fácil obtenção, sendo uma boa alternativa para o manejo da irrigação das culturas exploradas na região, tais como a videira.

PALAVRAS-CHAVE: Irrigação, avaliação de métodos, Penman-Monteith.

COMPARISON OF ESTIMATES OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION BY DIFFERENTS METHODS IN SÃO JOÃO DO PIAUÍ, PIAUÍ STATE, BRAZIL

ABSTRACT: This work aimed to evaluate the performance of methods of estimation of the daily ETo, during the rainy and dry seasons in the years 2010 to 2012 in São Joao do Piauí, Piaui State, Brazil. The Penman-Monteith FAO 56 (PM-FAO 56) method was used as reference. The methods of estimation of the ETo tested were: Makking (MK), Hargreaves-Samani (HS), Blaney-Criddle (BC), Ivanov (IVN) Jensen-Haise (JH), Camargo (CM), and Priestley-Taylor (PT). For evaluation of the performance of methods were considered the Pearson correlation coefficients (r) and determination (R^2), concordance of Willmott index (d), performance index (c) and the standard error of estimate (EPE). The JH method, regardless of the time of year, proved to be the most appropriate for the estimation of the ETo, to introduce greater precision and need easier elements data collection, being a good alternative for the management of irrigation of the crops in region, such as the vine.

KEYWORDS: Irrigation, evaluation methods, Penman-Monteith.

INTRODUÇÃO: O Estado do Piauí não possui ainda tradição na fruticultura irrigada. Apesar disso, o município de São João do Piauí vem se destacando com um dos estados mais promissores para a produção de culturas como a banana, mamão, goiaba, maracujá, melão e em especial a videira europeia. Segundo Andrade Júnior et al. (2009), em um projeto piloto de irrigação de uva no município, alcançou se em quatro anos, produtividades médias de 20 t/ha. De acordo com Teixeira e Azevedo (1996), para uma boa produtividade da cultura da videira é recomendável que o seu desenvolvimento vegetativo ocorra em condições de escassez de precipitação pluviométrica e que as necessidades hídricas sejam satisfeitas por meio da irrigação. O principal parâmetro a ser considerado no dimensionamento e gerenciamento adequado de sistemas de irrigação é a estimativa adequada da evapotranspiração de cultura (ET_c). Para a estimativa da ET_c faz-se necessário o valor da evapotranspiração de referência (ET_o), que constitui a base para se determinar a lâmina de irrigação a ser aplicada, corrigida pelo coeficiente da cultura (K_c), que dependente do tipo de cultura e seu estágio de desenvolvimento (OLIVEIRA et al., 2001; MENDONÇA et al., 2006). Segundo CARVALHO et al. (2007), o termo evapotranspiração é definido como a perda de vapor d'água para a atmosfera por meio do processo simultâneo de evaporação de água da superfície do solo e de transpiração da água pela planta. Nesse sentido, a estimativa regional da ET_o é de suma importância para o planejamento e a administração correta da água de irrigação, sendo necessário estudos, ajustes e avaliações para a sua plena utilização (ANDRADE JUNIOR et al., 2010). A equação FAO 56 Penman-Monteith prediz com eficiência a ET_o, devido a isto foi recomendada pela FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) como método físico matemático padrão para a estimativa da ET_o (CAMARGO e CAMARGO, 2000; SOUZA, 2011). Entretanto, o modelo de exige um grande número de variáveis meteorológicas que nem sempre são medidos de forma eficiente em todas as estações meteorológicas disponíveis no Brasil. Por isso, tem aplicação limitada, onde na prática, seu uso só é possível em situações específicas, como em campos experimentais (ALLEN et al., 1998; ANDRADE JÚNIOR et al., 2003). Os métodos empíricos de estimativa da ET_o destacam se como alternativa para solucionar o problema, uma vez que necessitam de dados climáticos de mais fácil obtenção em campo (PEREIRA et al., 2002; ANDRADE JÚNIOR et al., 2003). Porém, antes de aplicar um método para determinado local, é necessário verificar o seu desempenho e, se necessário, fazer calibrações a fim de minimizar erros de estimativa antes de utiliza-los para essa nova condição. Objetivou se com a execução deste trabalho avaliar o desempenho de métodos empíricos de estimativa de ET_o, em escala diária, em relação ao método de PM-FAO 56, durante o período chuvoso e seco do ano, com intuito de indicar métodos alternativos para estimativa da ET_o e para o manejo da irrigação para região de São João do Piauí.

MATERIAL E MÉTODOS: O presente trabalho foi realizado utilizando dados meteorológicos obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), coletados em uma estação agrometeorológica convencional de código nº 82879, localizada no município de São João do Piauí, situado no semiárido piauiense, região sudeste do estado, nas coordenadas 08° 35' S, longitude 43°27' W e 235 m de altitude (FIGURA 1).



FIGURA 1. Localização do município de São João do Piauí, no Estado do Piauí.

A série de dados diária, referente ao período de três anos, entre de 01 de janeiro de 2010 a 31 de dezembro de 2012, foi dividida em período úmido (maio a outubro) e seco (novembro a abril), de acordo com as características pluviométricas da região recomendada por Andrade Júnior et al. (2004). Os dados coletados foram: temperaturas máxima ($T_{máx}$), média ($T_{méd}$) e mínima ($T_{mín}$), insolação (I_{ns}), umidade relativa média do ar ($UR_{méd}$) e velocidade do vento a 2 m de altura. Foram utilizados os métodos empíricos de estimativa da evapotranspiração de referência de Makking (MK), Hargreaves-Samani (HS), Blaney-Criddle (BC), Ivanov (IVN) Jensen-Haise (JH), Camargo (CM) e Priestley-Taylor (PT) em comparação ao método padrão de Penman-Monteith (PM) (ALLEN et al., 1998). Para a análise comparativa entre os métodos avaliados e método padrão de PM-FAO 56, foram realizados cálculos de erro padrão de estimativa (EPE), dos coeficientes de determinação (R^2) e correlação de Pearson (r), o índice d proposto por Willmott et al. (1985). O critério adotado para interpretar o desempenho dos métodos de estimativa de ETo foi índice de confiança c desempenho proposto por Camargo e Sentelhas (1997) (Tabela 1). Os cálculos e gráficos foram realizados com a utilização do software Microsoft Office Excel® (2007).

TABELA 1. Classificação dos métodos de estimativa de desempenho segundo o índice de confiança c .
Classification of methods for estimating performance under confidence index c .

Valor de c	Desempenho
$\geq 0,85$	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	Sufrível
0,41 a 0,50	Mau
$\leq 0,40$	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

RESULTADOS E DISCURSÃO: Na Figura 1 estão representados graficamente a ETo média mensal ao longo da série de 2010 a 2012, para o município de São João do Piauí, em que pode ser observado que não houve um comportamento sazonal semelhante entre os modelos avaliados e o de PM-FAO 56. O método IVN subestimou método padrão, apresentando valores de ETo abaixo da média dos outros métodos durante o período chuvoso do ano, enquanto que o modelo de BC apresentou comportamento distinto quando comparado ao de PM-FAO 56, onde superestimou o modelo da FAO nos meses referentes ao período chuvoso. A estimativa da ETo pelo método de PM-FAO 56 tendeu a ser mais baixa no período chuvoso, que abrange ao período de novembro a abril, em virtude da umidade relativa mais elevada e a temperatura e a radiação solar são mais amenas. Em fevereiro foi observado o menor valor da ETo estimada pelo método de PM ($5,12 \text{ mm} \cdot \text{dia}^{-1}$), enquanto que o mês de setembro apresentou o maior valor de ETo ($7,26 \text{ mm} \cdot \text{dia}^{-1}$). Os métodos HS, MK, JH e CM os que mais se aproximaram do padrão de FAO.

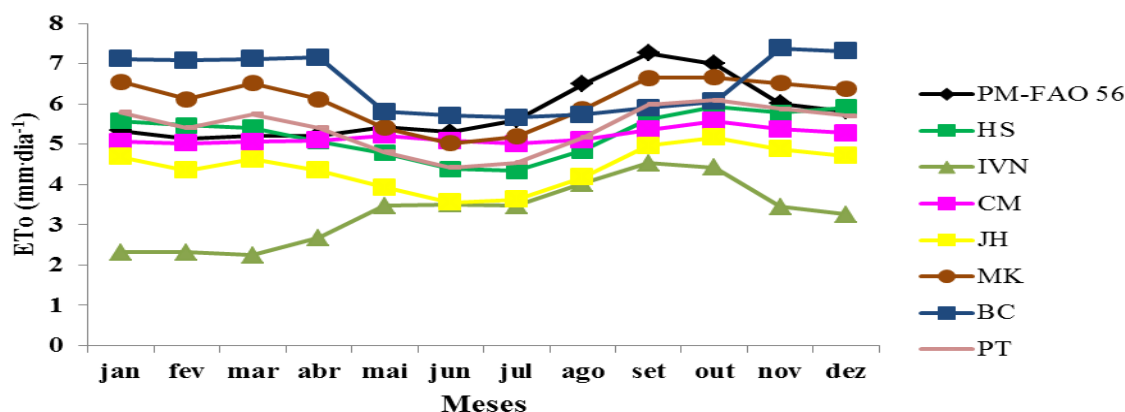


FIGURA 2. Dados médios mensais de estimativa da ETo do município de São João do Piauí nos anos de 2010 a 2012, calculados por meio dos métodos de PM-FAO 56, BC, JH, PT, HS, CM, MK e IVN.

Na Tabela 2 são apresentados os indicadores estatísticos entre os métodos empíricos de estimativa de ETo em comparação ao método padrão, referente ao período seco e úmido para São João do Piauí. Em geral, na análise dos resultados obtidos no período chuvoso (novembro a abril) e para o período seco (maio a outubro), os métodos que apresentaram resultados satisfatórios em relação ao método da FAO, foram JH e PT. Essas metodologias, que envolvem a radiação solar como elemento de entrada foi classificadas como “Ótimo” de acordo com o coeficiente de desempenho. No entanto, em relação ao coeficiente de Pearson, o método JH apresentou correlação forte em relação ao método de PM-FAO 56. Além disso, obteve os menores valores e EEP em relação a PT, sendo o mais indicado como estimativa da ETo, obtenção dos valores de evapotranspiração de cultura (ETc) e posterior dimensionamento da irrigação para a região de São João do Piauí. Ainda para a equação de PT, Sentelhas et al. (2010) sugere a calibração local de “ α ” para obter melhores resultados nas estimativas de ETo. O melhor desempenho da equação de JH pode ser explicado, uma vez que esse procedimento foi proposto para áreas irrigadas de regiões áridas e semiáridas americanas, com condições similares às encontradas na área de estudo (MEDEIROS, 2008). O método de IVN, que inclui no seu cálculo a temperatura do ar e umidade relativa do ar, foi desenvolvido para estimativa de ETo para períodos mínimos de um mês. Dorfman (1977), adaptou a equação para cálculo de ETo diária e como verificado, não apresentou desempenho satisfatório para a região de São João do Piauí, sendo desempenho classificado como “Bom” para o período chuvoso e para o período seco. Por apresentar valores elevados de EEP, essa equação empírica de estimativa de ETo necessita de uma avaliação posteriores para um ajuste regional.

TABELA 2. Indicadores estatísticos da comparação entre os diferentes métodos em função do método PM-FAO 56 em escala diária para o período chuvoso e seco. **Statistical data comparing the different methods depending on the FAO-56 PM method in daily scale during the wet season and dry.**

Métodos	EEP (mm.dia ⁻¹)	R ²	r	d	c	Desempenho
Período Chuvoso						
Jensen-Haise	0,994	0,827	0,909	0,992	0,903	Ótimo
Priestley-Taylor	1,038	0,729	0,853	0,999	0,853	Ótimo
Makking	0,107	0,664	0,814	0,994	0,809	Muito bom
Blaney-Criddle	0,554	0,612	0,752	0,870	0,767	Muito bom
Camargo	0,599	0,612	0,782	0,999	0,781	Muito bom
Hargreaves-Samani	0,919	0,522	0,723	0,999	0,722	Bom
Ivanov	1,121	0,568	0,753	0,885	0,666	Bom
Período Seco						
Métodos	EEP (mm.dia ⁻¹)	R ²	r	d	c	Desempenho
Priestley-Taylor	0,928	0,668	0,817	0,992	0,817	Muito bom
Makking	0,938	0,648	0,805	0,998	0,805	Muito bom
Jensen-Haise	0,893	0,689	0,830	0,955	0,792	Muito bom
Ivanov	0,912	0,619	0,787	0,948	0,746	Bom
Hargreaves-Samani	0,883	0,347	0,598	0,988	0,591	Sofrível
Blaney-Criddle	0,470	0,343	0,585	0,999	0,584	Sofrível
Camargo	0,545	0,343	0,560	0,992	0,556	Sofrível

EEP= estimativa do erro padrão; R²= coeficiente de determinação; r= coeficiente de correlação; d= coeficiente de concordância; c= coeficiente de desempenho.

Os demais métodos apresentaram grande variação de desempenho em função da sazonalidade da região, conforme o evidenciado pelo índice de confiança *c*. A equação de CM, que considera a radiação extraterrestre e a temperatura do ar, apresentou desempenho classificado como “Muito bom” para o período chuvoso, porém mostrou-se inadequado para ser aplicado para região em estudo no período de estiagem. Gonçalves et al. (2009), visando correlacionar o método PM-FAO 56 e métodos de estimativa da ETo para o município de Sobral, CE, encontrou um baixo índice de confiabilidade para o método de CM, comportamento semelhante ao observado para o período seco de São João de Piauí. Em relação aos demais métodos, a equação de MK apresentou o mesmo desempenho independente da época do ano sendo caracterizado como o “Muito bom”. Comportamento similar ao observado por Arraes (2008), para Iguatu, CE e Oliveira et al., (2010), em Juazeiro, BA, encontrando valor do índice de desempenho de 0,75 e 0,67 respectivamente. As metodologias de HS e BC apresentaram as piores classificações quando utilizados no período seco em relação ao úmido, o que pode ser observado pelos valores pelos coeficientes de desempenho, qualificados como “Sofrível” no período seco e “Muito bom” no úmido. Dessa forma não atendem de forma satisfatória à estimativa de ETo principalmente para a região de São João no período seco.

CONCLUSÃO: Para as condições climáticas do município de São João do Piauí, o método de JH apresentou a melhor avaliação dos indicadores estatísticos, sendo o mais adequado para estimar a ETo nos períodos chuvoso e seco, devendo ser empregado por técnicos e produtores no manejo da irrigação de culturas exploradas na região.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D. & SMITH, M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome, FAO. 301 p.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BARROS, M. A.; MOUSINHO, F. E. P.; BASTOS, E. A.; BRAGA, D. L. Equações empíricas para a estimativa da evapotranspiração de referência diária para Parnaíba e Santa Rosa do Piauí. III Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação e II Conferência sobre Recursos Hídricos do Semiárido Brasileiro. Junho de 2010, Fortaleza, Ceará, Brasil.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; DA SILVA, C. O. (2009). **Zoneamento de Aptidão Climática para a Videira Europeia no Estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2009. 29 p. (Embrapa Meio Norte. Documentos, 194).
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; DA SILVA, C. O.; GOMES, A. A. N.; FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M. (2004). **Atlas climatológico do estado do Piauí**. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2004. 150 p. (Embrapa Meio Norte. Documentos, 101).
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; SENTELHAS, P. C.; SILVA, A. A. G. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para Parnaíba e Teresina, Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 63-68, 2003.
- ARRAES, F. D. D. ; OLIVEIRA, J. B. ; LOPES, F. B. ; LIMA, F. P. ; LUNA, N. R. de S. ; MESQUITA, E. de S. . **Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência em Iguatu, Ceará, em escala decenal**. In: Universidade Estadual Vale do Acaraú - X Encontro de Iniciação Científica e do III Encontro de Pós-Graduação e Pesquisa, 2008, Sobral - CE. X Encontro de Iniciação Científica e do III Encontro de Pós-Graduação e Pesquisa da UVA, 2008.
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. *Bragantia*, Campinas, SP, v. 59, n. 2, p.125-137, 2000.
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, 1997.
- CARVALHO, L. C. C.; BEZERRA, F. M. L.; CARVALHO, M. A. R. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da melancia sem sementes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 1, 2007.
- DORFMAN, R. **Critérios de avaliação de alguns métodos de cálculo da evapotranspiração potencial**. Porto Alegre. UFRGS. Dissertação de Mestrado, 1977. 210p.
- GONÇALVES, F. M. FEITOSA, H. O. CARVALHO, C. M. GOMES FILHO, R. R. VALNIR JÚNIOR, M. Comparação de métodos da estimativa da evapotranspiração de referência para o

município de Sobral-CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.3, n.2, p.71–77, Fortaleza, 2009.

MEDEIROS, P.V. **Análise da evapotranspiração de referência a partir de medidas lisimétricas e ajuste estatístico de estimativas de nove equações empírico-teóricas com base na equação de Penman-Monteith**. São Carlos, 2008. 241p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo, São Carlos.

MENDONÇA, J.C.; SOUSA, E.F.; ANDRE, R.G.B.; BERNARDO, S. Coeficientes do tanque Classe “A” para a estimativa da evapotranspiração de referência, em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.14, p.123-128, 2006.

OLIVEIRA, G. M.; LEITÃO, M. V. B. R.; BISPO, R. C.; SANTOS, I. M. S.; ALMEIDA, A. C. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência na região Norte da Bahia. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, p. 104-109, 2010.

OLIVEIRA, L. F. C.; CARVALHO, D. F.; ROMÃO, P. A. CORTÊS, F. C. Estudo comparativo de modelos de estimativa da evapotranspiração de referência para algumas localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, GO, v. 31, n. 2, p. 121-126, 2001.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba: Agropecuária, 478 p., 2002.

SOUZA, A. S. P. **Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para fins de manejo de irrigação**. Dissertação (mestrado) – UFRJ/PPGM/IGEO/CCMN. Rio de Janeiro, 2011.

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, p. 635–644, 2010.

TEIXEIRA, A. H. de C.; AZEVEDO, P. V. de. Zoneamento agroclimático para a videira europeia no Estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 139-145, 1996.