

## COMPARAÇÃO DE MÉTODOS EMPÍRICOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA BOM JESUS, PIAUÍ

REGIANA DOS S. MOURA<sup>1</sup>, ADERSON S. ANDRADE JÚNIOR<sup>2</sup>, EVERALDO M. SILVA<sup>3</sup>  
AURELIANO A. RIBEIRO<sup>4</sup> MARCELO SIMEÃO<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agrônoma, mestranda em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal do Piauí, Rod. BR 135, Km 3, CEP: 64900-000, Campus Cinobelina Elvas, Bom Jesus-PI E-mail: [regianna.ufpi@gmail.com](mailto:regianna.ufpi@gmail.com)

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

<sup>3</sup> Doutor em Eng. de Sist. Agrícolas, Professor da Universidade Federal do Piauí, Campus Cinobelina<sup>4</sup> Elvas, Bom Jesus-PI

<sup>4</sup> Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, mestrando em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal do Piauí

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, mestrando em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal do Piauí,

**RESUMO:** A quantificação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) proporciona a otimização do uso dos recursos hídricos de uma região, por permitir a aplicação adequada de água aos cultivos irrigados. Objetivou-se avaliar, para as condições climáticas de Bom Jesus-PI, nos períodos chuvoso e seco, diferentes métodos empíricos de determinação da evapotranspiração de referência Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Priestley-Taylor e Makkink, comparando-os com o método padrão de Penman-Monteith-FAO-56. Os dados meteorológicos utilizados neste estudo corresponderam ao período de maio de 2008 a abril de 2013 e foram obtidos na estação meteorológica convencional, do Instituto Nacional de Meteorologia do Município de Bom Jesus - PI, (latitude 09° 06' 00" S, longitude 44° 07' 00" W e 331,74 m de altitude). Para a análise comparativa entre os métodos de estimativa da ET<sub>o</sub> foram realizados cálculos de erro padrão de estimativa, dos coeficientes de determinação e correlação, índice coeficiente de concordância e o coeficiente c de desempenho. Os cálculos foram realizados com a utilização do software Microsoft Office Excel® (2010). Dos métodos estudados, o de Jensen-Haise (JH) obteve o melhor desempenho para os dois períodos estudados, sendo o mais indicado como alternativa para o manejo de irrigação dos cultivos na região de Bom Jesus – PI.

**PALAVRAS CHAVE:** Controle da irrigação, Necessidade hídrica, Monitoramento climático.

## COMPARISON OF EMPIRICAL METHODS FOR ESTIMATING EVAPOTRANSPIRATION REFERENCE FOR BOM JESUS, PIAUÍ

**ABSTRACT:** The knowledge and quantification of the reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>) accurately, provides the optimization of the use of water resources. Thus, aimed to evaluate for the conditions of Bom Jesus -PI , in the periods rainy and dry, different empirical methods of determining reference evapotranspiration Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Priestley-Taylor and Makkink (Mk), comparing them with the standard method of Penman-Monteith - FAO-6 method. The meteorological data used in this study corresponded to the period from May 2008 to April 2013 and were obtained from conventional weather station, the National Institute of Meteorology Municipality of Bom Jesus-PI, (09 latitude °06 '00"S, longitude 44° 07'00"W and 331.74 m asl). For comparative analysis between the methods of estimating evapotranspiration, calculations of standard error of estimate were performed, the coefficients of determination and correlation coefficient, concordance index and the coefficient c performance. Calculations were performed using Microsoft Office Excel ® software (2010). Among the methods studied, the Jensen-Haise (JH) obtained the best performance for the two periods studied, thus, the most indicated as an alternative for the management of irrigation in the region of Bom Jesus-PI.

**KEYWORDS:** Control of irrigation, Water requirements, Climate monitoring.

**INTRODUÇÃO:** O conhecimento e quantificação da evapotranspiração, de forma precisa, proporciona otimização do uso dos recursos hídricos, dos equipamentos de irrigação e da energia elétrica, e obtém redução nos custos de produção (SALES, 2008). Para a quantificação da evapotranspiração de referência, utilizam-se modelos empíricos ou ditos determinísticos com embasamento físico, com ou sem componentes aleatórios ou probabilísticos (Borges e Mendiondo, 2005). A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (*Food and Agriculture Organization* –FAO) recomenda o uso do método de Penman-Monteith para a estimativa de evapotranspiração (Allen *et al.*, 1998). Entretanto, esse modelo apresenta um nível de exigência de dados de entrada que dificultam sua aplicação, uma vez que tais elementos meteorológicos nem sempre se encontram disponíveis em algumas regiões. Carmo *et al.* (2005) mencionam que dados e informações são insuficientes ou não acessíveis para se promover uma adequada avaliação dos recursos hídricos, tornando os problemas mais graves nessa área. Nesses casos, a alternativa, seria o uso de equações simplificadas ou empíricas, que, conseqüentemente, perdem muito da realidade física, que é compensada ou substituída por relações estatísticas oriundas de experimentos. Essas equações empíricas são razoavelmente boas para o local onde foram calibradas. No entanto, para fornecerem estimativas precisas fora das condições em que foram definidas, precisam ser avaliadas e calibradas regionalmente (Mantovani, 1993). A região do Sul do estado do Piauí é considerada região produtora de grandes culturas como soja e milho, ou seja, a maior produção ocorre no período chuvoso, sendo uma região com grande potencial produtivo sob irrigação, pois está localizado abaixo de um dos maiores lençóis freático de água doce, podendo ser futuramente uma grande produtora de culturas irrigadas. Diante do exposto, objetivou-se avaliar, para as condições de Bom Jesus-PI, diferentes métodos empíricos de determinação da evapotranspiração de referência para os períodos chuvoso e seco: Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Priestley-Taylor e Makkink (Mk) comparando-os com o método padrão de Penman-Monteith-FAO-56.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os dados meteorológicos utilizados neste estudo corresponderam ao período de maio de 2008 a abril de 2013 e foram obtidos na estação meteorológica convencional, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), especificamente da unidade situada em Bom Jesus, PI com latitude 09° 06' 00" S, longitude 44° 07' 00" W e 331,74 m de altitude. A região é classificado como tipo Cwa, que corresponde a uma região tropical, com inverno seco e verão quente e chuvoso, precipitação local média de 900 a 1400 mm/ano e temperaturas médias de 28°C, embora durante o ano sejam comuns temperaturas entorno de 40°C (Viana *et al.*, 2008), com umidade relativa média é de 42,3% (INMET, 2013). Os métodos utilizados para a estimativa da ETo foram: Hargreaves-Samani (HS), Jensen-Haise (JH), Priestley-Taylor (PT), e Makkink (Mk) em comparação ao método padrão de Penman-Monteith (FAO), apresentados e descritos por Pereira *et al.* (2002). Para a análise comparativa entre os métodos avaliados e método padrão da (FAO), foram coletados dados diários das temperaturas máxima (T<sub>máx</sub>), média (T<sub>méd</sub>) e mínima (T<sub>mín</sub>), insolação, umidade relativa média do ar (UR), precipitações e velocidade do vento a 10 m de altura, sendo posteriormente convertida para 2 m. Os dados analisados foram divididos em períodos seco (maio a outubro) e chuvoso (novembro a abril). Após a tabulação desses dados foram realizados cálculos de erro padrão de estimativa (EPE), dos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) e correlação (r), índice *d* proposto por Willmott *et al.* (1985) e o coeficiente *c* de desempenho, que é o produto do coeficiente *r* com o índice *d* (Camargo e Sentelhas, 1997). Os cálculos e foram realizados com a utilização do software Microsoft Office Excel® (2010).

**RESULTADOS E DISCURSÃO:** Na Tabela 1 são apresentados a estimativa do erro padrão (EPE), coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e índice de concordância *d*, proposto por Willmott *et al.* (1985), entre os métodos comparados ao padrão FAO, bem como o coeficiente de desempenho *c* segundo a classificação de Camargo e Sentelhas (1997), para os períodos chuvoso (novembro a abril) e seco (maio a outubro) de maio/2008 a abril/2013.

**Tabela 01:** Desempenho dos métodos de estimativa da ETo mensal, entre os períodos chuvoso (novembro- abril) e seco (maio-outubro), de maio/2008 a abril/2013 para Bom Jesus, PI.

Equações	EPE	r <sup>2</sup>	R	d	C	Desempenho
<b>Período chuvoso</b>						
HS	0,763	0,166	0,407	0,978	0,398	Péssimo
JH	0,975	0,942	0,970	0,999	0,970	Ótimo

<b>PT</b>	1,290	0,931	0,964	0,808	0,779	Muito bom
<b>MK</b>	0,717	0,930	0,964	0,901	0,869	Ótimo
<b>Período seco</b>						
<b>HS</b>	0,885	0,456	0,675	0,986	0,666	Bom
<b>JH</b>	0,871	0,761	0,872	0,999	0,872	Ótimo
<b>PT</b>	1,201	0,795	0,891	0,389	0,347	Péssimo
<b>MK</b>	0,631	0,753	0,868	0,762	0,661	Bom

HS= método de Hargreaves-Samani; JH= Jensen – Haise; PT= Priestley-Taylor; MK= Makkink; EPE – Erro padrão de estimativa (%), calculado pelo somatório dos erros absolutos para os dois períodos;  $r^2$  – Coeficiente de determinação; d – Coeficiente de concordância; c – Índice de confiança ou desempenho.

Dentre os métodos avaliados, os que apresentaram melhor desempenho para o período chuvoso foram: Jensen- Haise (JH) e Makkink (MK) com valores dos índices (“c” 0,97 e 0,86), respectivamente, sendo assim classificados como Ótimos. Na sequência vem o método de Priestley-Taylor (PT) com índice de desempenho (“c” 0,77) classificado como Muito bom e estimativa de erro padrão (EEP) de 1,2 mm dia<sup>-1</sup>. Já o método de Hargreaves-Samani (HS) não apresentou resultado satisfatório com índice de desempenho classificado como Péssimo e uma correlação moderada, dessa forma, este método não é indicado para as condições climáticas dessa região, pois segundo Figueredo Júnior et al. (2011), os métodos que empregam apenas a temperatura do ar podem limitar representatividade das condições climáticas para efeito da estimativa da ETo, pois com os mesmos valores de temperatura do ar, a demanda hídrica da atmosfera apresentará de maneira diferente, conforme as condições de umidade do ar e velocidade do vento. Com estes resultados, pode-se inferir que os métodos indicados para a região de Bom Jesus – PI no período chuvoso são: JH, MK e PT, por apresentarem os melhores índices de desempenho entre os métodos avaliados, em virtude dos mesmos serem desenvolvidos para aplicação nas áreas irrigadas de regiões áridas e semiáridas, semelhante às condições climáticas da área deste estudo. Silva et al. (2011) em sua análise, afirmam que o método de Priestley-Taylor é o mais exato e confiável em relação aos métodos de Hargreaves-Samani. Na análise comparativa dos métodos avaliados a partir dos dados climáticos diários para o período seco, o método de Jensen – Haise (JH), assim como para o período chuvoso, foi o que apresentou melhor desempenho (“c” 0,87) classificado como Ótimo, apresentando uma correlação muito alta e estimativa de erro padrão (EEP de 0,87 mm dia<sup>-1</sup>) seguido pelos métodos Makkink (MK) e Hargreaves-Samani (HS) que tiveram desempenhos (“c” 0,66) classificados como Bom. Oliveira et al. (2010) encontraram desempenho “Bom” para o método HS aplicado a região norte da Bahia corroborando os resultados do presente trabalho. Já o método Priestley-Taylor (PT) teve desempenho (“c” 0,34) classificado como Péssimo e maior estimativa de erro padrão (EEP 1,2), devido a utilização de apenas uma variável climática (temperatura do ar) para o cálculo da ETo. Deste modo recomenda-se o emprego dos métodos de JH, HS e MK para essas condições climáticas no período seco por terem apresentados, notadamente, maiores índices “c”, e necessitarem de dados climáticos de mais fácil obtenção em campo para o cálculo da ETo como alternativa por meio do método padrão. Nolêto et al. (2013) comparando métodos de estimativa da evapotranspiração para Piripiri-PI, obtiveram ótimos desempenhos para esses mesmos métodos. Comparando os diferentes métodos de estimativa da ETo, nos dois períodos (chuvoso e seco) para o município de Bom Jesus- PI, (Tabala1), percebe-se que o método Jensen – Haise (JH), teve desempenho classificado como Ótimo, sendo este o mais indicado para avaliação da estimativa da evapotranspiração para o ano inteiro. E o método Makkink (MK) teve desempenho Ótimo e Bom para os períodos chuvoso e seco respectivamente, os demais métodos não apresentaram desempenho satisfatório nos dois períodos, assim não são indicados para uso da estimativa da ETo para o ano inteiro. Bragança et al. (2010), analisaram os dados climáticos de três localidades no Espírito Santo, numa escala diária, nos períodos seco e chuvoso de 2005, estimaram a evapotranspiração por meio de oito métodos e compararam com Penman-Monteith e obtiveram desempenho bom para o método de Priestley-Taylor e péssimo para Hargreaves e Samani, na localidade de Venda Nova, diferenciando do resultado para o presente trabalho que foram satisfatório e péssimo apenas em um dos períodos do ano, pode-se atribuir esse resultado as condições climáticas das diferentes regiões. Sales (2008) recomenda que o método de Jensen-Haise, deve ser indicado como opção, com certa restrição para uso na estimativa da evapotranspiração de referência nas cidades de cidades de Barbalha, Iguatu e Juazeiro do Norte, podendo ser utilizado sem restrições nos municípios de Acaraú, Campos Sales, Crateús, Fortaleza, Guaramiranga, Jaguaruana, Morada Nova, Paraipaba, Pentecoste,

Quixeramobim, Sobral e Tauá, onde apresentou um ajuste mais significativo em relação à equação de regressão ( $R^2$  de 0,91 a 0,97). Tendo esse método apresentado desempenho ótimo para os dois períodos em estudo podendo ser usado para essa região sem restrição.

**CONCLUSÃO:** Os métodos Jensen-Haise (JH) e Priestley-Taylor (PT) apresentaram, respectivamente, os melhores desempenhos nos dois períodos avaliados, sendo os mais indicados para estimar a ETo como alternativa para o manejo de irrigação na região de Bom Jesus – PI

## REFERÊNCIAS

- ALLEN R. G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, 56).
- BORGES, A.C., MEDIONDO, E.M. 2005, “**Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na bacia do rio Jacupiranga, SP**”. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16, João Pessoa, Novembro.
- BRAGANÇA, R.; REIS, E. F.; GARCIA, G. O.; PEZZOPANE, J. E. M. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência no período chuvoso para três localidades no Estado do Espírito Santo. **IDESIA**, Chile, v. 28, n. 2, mai.- ago., 2010.
- 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**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CARMO, R. L.; OJIMA, A. L. R. O; OJIMA, R. e NASCIMENTO, T. T. 2005. Água virtual: o Brasil como grande **exportador de recursos hídricos**. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XVI**, João Pessoa, 2005. Trabalho completo, João Pessoa, SBRH, CD-ROOM.
- FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M.; ARAÚJO, M. J. V.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Estimativa da evapotranspiração de referência na escala mensal com os métodos de Penman-Monteith, Thornthwaite, Priestley-Taylor para Parnaíba-Piauí**. Disponível em: <<http://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/finep/metasp.../file>>. Acesso em: 02 dez. 2011.
- INMET: Instituto Nacional de Meteorologia. **Informações meteorológicas, estação automática de Bom Jesus-PI** (em linha). (Acesso em 28 novembro 2013). Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/automaticas.php>>
- JENSEN, M.E., HAISE, H.R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *J. Irrigation and Drainage*. **Div. Proc. Am. Soc. Civil Engineers**. v. IR4, p. 15-41, 1963.
- MANTOVANI, E. C. **Desarrollo y evaluación de modelos para el manejo del riego: estimación de la evapotranspiración y efectos de la uniformidad de aplicación del riego sobre la producción de los cultivos**. Córdoba: ETSIA, Depto. Agronomía, 1993. 184 f. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – ETSIA/Córdoba.
- NOLÊTO, D. H.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BRAGA, D.L.; MOUSINHO, F. E. P.; SOUSA, C. C.; Comparação de métodos empíricos de estimativa da evapotranspiração de referência para Piripiri, PI, **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2013**, Fortaleza - CE, 2013.
- OLIVEIRA, J. B.; SILVA, I. N.; FONTES, L. O.; BRASIL, P. P. SILVA, M. G. Estimativa da evapotranspiração de referência com dados mínimos para o Cariri oeste cearense. **Revista ACSA - Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 6, n 3, p. 42 – 49, jul. – set., 2010.
- SALES, J. C. **Caracterização climática e comparação de métodos de estimativa de evapotranspiração de referência para regiões do Estado do Ceará**. 2008. 212p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem). Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu.
- SILVA, V. J.; CARVALHO, H. P.; DA SILVA, C. R.; CAMARGO, R.; TEODORO, R. E. F. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 95-101, jan.-fev., 2011.
- 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, september 20, 1985.
- VIANA, T. V. de A.; AZEVEDO, B. M. de. **Meteorologia e climatologia agrícolas**. Fortaleza, CE. Universidade Federal do Ceará, 2008.