

COMPARAÇÃO DA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PELOS MÉTODOS PENMAN-MONTEITH FAO 56 E JENSEN-HAISE

Ugo Leonardo Rodrigues Machado¹, Giordanio Bruno Silva Oliveira², Kadidja Meyre Bessa Simão³, Liherto Ferreira dos Santos⁴, Ana Luzia Medeiros Luz Espínola⁵,
José Espínola Sobrinho⁶

RESUMO: Estimativas precisas da evapotranspiração de referência são de fundamental importância para o planejamento agrícola de uma região. Devido ao método padrão necessitar de grande número de elementos meteorológicos, que nem sempre estão disponíveis em algumas regiões, tem se estudado a aplicação de métodos mais simples, que usam um menor número de variáveis meteorológicas. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho do método de Jensen-Haise em comparação ao método de Penman-Monteith FAO 56 para estimar a evapotranspiração de referência para as condições do semiárido nordestino durante um período de dois anos distintos: um ano chuvoso e o outro seco - 2011 e 2012, respectivamente. Nas estimativas, foram utilizados dados da estação automática da Universidade Federal do Semi-Árido. Os resultados mostraram que a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Jensen-Haise superestima a estimada pelo método padrão em todos os meses do ano, independente da precipitação anual.

PALAVRAS-CHAVE: Métodos empíricos; métodos e estimativa; ETo de referência.

COMPARISON OF THE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATE BY PENMAN-MONTEITH FAO 56 AND JENSEN-HAISE

ABSTRACT: Precise estimates of reference evapotranspiration are of fundamental importance for the agricultural planning of a region. Due to the standard method it needs a

¹ Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA, CEP 59625-900, Mossoró, RN. Fone (84)98814-8311. e-mail: hugoxpc@gmail.com

² Doutorando em Agronomia, UFRSA, Mossoró, RN

³ Graduanda em Eng. Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA, Mossoró, RN

⁴ Eng. Agrícola e Ambiental, Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA, Mossoró, RN.

⁵ Arquiteta, Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA, Mossoró-RN.

⁶ Prof. Doutor, Departamento de Engenharias e Ciências Ambientais, UFRSA, Mossoró, RN.

large number of meteorological elements, which are not always available in some regions, the application of simpler methods that use a smaller number of meteorological variables has been studied. The objective of this work was to evaluate the performance of the Jensen-Haise method in comparison to the Penman-Monteith method FAO 56 to estimate the reference evapotranspiration for the northeastern semiarid conditions during a period of two distinct years: a rainy and the other dry - 2011 and 2012, respectively. In the estimates, data were used from the automatic station of the Federal University of the Semi-Arid. The results showed that the reference evapotranspiration estimated by the Jensen-Haise method overestimates that estimated by the standard method in all months of the year, regardless of annual precipitation.

KEYWORDS: Empirical methods; methods and estimation; Reference ETo.

INTRODUÇÃO

A estimativa do consumo hídrico das culturas tem sido tema de vários estudos nas últimas décadas, onde várias foram às metodologias criadas para tentar representar de maneira precisa essa questão. A obtenção deste consumo pode ser realizada através de medições diretas no campo ou por meio indireto através de equações empíricas. As medições diretas muitas vezes requerem a utilização de equipamentos sofisticados e caros o que no geral inviabiliza sua utilização. Por isso, tem-se recorrido à utilização de equações empíricas, por geralmente serem mais práticas e viáveis de serem usadas para fins de manejo da irrigação (CAVALCANTE JÚNIOR et al., 2011).

Existem diferentes métodos indiretos para estimar a ETo de uma região, que utilizam um ou mais elemento meteorológicos (BRIXNER et al., 2014). Entretanto, é de fundamental importância que antes de aplicar um método para determinado local ou região, é necessário verificar o desempenho deste em relação ao método-padrão (Penman-Monteith FAO), em diferentes escalas de tempo e, quando necessário, fazer calibrações a fim de minimizar erros de estimativa (PEREIRA et al., 2009).

O método de Penman-Monteith FAO é considerado, pela comunidade científica mundial, o mais apropriado para estimar a ETo, pois considera os fenômenos biofísicos da evapotranspiração, utilizando um conjunto importante de variáveis meteorológicas (CARVALHO et al., 2011), contudo, esse método necessita de grande número de elementos meteorológicos, que nem sempre estão disponíveis em algumas regiões, levando, dessa forma, ao uso de equações mais simples, que necessitem de um número menor de elementos

meteorológicos (FIETZ et al., 2005). Diante da busca por um método mais simples para estimar a evapotranspiração de referência local, o objetivo desse trabalho foi avaliar o desempenho do método de Jensen-Haise em comparação ao método de Penman-Monteith FAO 56 para estimar a evapotranspiração de referência para as condições do semiárido nordestino durante um período de dois anos distintos: um ano chuvoso e o outro seco.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados no trabalho são referentes aos anos de 2011 e 2012 e foram coletados na estação automática da Universidade Federal do Semi-Árido, no município de Mossoró-RN, cujas coordenadas geográficas são as seguintes: latitude 5° 12' 48" S, longitude 37° 18' 44" W. Grw., e altitude de 37 m. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo BSw^h, ou seja, quente e seco, com temperatura média anual de 27,4 °C, precipitação pluviométrica anual bastante irregular com média de 672,9 mm, onde as maiores precipitações ocorrem no verão atrasando-se para o outono, e umidade relativa de 68,9% (CARMO FILHO et al., 1991).

Comparou-se a ETo dos respectivos anos por meio dos métodos de Penman-Monteith padronizado pela FAO e Jensen-Haise. Inicialmente, estimou-se a ETo diária de todos os dias do ano, onde em seguida, obteve-se as estimativas mensais, as quais foram consideradas para efeitos de comparação.

Para o cálculo da ETo pelo método de Penman-Monteith FAO 56, seguiu-se a metodologia descrita por Allen et al. (1998). Assim:

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

Em que: Δ : declividade da curva de pressão de vapor no ponto de temperatura média (kPa °C⁻¹); R_n : radiação solar líquida total do gramado (MJ m⁻² d⁻¹); G : fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹); γ : constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); e_s : pressão de saturação do vapor médio diário (kPa); e_a : Pressão atual de vapor médio diário (kPa); u_2 : velocidade do vento média diária a 2m de altura (m s⁻¹); e T_a : temperatura média do ar (°C).

No cálculo da ETo pelo método de Jensen-Haise (1963) utilizou-se a equação dos próprios autores. Dessa forma:

$$ETo = R_s (0,0252T_a + 0,078) \quad (2)$$

Em que: R_s : Radiação solar global ($\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$); e T_a : Temperatura média do ar em ($^{\circ}\text{C}$).

Os valores de ETo resultantes da aplicação dos dois métodos apresentados foram submetidos à análise estatística e a comparação foi baseada em regressão linear. A precisão dos modelos foi avaliada por meio dos índices estatísticos sugeridos Camargo e Sentelhas (1997) (Tabela 1): coeficiente de correlação (r), (equação 3), índice de Willmott (d) (equação 4) e indicador (c), sendo c obtido pelo produto de $d * r$.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - O) \cdot (P_i - P)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - O)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (P_i - P)^2}} \quad (3)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (4)$$

Em que: P_i : Valor estimado; P : Média do valor estimado; O_i : Valor observado; e O : Média dos valores observados.

Tabela 1. Valores dos coeficientes de desempenho 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 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 2 mostra o desempenho da equação de Jensen-Haise em relação a equação do método padrão. Com base nos valores verificou-se que para o ano de 2011 o desempenho foi

considerado sofrível, ao passo que em 2012 foi considerado mau. Em trabalho semelhante, Cavalcante Júnior et al. encontraram um desempenho ótimo ($c = 0,87$) para o método Jensen-Haise no período 2002 a 2008 com dados pertencentes a mesma estação meteorológica.

Tabela 2. Valores de coeficiente de correlação, índice de exatidão e coeficiente de desempenho referente ao período de 2011 e 2012 em Mossoró-RN.

Método		r	d	c	Desempenho
Jensen-Haise	2011	0,88	0,66	0,58	Sufrível
	2012	0,77	0,58	0,45	Mau

Na Figura 1 (A, B, C e D) pode ser visualizado a ETo estimada pelos métodos Penman-Monteith FAO 56 e Jensen-Haise para os anos de 2011 (ano chuvoso) e 2012 (ano seco). Verifica-se que a ETo estimada pelo método de Jensen-Haise é superior a ETo estimada pelo método de Penman-Monteith FAO 56 para todos os meses dos dois anos, sendo as maiores diferenças constatadas no primeiro semestre de ambos os anos.

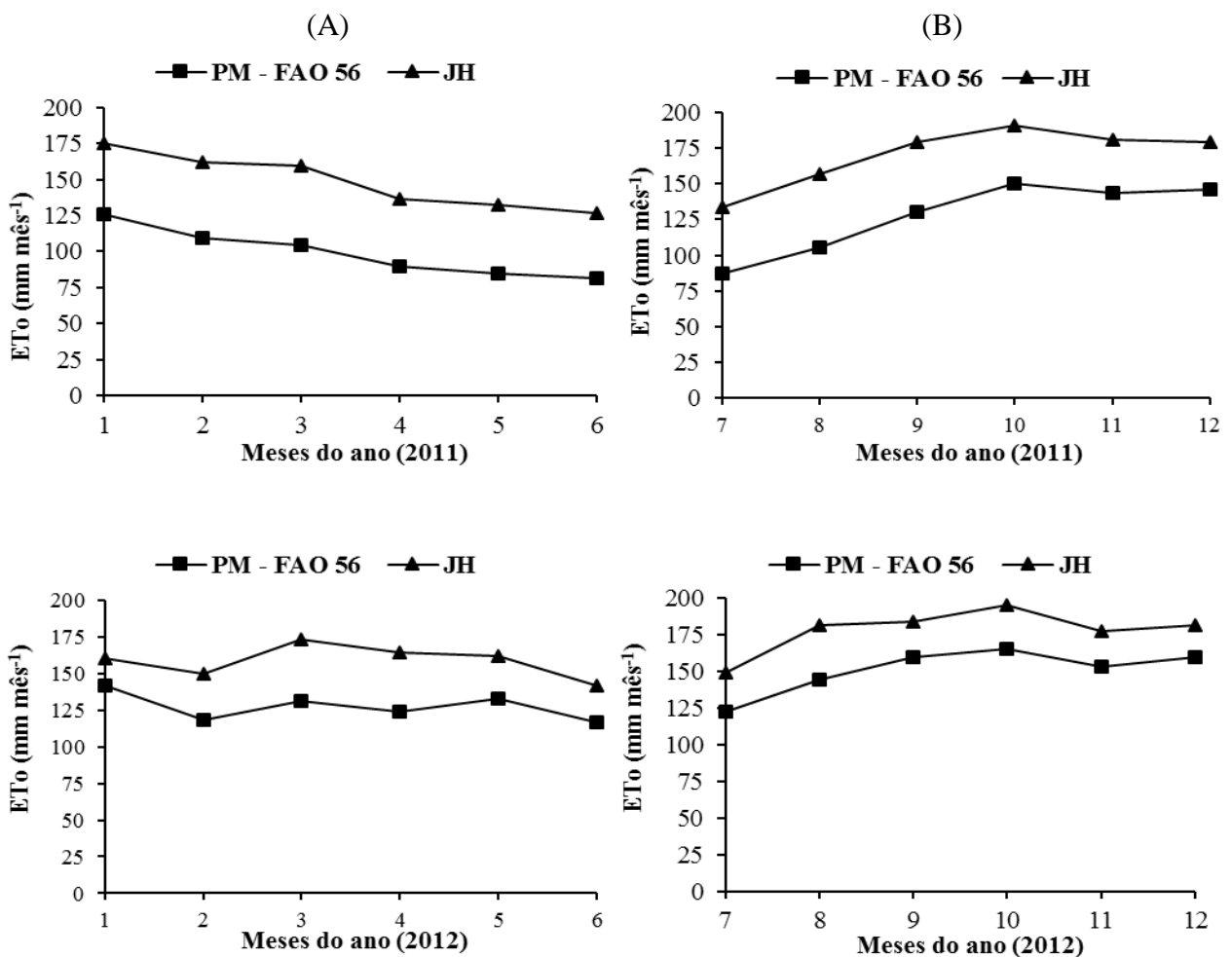


Figura 1. Evapotranspiração de referência estimada pelos métodos Penman-Monteith FAO 56 (PM FAO 56) e Jensen Haise (JH) para os anos de 2011 (A e B) e 2012 (C e D).

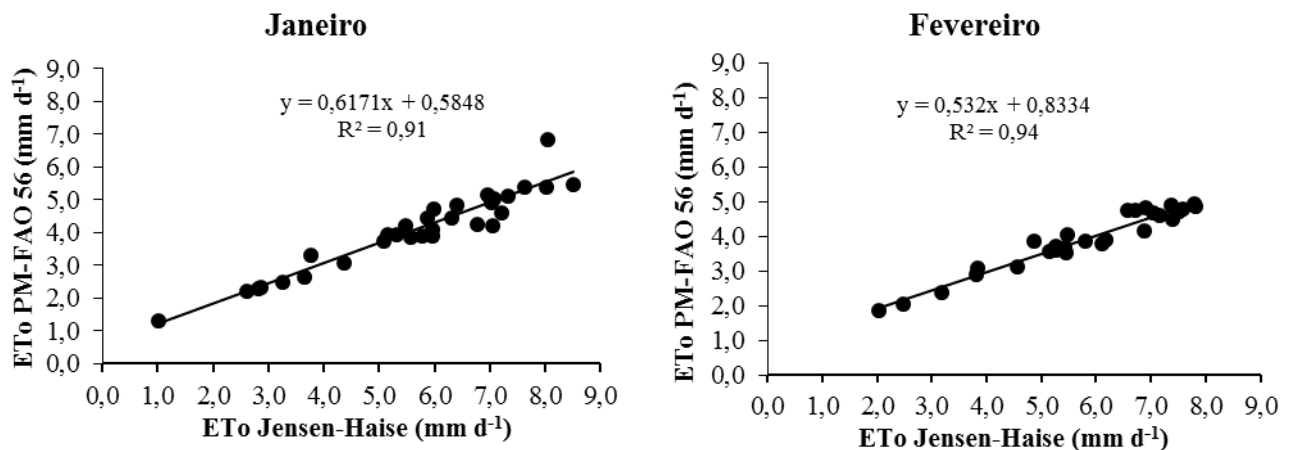
Para o ano de 2011, a diferença entre a ETo estimada entre os dois métodos é de 49,6% no primeiro semestre e 33,9% no segundo semestre. Quando comparado os valores do ano inteiro, é verificada uma diferença de 40,8% entre as estimativas. Já para o ano de 2012, essa diferença é de 24,4 e 18,0% para o primeiro e segundo semestre, respectivamente; no ano, a diferença observada foi de 21,0% (Figura 1).

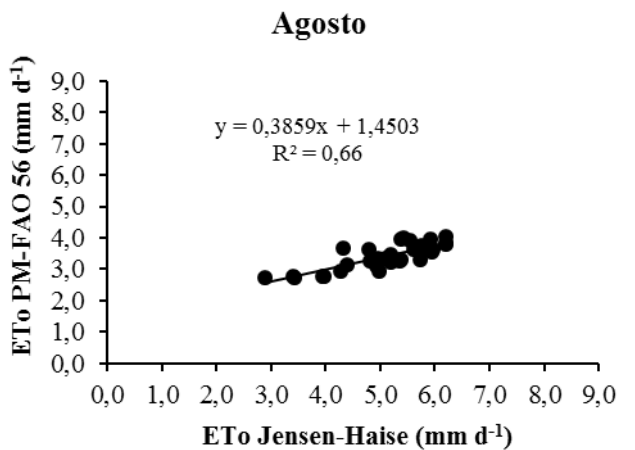
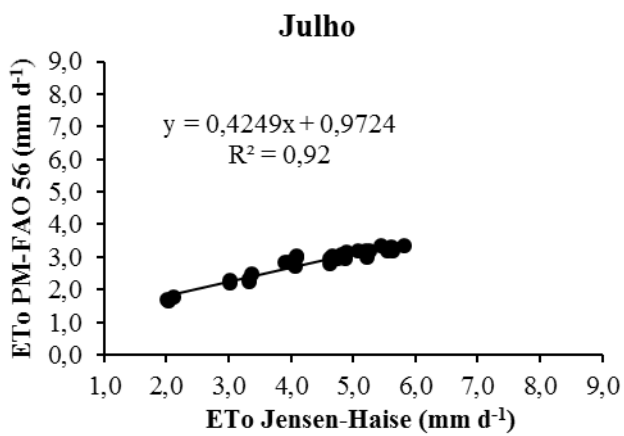
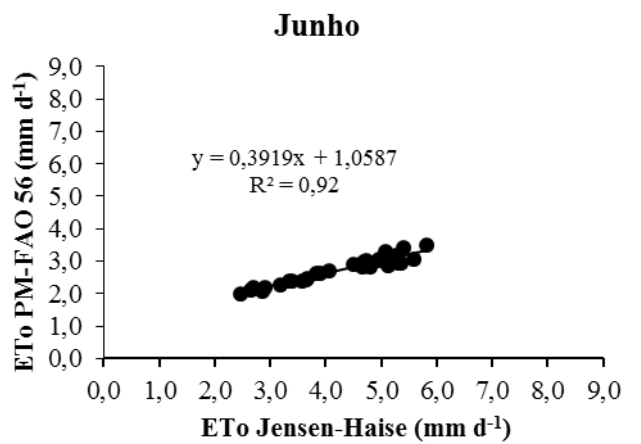
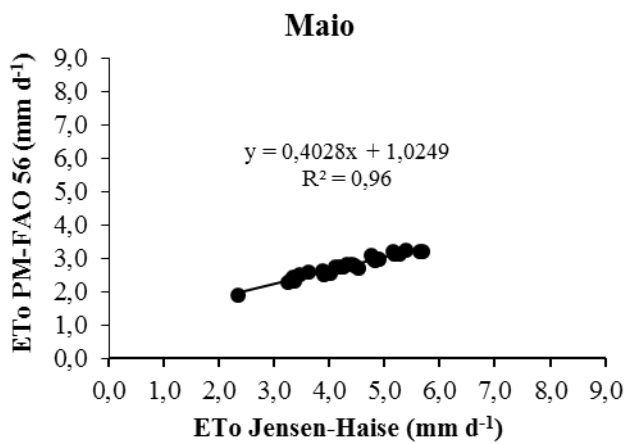
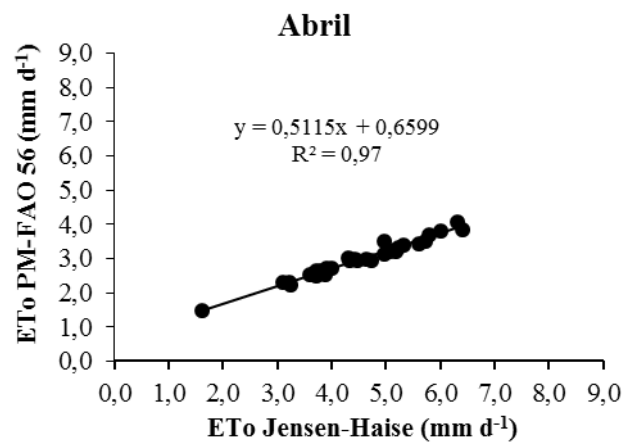
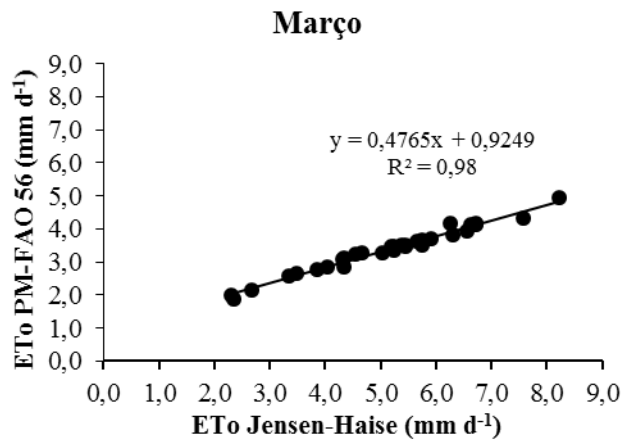
De acordo com Medeiros (2008) a equação de Jensen-Haise (1963) foi uma equação desenvolvida para regiões áridas e semiáridas, o que explica as menores diferenças constatadas no segundo semestre de cada ano quando comparado ao método padrão, como também no ano seco (2012).

Ainda em relação a figura 1, constata-se que a diferença de ETo estimada pelos dois métodos são maiores nos meses de maio e junho (55,8 e 55,5%) para o ano de 2011 e março e abril para o ano de 2012 (31,6 e 32,5%). Já as menores diferenças, no geral, foram observadas nos dois últimos meses do ano (25,8 e 22% em 2011 e 15,9 e 13,5% em 2012).

Os resultados obtidos nesse trabalho corroboram com estudos feitos na região. Moura et al. (2013) estudando a evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no estado de Pernambuco – Brasil, constataram que o método de Jensen-Haise superestimou a ETo em todos os meses do ano, com diferenças relativas entre 26,04% (novembro) e 36,18% (maio). Cavalcante Júnior et al. (2011) verificaram que o método de Jensen-Haise obteve desempenho ótimo no período seco e desempenho mediano no período úmido para estimativas feitas entre janeiro de 2002 e junho de 2008.

As figuras 2 e 3 apresentam a relação entre a evapotranspiração de referência mensal e anual estimada pelo método Penman-Monteith FAO 56 e Jensen-Haise para os anos de 2011 e 2011. Constata-se que nos períodos em que há maior precipitação, há uma maior correlação entre os métodos. Dessa forma, observa-se maior correlação (R²) para o ano chuvoso (2011).





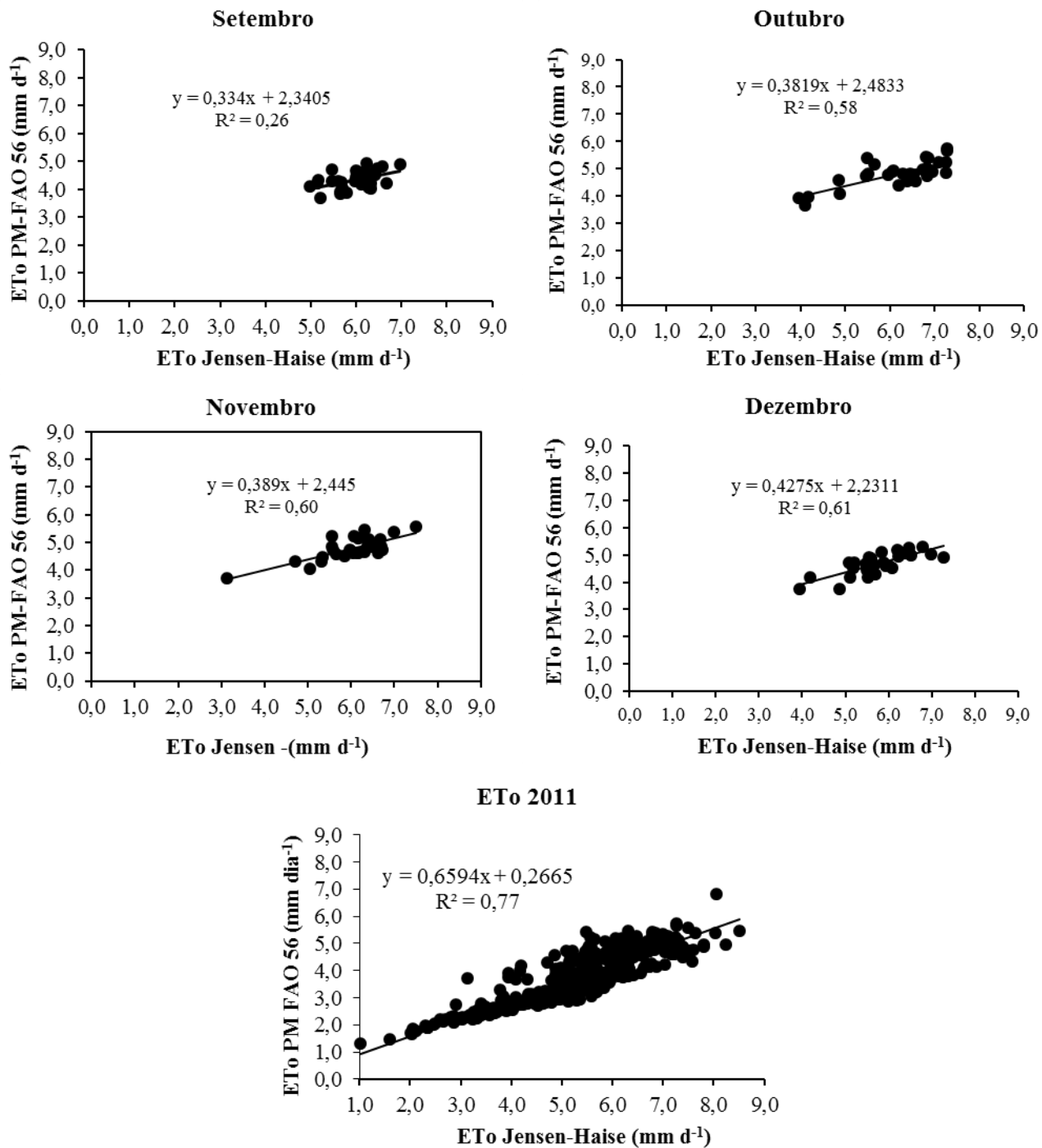
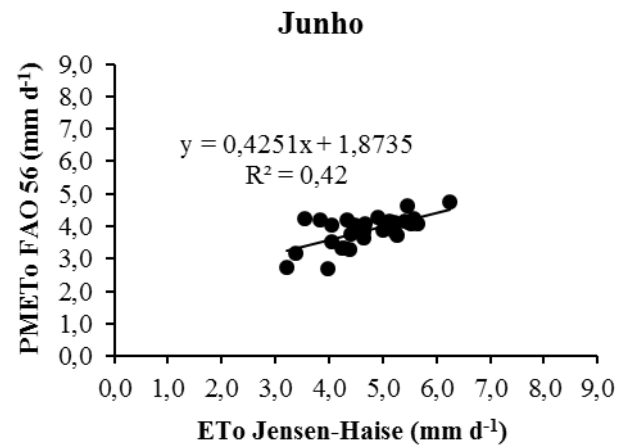
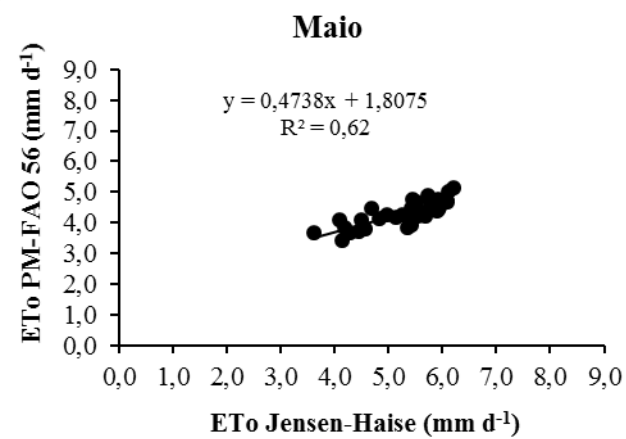
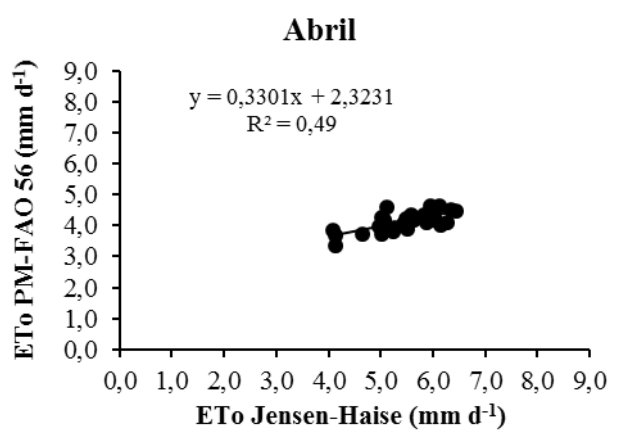
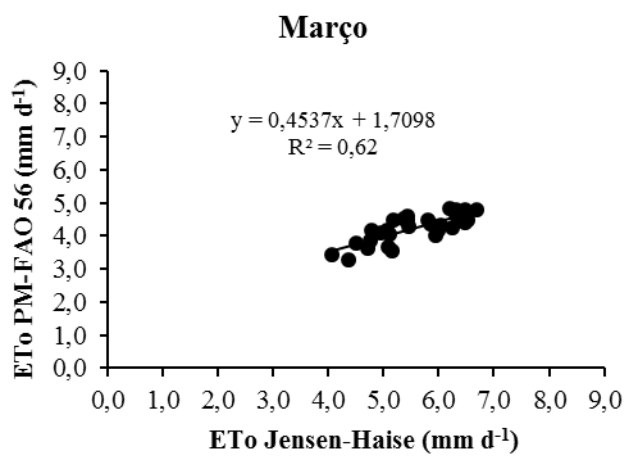
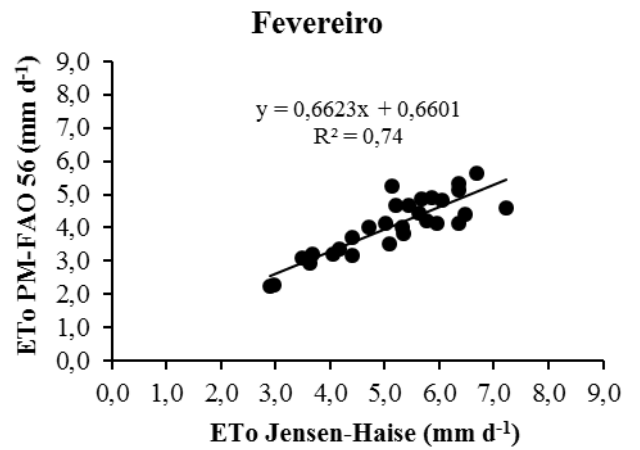
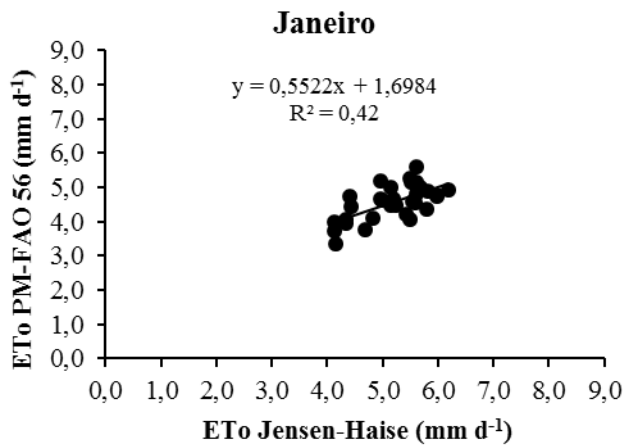
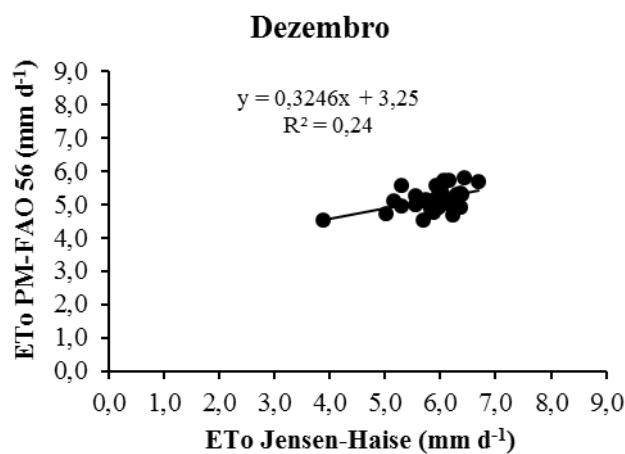
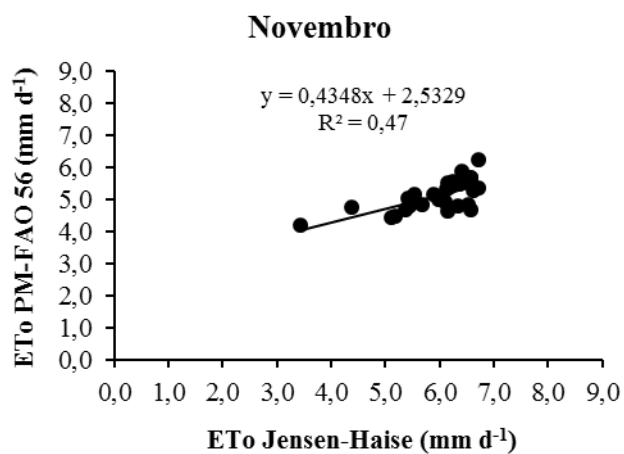
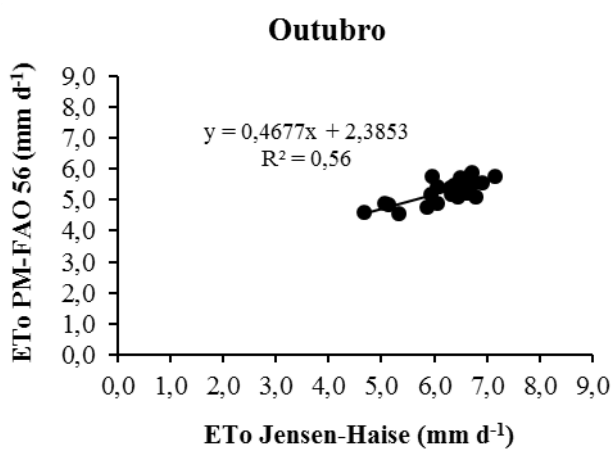
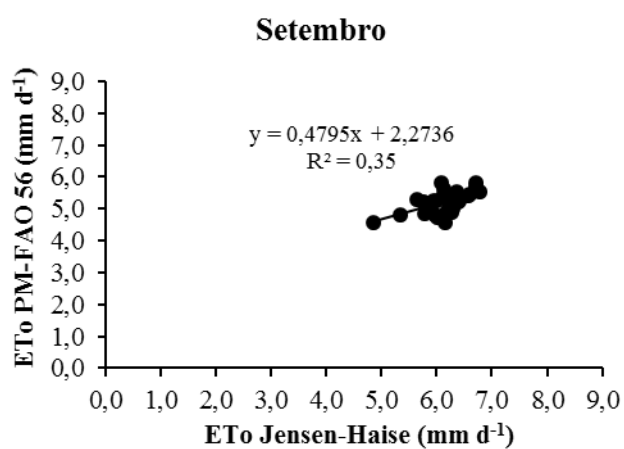
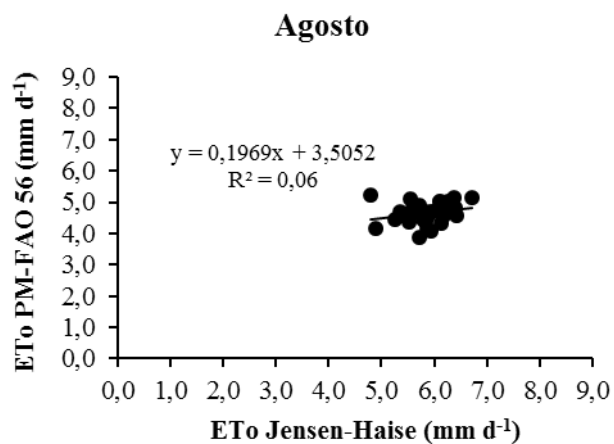
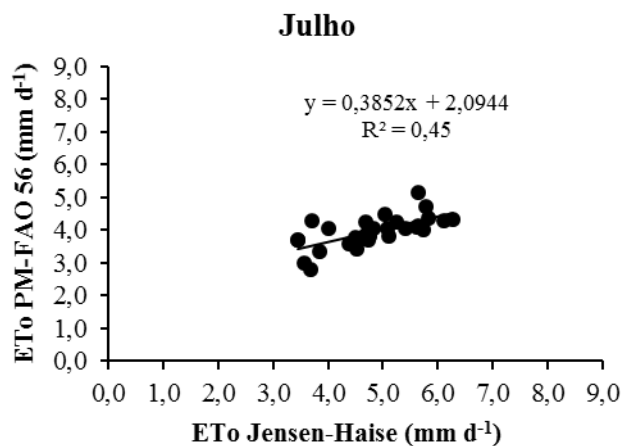


Figura 2. Relação entre a evapotranspiração de referência mensal e anual estimada pelo método de Penman-Monteith FAO 56 e Jensen-Haise para o ano de 2011.





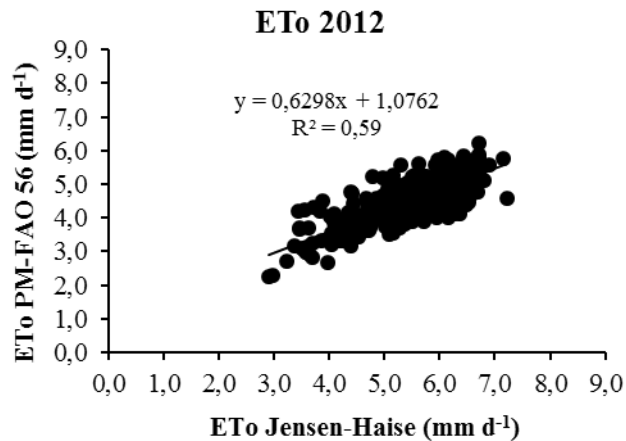


Figura 3. Relação entre a evapotranspiração de referência mensal e anual estimada pelo método de Penman-Monteith FAO 56 e Jensen-Haise para o ano de 2012.

CONCLUSÕES

Para a condição semiárida, independente da precipitação anual, o método de Jensen-Haise superestima a evapotranspiração de referência quando comparado ao método padrão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, Richard G.; PEREIRA, Luis Santos.; RAES, Dirk; SMITH, Martin. Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 310 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

BRIXNER, Gabriel Franke; SCHOFFEL, Edgar Ricardo and TONIETTO, Jorge. Determinação da evapotranspiração por diferentes métodos e sua aplicação no índice de seca na campanha gaúcha, Brasil. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 36, n. 4, p. 780-793, 2014.

CAMARGO, Ângelo Paes.; SENTELHAS, Paulo Cesar. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 5, n. 1. p. 89-97, 1997.

CARMO FILHO, Francisco do; ESPÍNOLA SOBRINHO, José; MAIA NETO, Jorge Moreira. Dados meteorológicos de Mossoró (janeiro de 1988 a dezembro de 1990). Mossoró: ESAM, 1991. v. 4, 470 p.

CAVALCANTE JÚNIOR, Edmilson Gomes; OLIVEIRA, Alexsandra Duarte; ALMEIDA, Bruno Marçal; ESPÍNOLA SOBRINHO, José. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste. Seminário: Ciências Agrárias, v. 32, suplemento 1, p. 1699-1708, 2011. DOI: 10.5433/1679-0359.2011v32Suplp1699

FIETZ, Carlos Ricardo; SILVA, Fabiano Chaves da.; URCHEI, Mario Artemio. Estimativa da evapotranspiração de referência diária para a região de Dourados, MS. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 13, n. 2, p. 225-250, 2005.

JENSEN, Marvin Eli.; HAISE, Howard Ross. Estimating evapotranspiration from solar radiation. Journal of the Irrigation and Drainage Division-ASCE, v. 4, n. 1, p. 15-41, 1963.

MEDEIROS, Patrick Valverde. Análise da evapotranspiração de referência a partir de medidas lisimétricas e ajuste estatístico de nove equações empíricas- teóricas com base na equação de Penman-Monteith. 2008. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Paulo.

PEREIRA, Donizete Reis; YANAGI, Sílvia de Nazaré Monteiro; MELLO, Carlos Rogério de; SILVA, Antônio Marciano; SILVA, Lucas Alves. 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. 2.488-2.493, 2009.