



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

Estimativa de Evapotranspiração de Referência no Semiárido Pernambucano

Ana Paula Nunes da Silva¹; Leandro Rodrigues de Souza²

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estimar a evapotranspiração de referência (ET_o) diária no município de Pesqueira (PE) no ano de 2007. Utilizou-se modelos empíricos Hargreaves-Samani (ET_oHS), Linacre (ET_oLI), Priestley-Taylor (ET_oPT) e Jensen-Haise (ET_oJH) e Penman-Monteith (ET_oPM) como padrão para observar a variação da evapotranspiração ao longo do ano. Depois foram correlacionados com a ET_oPM proposto no estudo, por estação do ano. Além disso, os métodos foram confrontados com os valores estimados de Penman-Monteith por meio de índices estatísticos (concordância de Willmott). Verificou-se que as correlações da ET_oPT e ET_oJH com ET_oPM, obtiveram o melhor ajuste, cujos coeficientes foram 0,95 e 0,97 (no verão), 0,98 e 0,99 (no outono), 0,93 e 0,96 (no inverno) e 0,78 e 0,84 (na primavera), respectivamente. A ET_oPT foi a que apresentou melhor desempenho em todas as estações do ano através do teste estatístico. Conclui-se que o método de Priestley Taylor se ajusta bem para Pesqueira (PE), o que evidencia que a ET_oPT poderá ser utilizada na forma proposta para estimativa da ET_o deste local.

Palavras-chaves: demanda hídrica; índice de Willmott; Penman-Monteith

ESTIMATE OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION IN THE SEMIARID OF PERNAMBUCO STATE

ABSTRACT

The objective of this work was determinate the reference evapotranspiration of (ET_o) daily at Pesqueira City (PE) in 2007. It was used empirical models of Hargreaves-Samani (ET_oHS), Linacre (ET_oLI), Priestley-Taylor (ET_oPT), Jensen-Haise (ET_oJH) and Penman-Monteith (ET_oPM) as standard to observe the variation of the evapotranspiration in the year. After the evapotranspiration values had been correlated with the ET_oPM considered in the study, each year weather season. Moreover, the methods had been collated with the determined values of Penman-Monteith with statistical indices (Willmott index). It was verified that the correlations between ET_oPT and ET_oJH with ET_oPM had gotten optimum adjustment, whose coefficients had been 0.95 and 0.97 (in the summer), 0.98 and 0.99 (in the autumn), 0.93 and 0.96 (in the winter) and of 0.78 and 0.84 (in the spring), respectively. The ET_oPT values were the one that presented better performance in seasons through the statistical test. It concludes that Priestley-Taylor method adjusts well for Pesqueira City (PE), what it evidences that the ET_oPT could be used in the form proposal for estimate of the ET_o of this place.

Keywords: water requirements; Willmott indice; Penman-Monteith

Trabalho recebido em 17/09/2011 e aceito para publicação em 11/11/2011.

¹ Doutoranda em Meteorologia da UFCG. Av. Aprígio Veloso, 882. Campina Grande, PB. E-mail: apns@ymail.com

² Mestrando em Meteorologia da UFCG. Av. Aprígio Veloso, 882. Campina Grande, PB; E-mail: souzalr@msn.com

1. INTRODUÇÃO

A evapotranspiração é uma fração do ramo superficial ascendente do ciclo hidrológico, forma pela qual a água da superfície terrestre passa para a atmosfera no estado de vapor, sendo a resposta aos processos evaporativos do solo (nu e/ou vegetado) juntamente com o respiratório dos vegetais, tendo papel importantíssimo no ciclo hidrológico em termos globais.

Na agricultura, informações quantitativas da evapotranspiração são de grande importância na avaliação da severidade, distribuição e frequência dos déficits hídricos, elaboração de projetos e manejo de sistemas de irrigação e drenagem (HENRIQUE & DANTAS, 2007).

Em regiões semiáridas o déficit observado no balanço hídrico anual constitui um grave problema as atividades agropecuárias, pois a deficiência hídrica limita à produção agrícola, diminui a disponibilidade de água para dessedentação animal e consumo humano, sendo assim fonte de risco agrícola nestas áreas. Desta forma a quantificação da evapotranspiração assume particular importância em virtude destes eventos de déficit hídrico, ajudando no planejamento agrícola, indicando o período de escassez de água e assim buscando-se formas de as

culturas para que não haja perda da agrícola.

No início da década de 40 do século XX Thornthwaite utilizou o termo “evapotranspiração” para expressar esta ocorrência simultânea dos processos de evaporação da água no solo e da transpiração das plantas. Ela é controlada pelo balanço de energia, pela demanda atmosférica e pela provisão de água do solo às plantas.

Dentre os vários tipos de evapotranspiração, destaca-se a evapotranspiração de referência (ET_o). A evapotranspiração de referência é uma variável relevante para o planejamento de irrigação, além de fácil obtenção haja vista ser afetada apenas pelos fatores climáticos (SOUSA *et al.*, 2010).

Durante uma década a FAO (Food and Agriculture Organization) adotou o conceito e a forma de cálculo da evapotranspiração de referência proposta por Doorenbos & Pruitt (1977), Allen *et al.* (1989), comparando a evapotranspiração de referência obtida pelos métodos de Penman, Kimberly-Penman, Penman corrigido e Penman-Monteith; com medições lisimétricas, observaram que o modelo de Penman-Monteith foi o que melhor se ajustou às medições diárias e mensais e concluíram que a alfafa se ajusta melhor que a grama como cultura padrão na determinação da evapotranspiração de

referência, visto que sua altura e rugosidade se aproximam da maioria das culturas agrícolas. A calibração da equação de Penman provocou vários problemas na definição da cultura de referência. Alguns pesquisadores argumentaram que as variedades de grama e suas características morfológicas não são padronizadas para diferentes condições climáticas e a alfafa apresenta problemas de variedade e manejo (Allen *et al.*, 1994). Este método, que tem sido amplamente utilizado em todo o mundo (BORGES & MENDIONDO, 2007), foi estabelecido para uma cultura hipotética com as seguintes características: resistência estomática de 70 s.m^{-1} , altura da cultura hipotética fixada em 0,12 m e albedo de 23% (ALLEN *et al.*, 1998).

Os métodos de estimativa da evapotranspiração estão divididos em métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos estimam a evapotranspiração potencial diretamente por meio de lisímetros, balanço hídrico e controle de umidade no solo. Entretanto estes métodos além de onerosos, pois exigem equipamentos e instalações especiais e os instrumentos são de alto custo, também requerem um monitoramento quase que constante devido a possíveis falhas no sistema, quebra de equipamento devido a fatores adversos, etc.

Devido à dificuldade de se medir de forma direta a evapotranspiração, vários

estudos já foram realizados para se estimar empiricamente esta variável meteorológica. A título de exemplo: Mendonça *et al.* (2003); Araújo *et al.* (2007); Henrique & Dantas (2007); Syperck *et al.* (2008); Fernandes *et al.* (2010) Lemos Filho *et al.* (2010); Mendonça & Dantas (2010). As conclusões variam muito segundo cada autor, principalmente, pelas áreas de estudos serem climatologicamente diferentes. Desta forma, Pereira *et al.* (2009) recomendam que antes de aplicar um método para determinado local, é necessário verificar o desempenho deste e, quando necessário, fazer calibrações a fim de minimizar erros de estimativa.

A ETo para a região de Seropédica (RJ) foi analisada por Barros *et al.* (2009) que correlacionaram as medidas obtidas em lisímetros de pesagem com os métodos de Penman-Monteith (PMF), Hargreaves-Samani (HS), Camargo (CA), Priestley-Taylor (PT), Makking (MA) e Tanque Classe A (TCA). Os autores verificaram que os valores de ETo estimados por PMF, PT e MA se mostraram bem correlacionados àqueles determinados pelo lisímetro de pesagem, enquanto que os métodos de HS e CA não apresentaram ajuste satisfatório aos dados do lisímetro.

A estimativa da ETo pelo método de Penman-Monteith e Hargreaves foi analisada para a região de Pyrenees

(nordeste da Península Ibérica) por Lopez-Moreno *et al* (2009) que, calcularam a ETo com valores (radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento) ora obtidos na estação meteorológica de Yesa ora estimados e, verificaram uma superioridade na equação de Penman-Monteith para calcular a Eto (quando obtidas por com dados medidos e estimados) quando comparada com o método de Hargreaves. Mostrando que mesmo na ausência de dados, a estimativa destes ainda é válida para se obter a ETo pelo método de Penman-Monteith.

Sousa *et al.* (2010) compararam estimativas ETo em quatro perímetros irrigados em Sergipe, compreendendo o período de 1989 a 1993, com base nos métodos do Tanque Classe “A”, Radiação Solar, Hargreaves-Samani e Linacre comparados ao método de Penman-Monteith (FAO/56). Os autores obtiveram os melhores desempenhos com os métodos que utilizam a radiação solar como dado de entrada no modelo e o método do Tanque Classe “A” não apresentou desempenho satisfatório em nenhum perímetro irrigado estudado.

Na região de Uberlândia (MG), Silva *et al.* (2011) avaliaram os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência de Thornthwaite, Camargo, Hargreaves-Samani, Priestley-Taylor e do Tanque Classe A. As medidas

evapotranspiração diária estimadas foram correlacionadas com as obtidas pelo método padrão (Penman-Monteith FAO/56) por meio de índices estatísticos. O método de Priestley-Taylor apresentou ótimo desempenho, enquanto os métodos de Thornthwaite e Hargreaves-Samani apresentaram bom desempenho, tornando-se uma alternativa para se estimar a evapotranspiração de referência quando se dispõe apenas dos dados de temperatura do ar. O método de Camargo obteve desempenho regular, enquanto que o do Tanque Classe A apresentou péssimo desempenho.

Desta forma, com base na necessidade de se verificar a eficiência dos métodos de estimativa da evapotranspiração com vistas a fornecer subsídios ao planejamento agrícola, no presente trabalho estimou-se a ETo por métodos indiretos e determinar a que melhor se assemelha ao método padrão de Penman-Monteith.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O município de Pesqueira situa-se na mesorregião do Agreste setentrional do Estado de Pernambuco (Figura 1) a 230 km de Recife (PE), com coordenadas geográficas 8,17°S, 35,18°W e 650 m de altitude. A chuva média anual climatológica do município é de 701,5 mm e evaporação de 1589,8 mm. O clima do

local é classificado, segundo Köppen, como BShw' semiárido quente, caatinga hiperxerófila, com temperatura média anual de 22,7°C, umidade relativa média

anual de 73%, e velocidade média do vento de 2,5 m.s⁻¹.

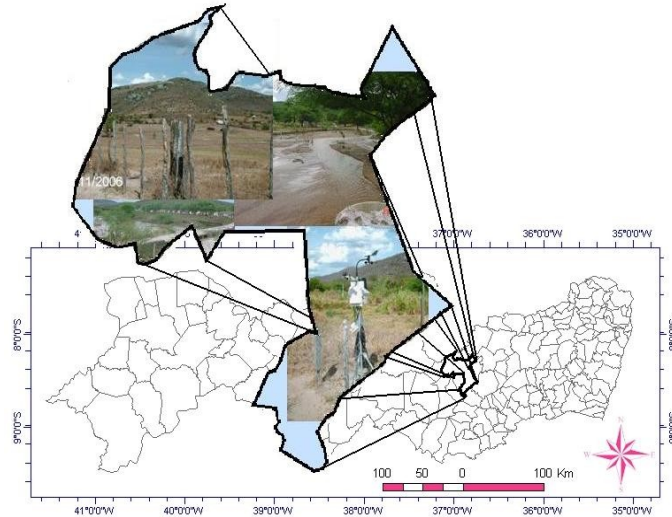


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo

Foram utilizados dados diários de temperaturas, umidade relativa do ar, irradiação solar, precipitação, pressão e velocidade do vento a 2 m, provenientes da estação monitorada pelo 3º DISME (Distrito de Meteorologia), localizada no município de Pesqueira (PE), com coordenadas 8,4°S, 36,77°W e altitude de 639 metros. Com a planilha do Excel digitaram-se esses valores e se estimou, por estação do ano, a ETo pelos métodos empíricos citados a seguir.

Estimativa da Evapotranspiração Potencial de Referência

Método de Penman-Monteith (PM)

Na estimativa da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith utilizou-se a Eq. 1, de acordo com o Boletim 56/FAO (Allen *et al.*, 1998), considerando-se a resistência estomática de 70 s.m⁻¹, a altura da cultura hipotética fixada em 0,12 m e albedo de 0,23.

$$ET_{oPM} = \frac{0,4808\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900U_2}{T + 273} \right) (e_s - e)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad [mm.d^{-1}]$$

em que: Δ é a declinação da curva de saturação do vapor d'água (kPa.°C⁻¹); R_n é

o saldo de radiação (MJ.m⁻².d⁻¹); G , a densidade do fluxo de calor no solo (MJ.m⁻².d⁻¹); γ , o fator psicométrico (MJ.kg⁻¹);

U_2 , a velocidade do vento (média diária) a 2 m acima da superfície do solo; e_s , a pressão de saturação do vapor (KPa); e , a pressão real do vapor (KPa); e, γ é o fator psicrométrico (MJ.kg^{-1}). Considera-se a resistência estomática de 70 s.m^{-1} , a altura da grama fixada em 0,12 m e albedo de 0,23.

Método de Hargreaves-Samani (HS)

Hargreaves e Samani (1985) propuseram a Eq. 2 através de dados no lisímetro de Davis (California, EUA), região de clima semiárido.

$$ET_{oHS} = 0,0023(T_{med} + 17,8)(T_{max} - T_{min})^{0,5} Q_0 \quad [mm.d^{-1}] \quad (02)$$

$$ET_{oL} = \frac{J \left(\frac{T_{med} + 0,006z}{100 - \phi} \right) + 15(T_{med} - T_d)}{80 - T_{med}} \quad [mm.d^{-1}] \quad (03)$$

em que: J - é uma constante, cujo valor é de 500 para áreas vegetadas e 700 em superfície livre; z - é a altitude do local em metros; ϕ - é a latitude ($^\circ$, em módulo); e T_d - é a temperatura do ponto de orvalho ($^\circ\text{C}$, Eq. 4).

$$T_d = \frac{237,3 \times \log\left(\frac{e}{6,11}\right)}{7,5 - \log\left(\frac{e}{6,11}\right)}$$

em que: T_{med} , T_{max} e T_{min} - representam, respectivamente, as temperaturas média, máxima e mínima; e, Q_0 - é a radiação solar no topo da atmosfera, em milímetros de evaporação equivalente (mm.d^{-1}).

Método de Linacre (LI)

Consiste da simplificação da equação de Penman-Monteith, tornando-se possível a estimativa da evapotranspiração de referencia através de dados geográficos (latitude e altitude) e temperaturas do ar e do ponto do orvalho, sendo obtida pela Eq. 3.

Método de Priestley-Taylor (PT)

O método Priestley-Taylor (1972) consistiu-se numa simplificação do método Penman-Monteith.

$$ET_{oPT} = \frac{\alpha W (R_n - G)}{\lambda} \quad [mm.d^{-1}]$$

em que: α - é o parâmetro de Priestley-Taylor; λ - é o calor latente de evaporação (MJ.Kg^{-1}); e, W - é o fator de ponderação, que varia em função da temperatura do ar ($^\circ\text{C}$) e do parâmetro psicrométrico, que pode ser estimado pela Eq. 6 (Viswanadham *et al.*, 1991).

$$W = \begin{cases} 0,407 + 0,0147T_{med} & \rightarrow 0 < T_{med} < 16^{\circ}C \\ 0,483 + 0,100T_{med} & \rightarrow 16,1 < T_{med} < 32^{\circ}C \end{cases}$$

O parâmetro de Priestley-Taylor; o qual incorpora a energia adicional ao processo de evapotranspiração proveniente do termo aerodinâmico. Foi adotado a esse coeficiente um valor médio de 1,26, em condições mínimas de advecção regional.

Método de Jensen-Haise (JH)

Jensen & Haise (1963) apresentaram um método baseado na temperatura e radiação solar (Eq. 7) para regiões áridas e semiáridas.

$$ET_{oJH} = R_g (0,0252T_{med} + 0,078) \quad [mm.d^{-1}]$$

em que: R_g - é a radiação global expressa em equivalente de evaporação ($mm.d^{-1}$).

Análise estatística

Os valores de ET_o estimados nos métodos de Hargreaves-Samani (HS), Linacre (L), Priestley-Taylor (PT) e Jensen-Haise (JH), foram confrontados com os valores estimados por PM por meio de índices estatísticos, como: o índice de concordância de Willmott (WILLMOTT *et al.* 1985), d (Eq. 8), o coeficiente de correlação de Pearson, r (Eq. 9) e pelo coeficiente de confiança ou desempenho (Eq. 10).

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right]^{(06)}$$

em que: d - é o índice de exatidão, adimensional (seus valores podem variar de 0, para nenhuma concordância, a 1, para uma concordância perfeita); E_i - é o valor estimado; O_i - é o valor observado; \bar{O} - é a média dos valores observados; e, N - é o número de observações.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (07)$$

em que: r - é o coeficiente de correlação de Pearson, adimensional; x_1, x_2, \dots, x_n e y_1, y_2, \dots, y_n - são os valores medidos de ambas as variáveis.

$$c = r \times d$$

em que: c - é o coeficiente de confiança ou desempenho, adimensional; r - é o coeficiente de correlação de Pearson; e, d - é o índice de concordância de Willmott.

O coeficiente c , proposto por Camargo & Sentelhas (1997), é interpretado de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Critérios de interpretação do índice de desempenho (c) dos métodos de estimativa da ETo

– Índice de Desempenho (c)	– Classificação
– > 0,85	– Ótimo
– 0,76 – 0,85	– Muito Bom
– 0,66 – 0,75	– Bom
– 0,61 – 0,65	– Mediano
– 0,51 – 0,60	– Sofrível
– 0,41 – 0,50	– Mal
– < = 0,40	– Péssimo

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Evapotranspiração de referência no verão

Observa-se na Figura 2 a comparação dos valores diários da ETo calculada pelos métodos PM, HS, LI, PT e JH, no verão de 2007, em Pesqueira (PE). Percebe-se que os valores apresentam a mesma variabilidade temporal, apresentando valores máximos em torno do 50º dia do verão (10 de

fevereiro). No período a média da estimativa da EToHS, EToPT e EToJH foram de 5,31, 5,40 e 6,21 mm.dia⁻¹, respectivamente, valores superiores ao estimado pelo método de Penman-Monteith, que teve média de 4,25 mm.dia⁻¹. Já o método de Linacre estimou valores oscilando entre 2,99 e 4,99 mm.dia⁻¹, com valor médio de 4,17 mm.dia⁻¹. Estes valores demonstram diferenças significativas entre os métodos nesta estação do ano.

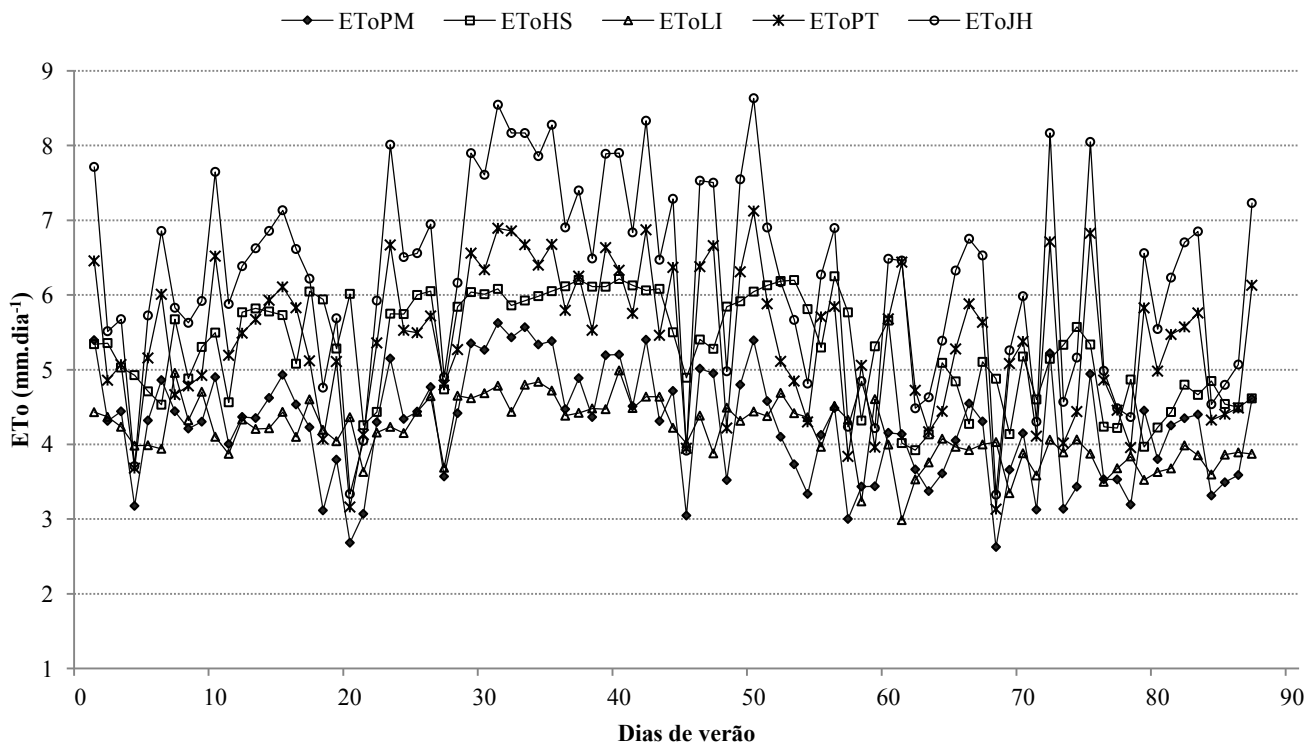


Figura 2. Evapotranspiração de referência (E_{To}) calculada pelos métodos de Penman-Monteith (E_{ToPM}), Hargreaves-Samani (E_{ToHS}), Linacre (E_{ToLI}), Priestley-Taylor (E_{ToPT}) e Jensen-Haise (E_{ToJH}), no verão de 2007, em Pesqueira (PE)

Na Figura 3 estão apresentados os gráficos e os modelos resultantes da regressão linear considerando os métodos de estimativa utilizados na análise tendo a E_{ToPM} como padrão. Nota-se que os métodos de PT (Figura 3C) e JH (Figura 3D) ajustaram-se melhor com r^2 de 0,94 e 0,90, respectivamente, apesar de superestimarem os valores em relação à E_{ToPM} . Para a estação o método PT foi o único que teve desempenho aconselhável para uso, com coeficiente de correlação (r) de 0,95 e desempenho “Mediano” (Tabela

2). Já os métodos HS e LI , além de não apresentarem uma boa reta de ajuste tenderam a superestimar e subestimar, respectivamente, os valores estimados da E_{ToPM} e tiveram desempenho “Péssimo” e “Mau”. O mesmo foi observado por Souza *et al.* (2010) para 3 dos 4 perímetros irrigados em Sergipe em que o método PT foi considerado como “Ótimo” com coeficiente de correlação variando de 0,92 a 0,97, entretanto o método de Linacre teve índices de desempenho variando entre 0,70 e 0,80.

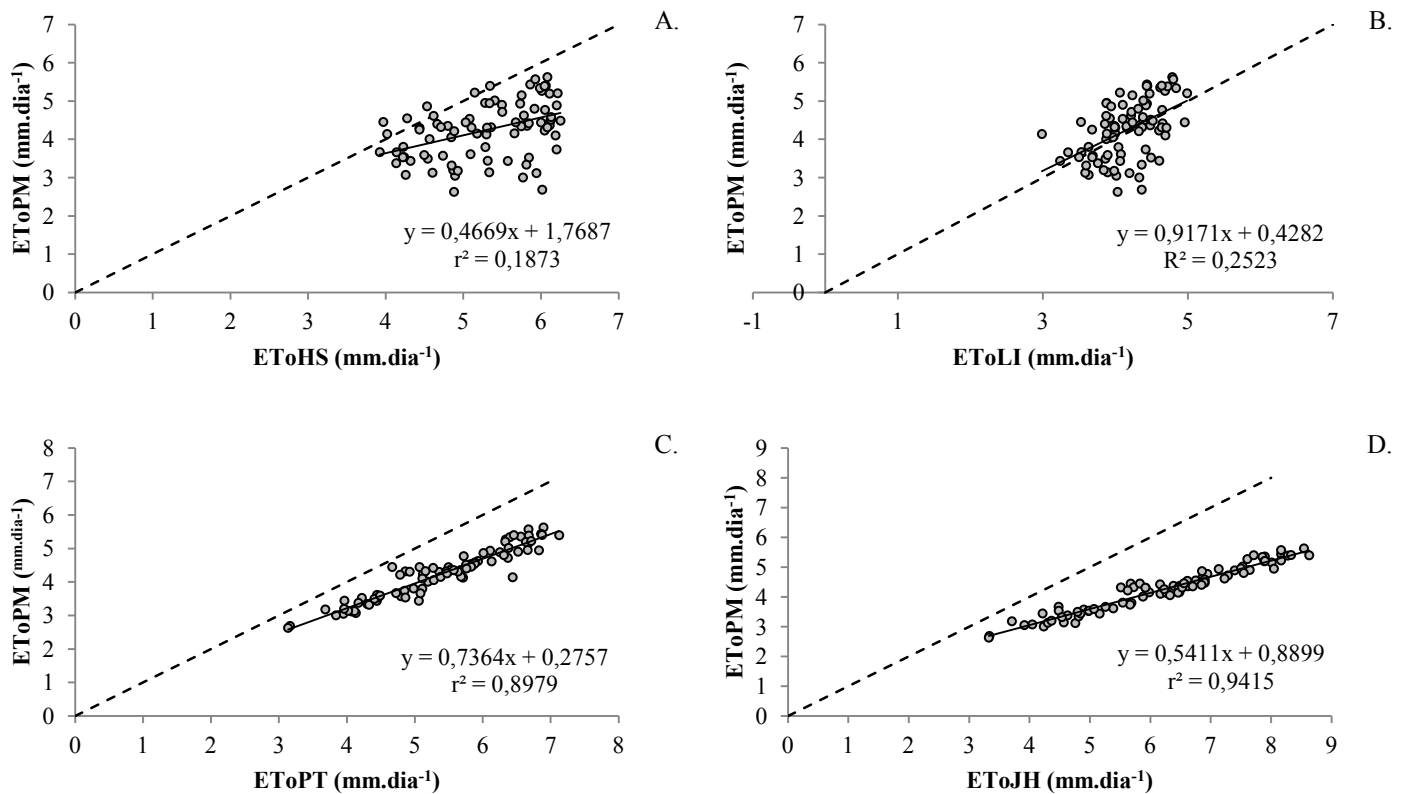


Figura 3. Regressão linear da ET_{0PM} em função da ET_{0HS} (A), ET_{0LI} (B), ET_{0PT} (C) e ET_{0JH} (D) no verão de 2007 em Pesqueira (PE)

Evapotranspiração de referência no outono

Observam-se na Figura 4 os valores diários da *ET₀* calculada pelos métodos de *PM*, *HS*, *LI*, *PT* e *JH*, no outono de 2007, em Pesqueira (PE). Percebe-se que os valores destes assemelham-se aos obtidos na *ET_{0PM}*, com os maiores valores no início da primavera e apresentando uma tendência negativa a partir do 25º dia, exceto o método de Linacre. De acordo com Silva *et al.* (2011) o período chuvoso em Pesqueira (PE) vai de fevereiro a julho, neste período há uma diminuição da radiação incidente. Assim

os valores da *ET₀* tendem a ser menores, exceto as estimadas por *LI*, que depende exclusivamente da temperatura. Os valores estimados pela *ET_{0L}* foram, novamente, os menores, entretanto apenas até 35º dia, quando passou a apresentar valores superiores ao estimados pela *ET_{0PM}*.

As *ET₀*'s médias nesta estação do ano pelo método *HS*, *PT* e *JH* foram praticamente superiores ao método padrão, com valores de 4,28, 4,16 e 4,79 mm.dia⁻¹, respectivamente. Enquanto o método de Linacre teve média de 2,9 mm dia⁻¹ e os

valores estimados pela *EToPM* teve média de $3,3 \text{ mm.dia}^{-1}$.

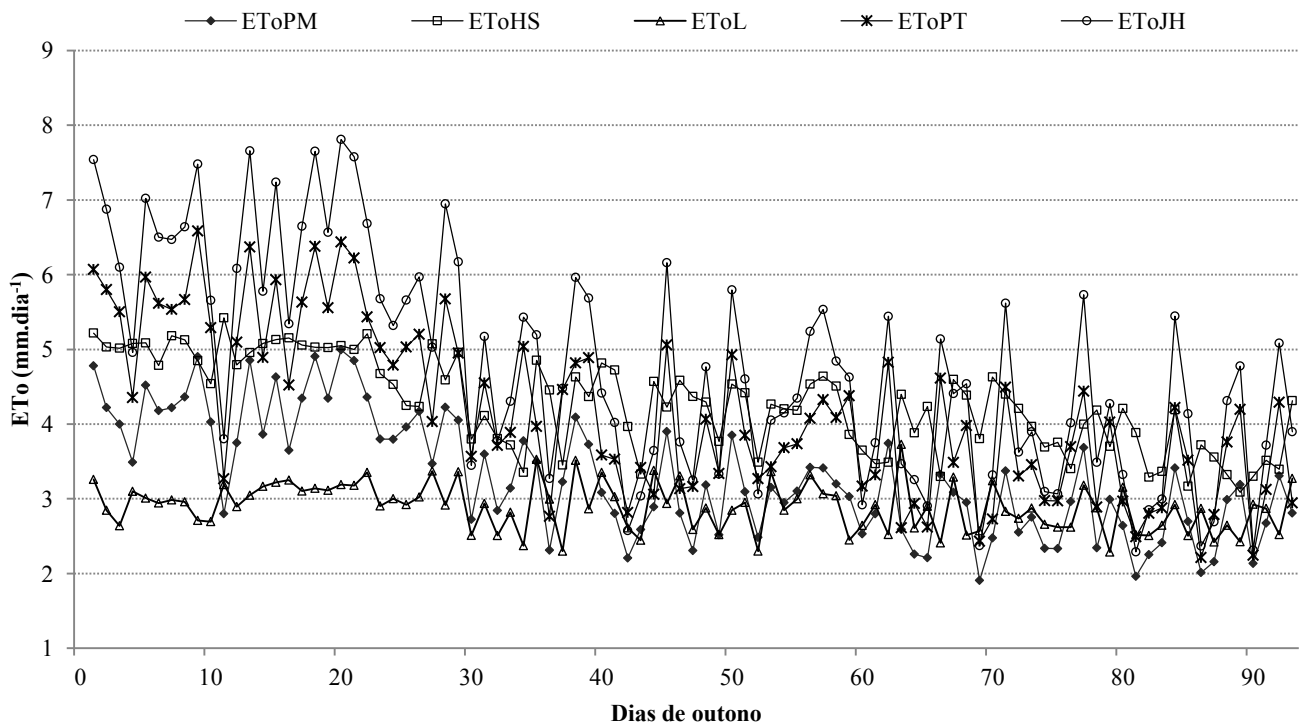


Figura 4. Evapotranspiração de referência (*ETo*) calculada entre os métodos de Penman-Monteith (*EToPM*), Hargreaves-Samani (*EToHS*), Linacre (*EToL*), Priestley-Taylor (*EToPT*), Jensen-Haise (*EToJH*), no outono de 2007, em Pesqueira (PE)

Na Figura 5 verifica-se que os métodos *PT* e *JH*, novamente, apresentaram melhor ajuste a *EToPM*, com $R^2 = 0,9558$ e $0,9722$, respectivamente. Enquanto o método de Linacre subestimou a maioria dos resultados estimados pelo método *PM* e,

os demais superestimaram. Tagliaferre *et al.* (2010) também verificaram que as estimativas de *ETo* obtidas pelo método de *HS* superestimaram as obtidas pelo método de *PM* em Eunápolis (BA).

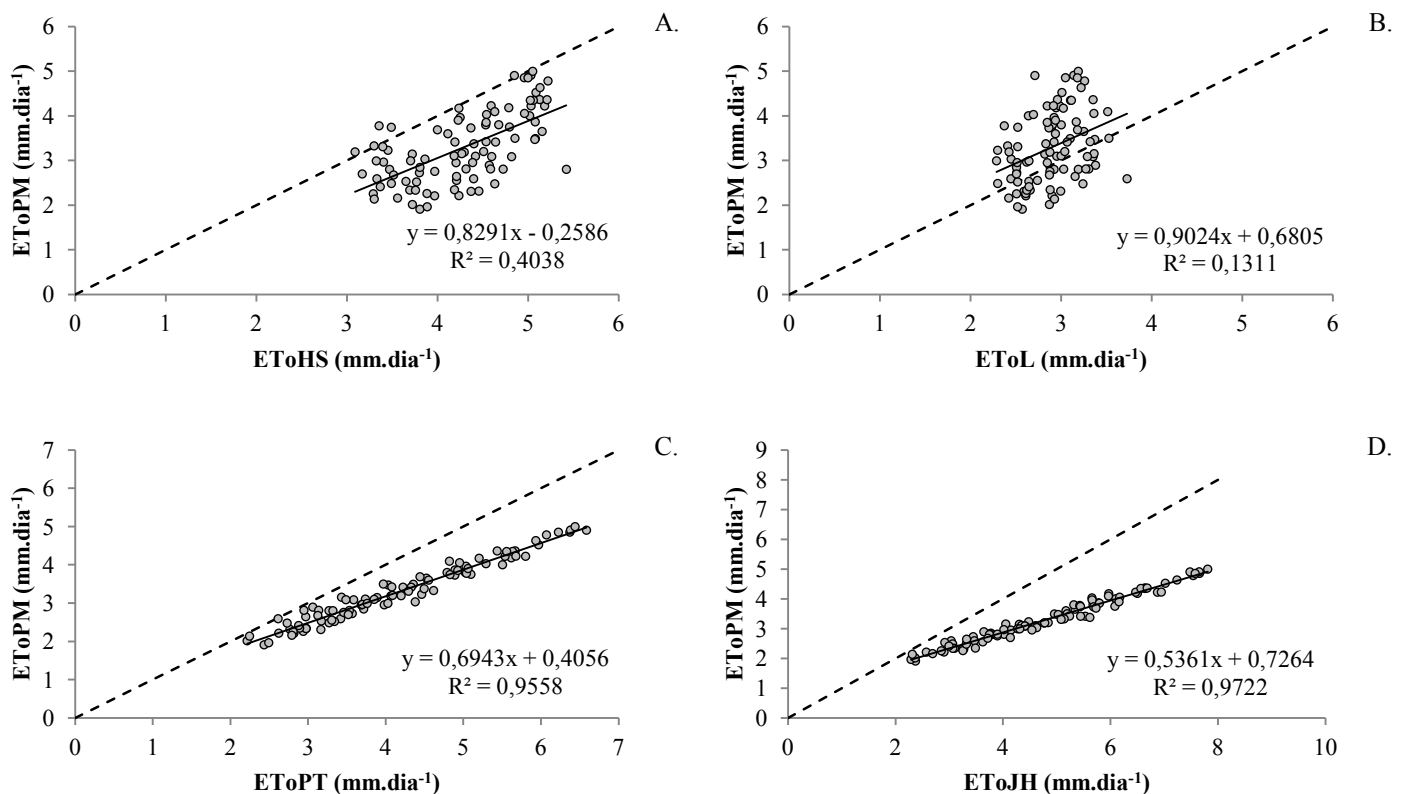


Figura 5. Regressão linear da EToPM em função da EToHS (A), EToL (B), EtoPT (C) e EToJH (D) no outono de 2007, em Pesqueira (PE).

Evapotranspiração de referência no inverno

Verifica-se na Figura 6 a variabilidade dos valores diários da *ETo* calculada pelos métodos *PM*, *HS*, *LI*, *PT* e *JH*, no inverno de 2007, em Pesqueira (PE). Percebe-se que os valores mantêm-se numa faixa que varia de 1,8 a 6,5 mm.dia⁻¹, provavelmente devido à baixa disponibilidade de água no solo.

Além disso, observa-se que há duas fases na variação diária da *ETo* em que os métodos apresentam-se quase constante até o 45º dia, com médias de 2,71, 3,86, 2,69,

3,39 e 3,81 mm.dia⁻¹ para os métodos *PM*, *HS*, *LI*, *PT* e *JH*, respectivamente. Em seguida, percebe-se uma tendência positiva dos valores estimados, exceto os obtidos pelo método de Linacre que se apresentou constante, com média de 2,63 mm.dia⁻¹, enquanto a média obtida por Penmam-Monteith foi de 3,14 mm.dia⁻¹; ficando os demais métodos acima de média do método padrão. Portanto, na estação de inverno não se observou linearidade entre os métodos, exceto de Linacre que ficou, em média, mais próximo do método de Penman-Monteith.

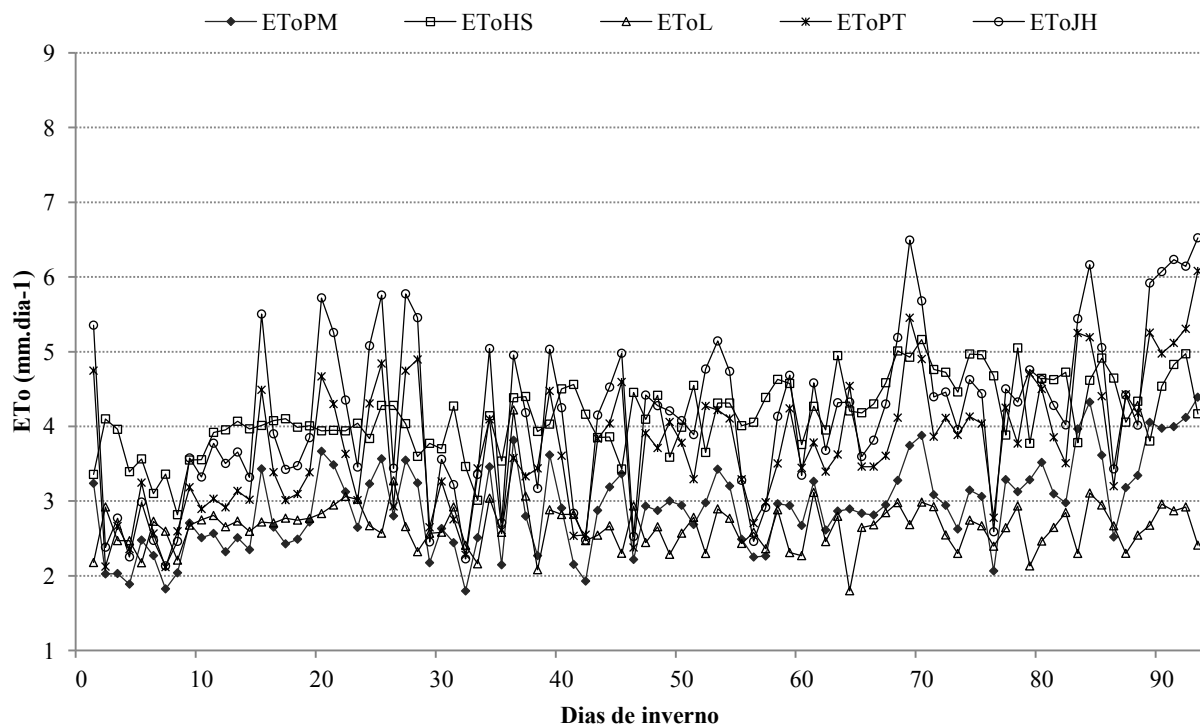


Figura 6. Evapotranspiração de referência (ETo) calculada entre os métodos de Penman-Monteith (EToPM), Hargreaves-Samani (EToHS), Linacre (EToL), Priestley-Taylor (EToPT) e Jensen-Haise (EToJH) no inverno de 2007, em Pesqueira (PE).

Na Figura 7 mostram-se as relações dos valores de *EToPM* com os demais métodos. Verifica-se que os métodos *PT* e *JH* ajustaram-se melhor com $R^2 = 0,8703$ e $0,9175$, respectivamente. O método de

Linacre foi o que teve pior desempenho, com $R^2 = 0,0797$ e, em grande parte dos dias, os dados tenderam a subestimar os valores obtidos pelo método padrão.

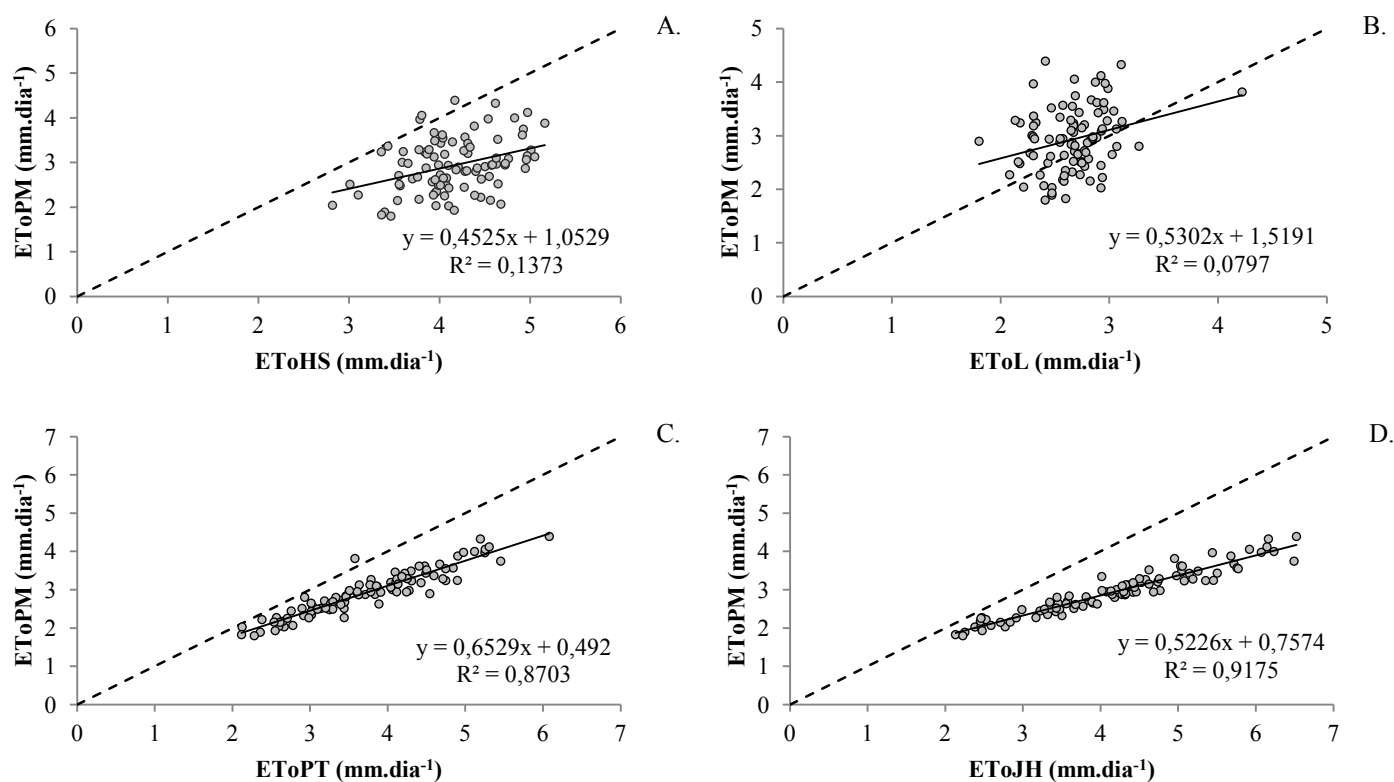


Figura 7. Regressão linear da ET_{toPM} em função da ET_{toHS} (A), ET_{toL} (B), ET_{toPT} (C) e ET_{toJH} (D) no inverno de 2007, em Pesqueira (PE)

Evapotranspiração de referência na primavera

Verificam-se na Figura 8 os valores diários da ET_o calculada pelos métodos de PM , HS , LI , PT e JH , na primavera de 2007, em Pesqueira (PE). Observa-se que os valores da estimados pela ET_{toPM} e ET_{toLI} passaram a apresentar uma tendência positiva a partir do 70º dia, enquanto os demais métodos apresentaram tendência negativa. Nos primeiros 70 dias a ET_{toHS} , ET_{toPT} e ET_{toJH} ficaram com valores médios de 5,45, 5,71, e 6,61 mm.dia⁻¹, respectivamente, enquanto a ET_{toPM} teve média de 4,33 mm.dia⁻¹ e ET_{toLI} 2,99

mm.dia⁻¹. No demais dias da estação, ET_{toHS} , ET_{toPT} e ET_{toJH} reduziram os valores ficando com médias de 5,31, 5,49; 6,49 mm.dia⁻¹, respectivamente, e, ET_{toPM} e ET_{toLI} tiveram médias de 4,92 e 3,76, respectivamente.

A regressão linear dos métodos em relação à ET_{toPM} encontra-se na Figura 9. Verifica-se que os métodos PT e JH ajustaram-se melhor com $R^2 = 0,6118$ e $0,7063$, respectivamente. Nesta estação todos os coeficientes de determinação apresentaram valores baixos, provavelmente devido o período estar situado entre o inverno e o verão, se caracterizando por uma estação de

transição causando descontinuidade nas estimativas. Oliveira *et al.* (2008) analisando métodos empíricos de estimativa da ET_o com base em dados de lisímetros de pesagem hidráulica no riacho Gameleira, em Vitória de Santo Antão, Zona da Mata pernambucana, verificou que os métodos indicados para se obter a ET_o diária, em períodos com ausência de

chuvas, é o HS e JH com desempenho “Mediano”. Também no período seco em três localidades no Espírito Santo, Reis *et al.* (2007) verificaram que as estimativas de ET_o obtidas pelo método de HS superestimaram as obtidas pelo método PM e o método PM teve índice de desempenho com valores entre 0,68 e 0,76.

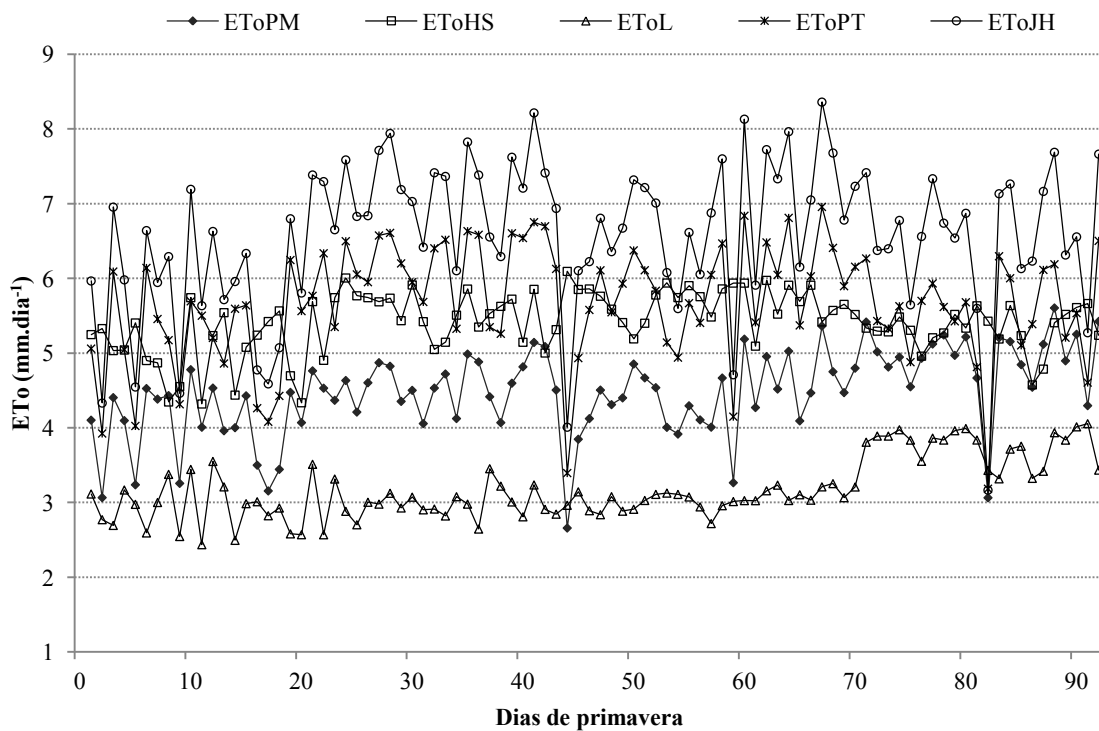


Figura 8. Evapotranspiração de referência (ET_o) calculada entre os métodos de Penman-Monteith (ET_oPM), Hargreaves-Samani (ET_oHS), Linacre (ET_oL), Priestley-Taylor (ET_oPT) e Jensen-Haise (ET_oJH) na primavera de 2007, em Pesqueira (PE)

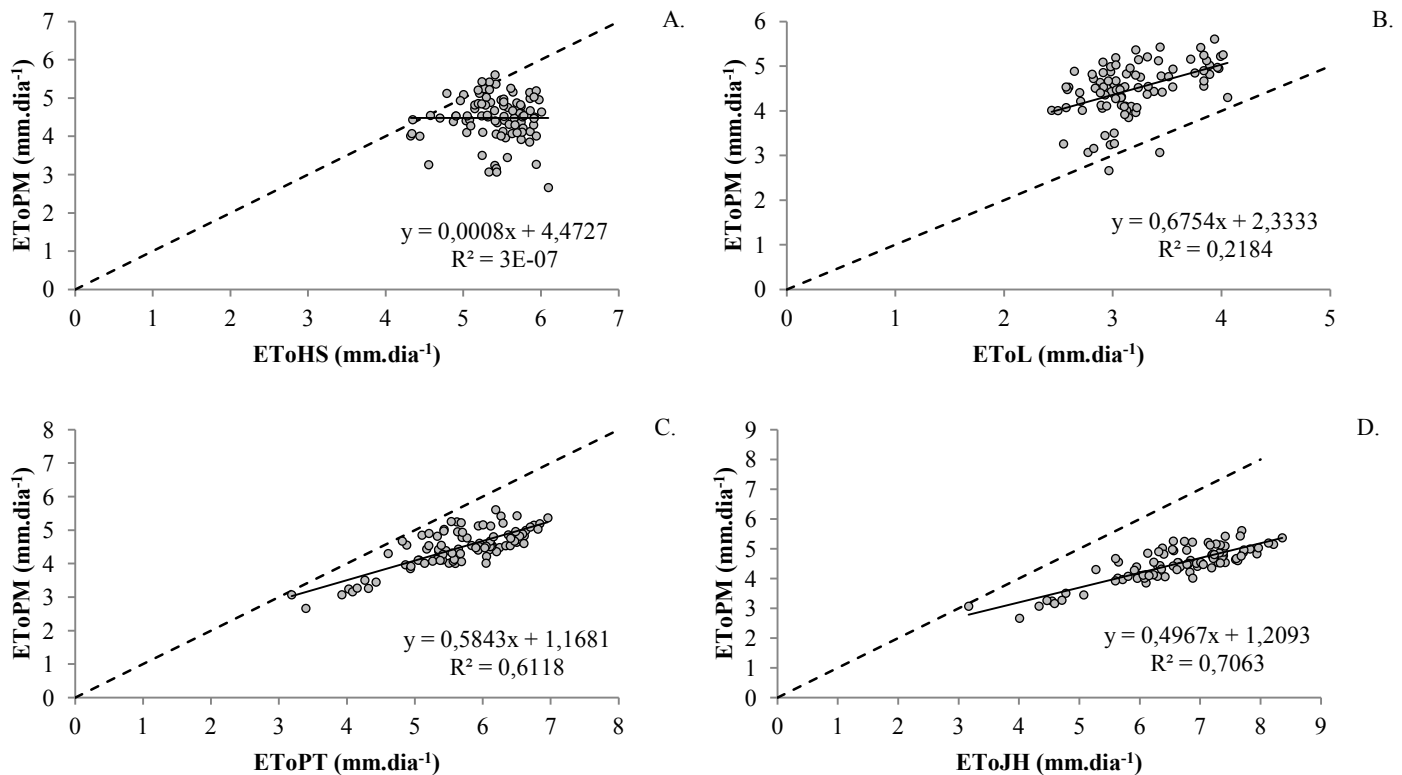


Figura 9. Regressão linear da ET₀PM em função da ET₀HS (A), ET₀L (B), ET₀PT (C) e ET₀JH (D) na primavera de 2007, em Pesqueira (PE)

Analisando os valores da Tabela 2, verifica-se que o método de Priestley-Taylor foi o que apresentou os melhores valores de índice de desempenho (c). A regressão linear se ajustou bem para os resultados de *ET₀* diários. O bom desempenho desse método deve-se por ele

se assemelhar ao método padrão (*ET₀PM*), exigindo praticamente os mesmos elementos climatológicos, porém, sua aplicação acaba sendo restringida para locais onde não há carência de equipamentos para medi-los.

Tabela 2. Desempenho dos métodos de estimativa da ET_o , segundo índice de desempenho “c”, para Pesqueira (PE)

Estação	Método	D	r	c	Desempenho
Verão	Hargreaves-Samani	0,51	0,43	0,22	Péssimo
	Linacre	0,63	0,50	0,32	Mau
	Priestley-Taylor	0,67	0,95	0,63	Mediano
	Jensen-Haise	0,50	0,97	0,49	Sofrível
Outono	Hargreaves-Samani	0,60	0,64	0,38	Mau
	Linacre	0,54	0,39	0,21	Péssimo
	Priestley-Taylor	0,80	0,98	0,78	Bom
	Jensen-Haise	0,64	0,99	0,63	Mediano
Inverno	Hargreaves-Samani	0,42	0,37	0,16	Péssimo
	Linacre	0,49	0,27	0,13	Péssimo
	Priestley-Taylor	0,72	0,93	0,67	Mediano
	Jensen-Haise	0,60	0,96	0,57	Mediano
Primavera	Hargreaves-Samani	0,99	0,00	0,00	Péssimo
	Linacre	0,99	0,46	0,46	Sofrível
	Priestley-Taylor	0,98	0,78	0,77	Bom
	Jensen-Haise	0,96	0,84	0,81	Muito Bom

d: Índice de desempenho de Willmontt; r: coeficiente de Pearson; c: índice de desempenho

Os métodos que estimam a ET_o a partir da temperatura, como os métodos de Hargreaves-Samani e Linacre não apresentaram desempenhos satisfatórios (Tabela 2). Revelando que usar apenas a temperatura do ar como variável climática para estimar a ET_o pode causar limitações na representatividade das condições meteorológicas do local. Haja vista que as condições de umidade e vento também afetam a necessidade hídrica dos vegetais, assim para as mesmas condições térmicas, variações aneno-higrométricas resultarão em diferentes valores de ET_o .

Mesmo no outono e inverno, quando as médias dos valores da ET_o por PM e LI foram semelhantes, percebe-se que o uso do método não é aconselhável para esta estação meteorológica do ano.

Para Lisboa *et al.* (2011) no período com chuva no norte de Minas Gerais, o desempenho dos métodos em estudo no período sem chuva foi melhor que no período com chuva. O mesmo não foi observado em Pesqueira (PE), em que os melhores índices foram obtidos no outono e primavera, duas estações de transição, sendo uma predominantemente chuvosa e a outra seca, respectivamente.

5. CONCLUSÕES

1. No período de alta demanda atmosférica da região correspondentes aos meses de fevereiro a julho, os valores de ET_o foram superiores aos observados durante o período de menor demanda atmosférica;
2. As correlações entre as estimativas de ET_o entre os métodos e a ET_oPM foram

melhor ajustáveis no outono e primavera, obtendo-se os melhores índices de desempenho;

3. Os métodos de obtenção da evapotranspiração que empregam o saldo de radiação solar são os que apresentam os valores mais próximos daqueles obtidos pelo método padrão Penman-Monteith FAO56;

4. Os métodos de Hargreaves-Samani e Linacre não apresentaram valores satisfatórios em nenhum dos períodos estudados, superestimando o método padrão Penman-Monteith FAO56;

5. Os melhores desempenhos para a estimativa da ETo foram obtidos pelos métodos de Priestley-Taylor e Jensen-Haise.

6. REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; JENSEN, M. E.; WRIGHT, J. L. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Journal Agronomy**, Madison, v. 81, n. 4, p. 650-662, 1989.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56). 300p. 1998.
- ALLEN, R. G.; SMITH, M.; PEREIRA, L. S.; PERRIER, A. An update for the calculation of reference evapotranspiration. **ICID Bulletin**, New Delhi, v. 43, n. 2, p. 35-90, 1994.
- BARROS, V. R.; SOUZA, A. P.; CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. Avaliação da evapotranspiração de referência na Região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 4, n. 2, p. 198-203, 2009.
- BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. 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, 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.
- DOORENBOS, J.; PRUIT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24). 198p. 1977.
- FERNANDES, A. L. T.; FRAGA JÚNIOR, E. F.; TAKAY, B. Y. Avaliação do método Penman-Piche para a estimativa da evapotranspiração de referência em Uberaba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 3, p. 270-276. 2011.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. In: Winter Meeting American Society of Agricultural Engineers, 1985, Chicago. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, paper 85-2517.
- HENRIQUE, F. de A. N.; DANTAS, R. T. Estimativa da evapotranspiração

- de referência em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 594-599. 2007.
- JENSEN, M. E.; HAISE, H. R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. Journal of Irrigation and Drain Engineering. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.89, p.15-41, 1963.
- LEMOS FILHO, L. C. A.; CARVALHO, L. G.; EVANGELISTA, A. W. P.; ALVES JÚNIOR, J. Análise espacial da influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p. 1294-1303. 2010.
- LISBOA, T. M.; BATISTA, C. H.; AQUINO, L. A. de; SILVA, H. R. F. de; MELO, V. L. de; SANTOS JUNIOR, V. C. Tanque evaporimétrico alternativo e equações para estimativa da evapotranspiração de referência na região norte de MG. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 5, n. 1, p. 54-62, 2011.
- LOPEZ-MORENO, J. I.; HESS, T. M.; WHITE, S. M. Estimation of reference evapotranspiration in a mountainous mediterranean site using the Penman-Monteith equation with limited meteorological data. **Pirineos**, v. 164, p. 7-31. 2009.
- MENDONÇA, E. A.; DANTAS, R. T. Estimativa da Evapotranspiração de Referência no município de Capim, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 196-202, 2010.
- MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.
- OLIVEIRA, L. M. M. de; MONTENEGRO, S. M. G. L.; AZEVEDO, J. R. G. de; SANTOS, F. X. dos. Evapotranspiração de referência na bacia experimental do riacho Gameleira, PE, utilizando-se lisímetro e métodos indiretos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 1, p. 58-67, 2008.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- PEREIRA, D. R.; YANAGE, 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**, v. 39, n. 9, p. 2488-2493, 2009.
- REIS, E. F. dos; BRAGANÇA, R.; GARCIA, G. O.; PEZZOPANE, J. E. M.; TAGLIAFERRE, C. Estudo comparativo da estimativa da evapotranspiração de referência para três localidades do estado do Espírito Santo no período seco. **Idesia (Chile)**, v. 25, n. 3, p. 75-84, 2007.
- SILVA, V. J.; CARVALHO, H. de 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. **Journal Bioscience**, v. 27, n. 1, p. 95-101. 2011.
- SOUSA, I. F. de; SILVA, V. P. R. da; SABINO, F. G.; NETTO, A. de

- O.; SILVA, B. K. N.; AZEVEDO, P. V. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 6, p. 633-644. 2010.
- SYPERRCK, V. L. G.; KLOSOWKI, E. S.; GRECO, M.; FURLANETTO, C. Avaliação de desempenho de métodos para estimativas de evapotranspiração de referência para a região de Palotina, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, v. 30, p. 603-609. 2008.
- TAGLIAFERRE, C.; SILVA, R. A. J.; ROCHA, F. A.; SANTOS, L. C.; Da SILVA, C. S. Estudo comparativo entre metodologias para determinação da evapotranspiração de referência em Eunápolis-BA. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 103-111, 2010.
- VISWANADHAM, Y.; SILVA FILHO, V. P.; ANDRE, R. G. B. The Priestley-Taylor parameter for the Amazon forest. **Forest Ecology Management**, v. 38, n.1, p. 211-225, 1991.
- WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, J. J.; FEDDEMA, K.; KLINK, D. R. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.