



Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência



Vicente de P. R. da Silva¹, Adelgício F. Belo Filho², Bernardo B. da Silva¹ & João H. B. da C. Campos¹

¹ UFCG/DCA, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Campina Grande, PB, Fone: 83-3310 1202. E-mail: vicente@dca.ufcg.edu.br; bernardo@dca.ufcg.edu.br; jhugocampos@yahoo.com.br

² UFCG/NSC, E-mail: farias@nsc.ufcg.edu.br

Protocolo 126 - 28/8/2004 - Aprovado em 24/6/2005

Resumo: Neste trabalho, apresenta-se um programa computacional denominado SEVAP (Sistema de Estimativa da Evapotranspiração) com o objetivo de se estimar a evapotranspiração através de oito métodos. Os métodos indicados no programa são: Penman-Monteith, Hargreaves, Jensen-Haise, Linacre, Makkink, Priestley & Taylor, Tanque Classe A e Thornthwaite. A eficiência do SEVAP foi avaliada com a aplicação dos dados da estação Meteorológica de Petrolina, PE, referentes ao ano 2002. Foram utilizados as médias mensais desse ano e os valores diários dos meses de março e agosto, do mesmo ano, das seguintes variáveis meteorológicas: temperaturas máxima e mínima do ar, umidade relativa do ar, insolação, velocidade do vento, evaporação do Tanque Classe A e radiação solar global. Os resultados evidenciam que o modelo SEVAP possibilita estimativas confiáveis e contínuas da evapotranspiração de referência; além disso, ele pode ser utilizado no monitoramento local e regional da evapotranspiração potencial, em escala diária ou mensal. Na ausência dos dados de insolação e de velocidade do vento, o método de Penman-Monteith pode ser substituído pelo método de Hargreaves.

Palavras-chave: programa computacional, método de Penman-Monteith, software

Development of a system of reference evapotranspiration estimation

Abstract: This work presents a computer program denominated "Sistema de Estimativa da Evapotranspiração (SEVAP)" with the objective of computing the reference evapotranspiration through different methods. The methods presented in the SEVAP program are: Penman-Monteith, Hargreaves, Jensen-Haise, Linacre, Makkink, Priestley & Taylor, Pan evaporation and Thornthwaite. The performance of the software program was evaluated with climatological data of Petrolina station, Pernambuco state. Mean monthly data and daily data (March to August 2002) of maximum and minimum air temperatures, relative humidity, insolation, wind velocity, Class A pan evaporation and solar radiation were used. The results show that the program produces accurate evapotranspiration values on a monthly and daily basis. In the absence of insolation and wind velocity data the Penman-Monteith method can be replaced by Hargreaves method, with good accuracy.

Key word: computer program, Penman-Monteith approach, software

INTRODUÇÃO

O conhecimento do consumo hídrico das culturas, obtido com base na estimativa da evapotranspiração, constitui-se numa informação preciosa no manejo da água, principalmente no momento em que ocorre forte conscientização popular do uso racional dos recursos hídricos. Encontram-se, na literatura especializada, diversas metodologias que propiciam a estimativa do consumo hídrico de culturas, porém sua utilização é bastante limitada com propósitos práticos, face à

ausência de técnicas apropriadas que viabilizem a estimativa da evapotranspiração, de forma simples e confiável, de acordo com a disponibilidade dos parâmetros relacionados à planta, ao solo e à atmosfera. O planejamento e o manejo dos recursos hídricos têm sido comumente inadequados, pois desconsideram que a evapotranspiração pode ser maior que a precipitação e o escoamento superficial em algumas épocas do ano. Segundo Doorenbos & Pruitt (1977), dentre os mais diversos métodos para se estimar a evapotranspiração, a escolha do método está

condicionada à precisão dos dados meteorológicos medidos durante alguns anos.

As variáveis hídricas do solo, características da planta, profundidade efetiva das raízes e fatores atmosféricos, são elementos essenciais não apenas no planejamento da irrigação, mas, também, na estimativa da evapotranspiração. O clima das regiões tropicais apresenta aspectos muito favoráveis à otimização da produção agrícola, desde que seja manejada com base no conhecimento da evapotranspiração de culturas e no dimensionamento e manejo do sistema de irrigação (Silva, 2000). A agricultura irrigada se apresenta, atualmente, como grande alternativa econômica para o Brasil, em especial para a região Nordeste; assim, é necessário que os recursos hídricos disponíveis sejam usados de forma racional, através da utilização de técnicas apropriadas de manejo da água, do solo e de cultivos. O uso eficiente da água na agricultura irrigada é essencial, face à escassez dos recursos hídricos e ao elevado custo dos insumos, o que torna imperativo a utilização de metodologias apropriadas para o planejamento e administração da irrigação, por que fica cada vez mais evidenciada a necessidade da combinação correta dos diversos fatores que possibilitem a determinação do volume de água a ser aplicado ao solo em cada irrigação, com base no conhecimento da demanda atmosférica (Moreira, 1993).

Os modelos computacionais AZSCHEID (Fox Jr. et al., 1992), CROPWAT (Smith, 1992) e CRIWAR (Boss, 1996), dentre outros, são utilizados no cálculo da evapotranspiração e no manejo da irrigação; entretanto, como são disponibilizados em “ambiente MS-DOS”, eles apresentam várias limitações, quando utilizados com propósitos práticos, em virtude das dificuldades operacionais. A urgência de implementação de novas estratégias de manejo de água às culturas, evidencia a demanda de modelos em linguagem computacional simples e acessível aos potenciais usuários da irrigação. A automação é uma ferramenta que contribui, sobremaneira, na tomada de decisão da programação das irrigações em condições de campo, em tempo quase que real estimulando, assim, o uso de microcomputadores e softwares no dimensionamento da reposição da água transferida pelas plantas no processo de evapotranspiração (Gomide, 1998). Por outro lado, vários autores têm comparado diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, com o objetivo de encontrar aquele que melhor se ajuste a determinadas condições climáticas e disponibilidade de dados (Chiew et al., 1995; Michalopoulou & Papaioannou, 1991; Jensen et al., 1997; Sentelhas, 1998; Silva et al., 2001); já outros trabalhos são relacionados com a elaboração de softwares para a estimativa da evapotranspiração de referência (Silva et al., 2002; Naoum & Tsanis, 2003).

No Brasil, a grande maioria dos usuários da agricultura irrigada não utiliza, ainda, qualquer tipo de estratégia de uso e manejo racional da água na irrigação e o monitoramento automático ainda é incipiente; assim, o presente trabalho tem o objetivo de apresentar um programa computacional para determinação de evapotranspiração de referência, através de oito métodos de estimativas, além de avaliar as suas performances em comparação com o método de Penman-Monteith.

MATERIAL E MÉTODOS

O programa computacional apresentado neste trabalho (Sistema de Estimativa da Evapotranspiração - SEVAP) foi desenvolvido em linguagem computacional *Delph* e em ambiente Windows. Ele pode ser instalado e operado em microcomputadores *Pentium*, com no mínimo 150 MHz e 32 MB RAM, em ambientes Windows 95, ou superior, e Windows NT. De acordo com os dados disponíveis e com o grau de precisão desejado, a evapotranspiração poderá ser obtida via SEVAP, com base nos seguintes métodos de estimativa: Penman-Monteith (FAO/56), Hargreaves, Jensen-Haise, Linacre, Makkink, Priestley & Taylor, Tanque Classe A e Thornthwaite.

No cálculo da evapotranspiração pelo modelo de Penman-Monteith, utilizaram-se as parametrizações apresentadas no Boletim 56 da FAO, para determinação das variáveis meteorológicas não-disponíveis em observações de rotina em estações meteorológicas convencionais. Assim, visando comparar os valores da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith, obtidos pelo modelo SEVAP e pelo Software CROPWAT, foram utilizados os dados da Estação Meteorológica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Algodão (latitude: 7° 13' S, longitude: 35° 52' W e altitude: 548 m), Campina Grande, PB, referentes ao mês de janeiro de 2001.

O modelo SEVAP foi também empregado para a estimativa da evapotranspiração de referência, com base nos dados meteorológicos do ano de 2002 da estação meteorológica de Petrolina, PE (latitude: 9° 9' S, longitude: 40° 22' W e altitude: 365,5 m), pertencente à EMBRAPA Semi-Árido. Na estimativa da evapotranspiração utilizaram-se os dados médios mensais do ano de 2002 e os valores diários dos meses de março e agosto desse mesmo ano, das seguintes variáveis meteorológicas: temperaturas máxima e mínima do ar, umidade relativa, insolação, velocidade do vento, evaporação do Tanque Classe A e radiação solar global.

O programa computacional também possibilita a elaboração de balanço hídrico climático, classificação climática e planejamento de irrigação. O SEVAP encontra-se disponibilizado gratuitamente para download, na website do Departamento de Ciências Atmosféricas, da Universidade Federal de Campina Grande, no seguinte endereço: <http://www.dca.ufcg.edu.br>

Desenvolvimento do programa computacional

Método de Penman-Monteith: Na estimativa da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith, consideram-se a resistência estomática de 70 s m⁻¹, a altura da grama fixada em 0,12 m e albedo de 0,23 pela equação (Allen et al., 1994):

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900U_2}{T + 273} \right) (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (1)$$

em que R_n (saldo de radiação) e G (densidade do fluxo de calor no solo) são expressas em MJ m⁻² dia⁻¹, Δ é a declinação da

curva de saturação do vapor da água ($\text{KPa } ^\circ\text{C}^{-1}$) e U_2 é a velocidade do vento (média diária) a 2m acima da superfície do solo, T a temperatura do ar ($^\circ\text{C}$), e_s é pressão de saturação do vapor (kPa), e_a é pressão real do vapor (kPa) e γ é o fator psicrométrico (MJ kg^{-1}).

Método de Hargreaves-Samani: Na ausência dos dados de radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento, a evapotranspiração, em mm dia^{-1} , pode ser estimada através da equação abaixo (Hargreaves, 1974):

$$ET_0 = 0,0023 (T_{\text{med}} + 17,8)(T_{\text{max}} - T_{\text{min}})^{0,5} R_a \quad (2)$$

em que T_{med} , T_{max} e T_{min} , em $^\circ\text{C}$, representam, respectivamente, as temperaturas média, máxima e mínima e R_a é a radiação extraterrestre (mm dia^{-1}).

Método de Jensen-Haise: Para regiões áridas e semi-áridas, Jensen-Haise (1963) apresentaram a seguinte equação para o cálculo da evapotranspiração de referência:

$$ET_0 = R_s (0,025T_a + 0,08) \quad (3)$$

em que T_a é a temperatura média diária ($^\circ\text{C}$); R_s é a radiação solar global convertida em unidades de água evaporada (mm) e ET a evapotranspiração em mm dia^{-1} .

Método de Linacre: Pelo método de Linacre, a evapotranspiração, em mm dia^{-1} , pode ser obtida em função da altitude, latitude e das temperaturas diárias máxima, mínima e do ponto de orvalho, através da equação (Linacre, 1977):

$$ET_0 = \frac{700 T_m / (100 - \phi) + 15 (T_a - T_d)}{(80 - T_a)} \quad (4)$$

em que $T_m = T_a + 0,006z$, z é a altitude (m); T_a temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$); ϕ a latitude (graus) e T_d a temperatura média do ponto de orvalho ($^\circ\text{C}$).

Método de Makkink: A equação para estimativa da evapotranspiração de referência, a partir da medição da radiação solar, foi proposta também por Makkink (1957):

$$ET_0 = R_s \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) + 0,12 \quad (5)$$

em que R_s é a radiação solar convertida em unidades de água evaporada; Δ a declinação da curva de saturação da pressão de vapor de água ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$) e γ o fator psicrométrico ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$).

Método de Priestley & Taylor: O método de Priestley & Taylor (1972), utilizado na estimativa da evapotranspiração, constitui-se numa aproximação do método de Penman. Nesta equação permanece apenas o saldo de radiação corrigido por um coeficiente empírico (α), conhecido como parâmetro de Priestley & Taylor, o qual incorpora a energia adicional ao

processo de evapotranspiração proveniente do termo aerodinâmico. Eles mostraram que esse coeficiente varia de 1,08 a 1,34, com média de 1,26 em condições mínimas de advecção regional. Através desse método, a evapotranspiração, em $\text{MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$, pode ser obtida pela equação:

$$ET_0 = \alpha W (R_n - G) \quad (6)$$

em que (α) é o parâmetro de Priestley & Taylor; R_n o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$); G o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2}\text{dia}^{-1}$); λ o fluxo de calor latente ($2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$) e W o fator de ponderação, que varia em função da temperatura do ar ($^\circ\text{C}$) e do parâmetro psicrométrico, que pode ser estimado por (Viswanadham et al., 1991):

$$W = 0,407 + 0,0147 T \text{ para } 0 < T < 16 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7)$$

$$W = 0,483 + 0,0100 T \text{ para } 16,1 < T < 32 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (8)$$

Método do Tanque Classe A: A evapotranspiração pelo método do Tanque Classe A pode ser obtida, de forma bastante simplificada, a partir da evaporação observada no Tanque Classe A, através da seguinte expressão (Doorenbos & Pruitt, 1977):

$$ET_0 = K_p E_v$$

em que ET_0 é a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); K_p é o coeficiente de conversão da evaporação do tanque Classe A em evapotranspiração de referência, que varia em função da velocidade do vento, do tamanho e da natureza da área-tampão relativa ao tanque e da umidade relativa do ar e E_v é a evaporação do tanque Classe A (mm dia^{-1}).

Método de Thornthwaite: O método de Thornthwaite baseia-se na temperatura média mensal e na duração efetiva do dia. Trata-se de um método climatológico para estimativa da evapotranspiração potencial mensal (mm mês^{-1}) que pode ser obtido da seguinte forma (Thornthwaite, 1948):

$$ET_p = C_j E_j = 0,533 C_j \left(\frac{10 \bar{T}_a}{I} \right)^{a_i} \quad (10)$$

em que C_j é o fator de correção, que varia em função do número de dias do mês considerado e da duração efetiva média desse dia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparação entre os modelo SEVAP e CROPWAT

Os dados obtidos na Estação Meteorológica da EMBRAPA Algodão foram utilizados para o cálculo da evapotranspiração, pelo método de Penman-Monteith, através dos softwares Sistema de Estimativa da Evapotranspiração (SEVAP) e A Computer Program for Irrigation Planning and Management (CROPWAT). O resultado dos cálculos apresentou estimativas

semelhantes da evapotranspiração de referência (ET_0). Ressalta-se que a versão do software CROPWAT, elaborada pela FAO, é apresentado em ambiente MS-DOS. A diferença entre os valores de ET_0 , estimados pelos dois programas computacionais, é atribuída ao fato de que o CROPWAT oferece estimativas mensais da ET_0 , sempre com base no dia 15 de cada mês, enquanto, o SEVAP possibilita estimativas diárias em função da disponibilidade dos dados. A relação entre os valores de ET_0 , obtidos com base nos dois softwares, é apresentada na Figura 1. Os valores de ET_0 obtidos pelo software SEVAP se ajustam muito bem com aqueles obtidos pelo CROPWAT, apresentando coeficiente de determinação de 0,95. A comparação do software para o planejamento de irrigação elaborado por George et al. (2000) com CROPWAT apresentou valores similares de umidade do solo, com coeficiente de determinação de 0,98.

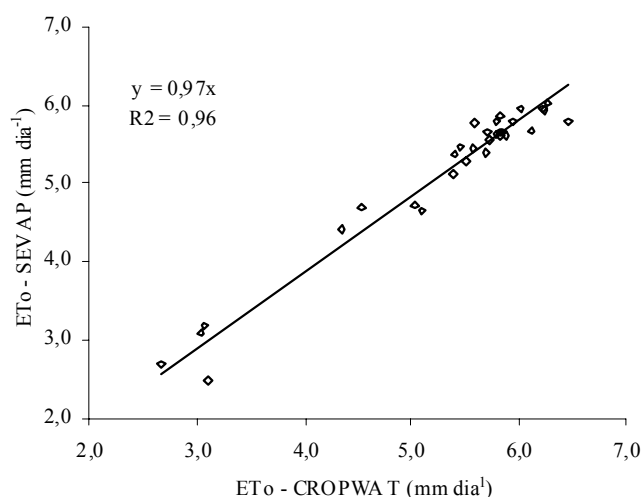


Figura 1. Comparação entre os softwares CROPWAT e SEVAP na estimativa da ET_0 com base nos dados da estação meteorológica de Campina Grande, PB, referentes ao mês de janeiro de 2001

A comparação mais detalhada entre os softwares é exibida na Figura 2, na qual se observa que, muito embora o método de cálculo seja o mesmo (Penman-Monteith), os dois programas apresentam valores da evapotranspiração de referência levemente diferentes durante o período analisado. Esta figura evidencia ainda que os valores de ET_0 , obtidos pelo SEVAP, subestimam aqueles obtidos pelo CROPWAT, em todo o mês estudado, com valores iguais precisamente para o décimo quinto dia desse mês. Essa diferença é atribuída ao fato de que o CROPWAT estima a ET_0 com base na declinação do sol do dia 15 de cada mês. Esses resultados indicam que o software SEVAP, além de ser interativo com usuário, possibilita estimativas confiáveis e contínuas da evapotranspiração de referência; além disso, é possível se estimar a ET_0 utilizando-se a temperatura mínima em substituição à temperatura do ponto de orvalho, com vistas à eliminação do cálculo da umidade relativa. Procedimento semelhante foi utilizado por Smith et al. (1996) que, revisando a metodologia de determinação das necessidades hídricas de culturas, reconheceram a equação de Penman-Monteith como método padrão na determinação da evapotranspiração de culturas e de referência; entretanto, tal

opção deve ser vista com cautela porque, em regiões áridas, o ar condensa a temperatura mínima e, neste caso, a temperatura do ponto de orvalho não se aproxima da temperatura mínima do dia, o que pode conduzir a erros apreciáveis no cálculo da ET_0 .

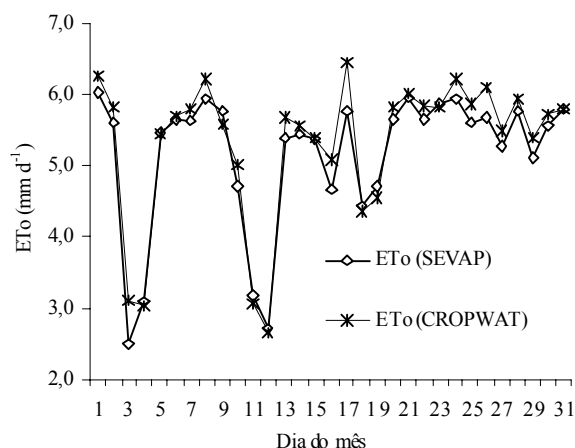


Figura 2. Curso temporal da ET_0 em Campina Grande, PB, durante o mês de janeiro de 2001, com base nos softwares CROPWAT e SEVAP

Apresentação do programa computacional - SEVAP

O cadastro das estações meteorológicas ou experimento agrometeorológico, em função das coordenadas geográficas, pode ser efetuado no SEVAP conforme exibido na Figura 3. O usuário cria um código com cinco dígitos e tem as opções de cancelar, remover e gravar a estação meteorológica desejada. Após o cadastramento da estação meteorológica, o usuário seleciona o método de estimativa em que deseja calcular a evapotranspiração e executa as ações descritas nessa tela do programa. Caso seja selecionado o método de Penman-Monteith, será apresentada a caixa de diálogo dados climatológicos disponíveis (Figura 4), que oferece, ao usuário, a opção de cálculo da evapotranspiração, de acordo com os dados disponíveis e a precisão desejada. As opções variam desde a mais simples, opção 1 (temperaturas máxima e mínima, umidade relativa, insolação e velocidade de vento) até as mais precisas, que não utilizam a parametrização da radiação global (opção 4) nem do saldo de radiação (opção 5).

A Figura 5 exhibe a caixa de diálogo para opção 1, cujos dados de entrada ali colocados são totalmente arbitrários, exceto os valores das coordenadas geográficas. Na utilização



Figura 3. Cadastro das estações meteorológicas em função das coordenadas geográficas

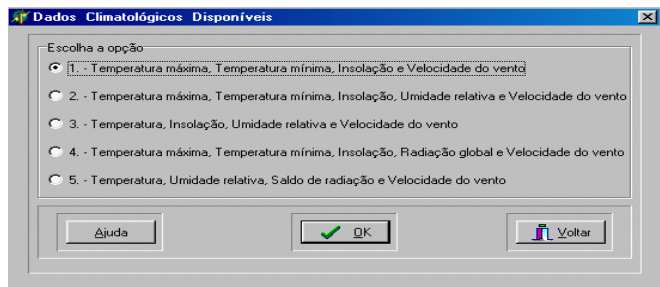


Figura 4. Caixa de diálogo de seleção das variáveis meteorológicas disponíveis para o cálculo da evapotranspiração



Figura 5. Caixa de diálogo para inserção dos dados meteorológicos

de qualquer método de estimativa da evapotranspiração pelo SEVAP, é necessário cadastrar previamente a estação meteorológica ou o experimento agrometeorológico, com código, nome e as coordenadas geográficas. A saída de dados para visualização e impressão dos resultados dos cálculos é obtida clicando-se em Relatório.

Todas as Caixas de diálogo dos métodos de estimativa da evapotranspiração e as outras funções do software são bastante especificadas, como sugerem os seus próprios nomes, tais como: Inserir, Alterar, Remover, Ajuda, Relatório e Voltar. Os dados necessários para a execução das funções do programa são claramente explícitos nas caixas de diálogo, como qualquer outro software compatível com o ambiente Windows.

Aplicação do modelo SEVAP

A Tabela 1 exhibe os coeficientes de determinação das curvas ajustadas aos dados da evapotranspiração calculada pelo método de Penman-Monteith com os demais métodos utilizados no estudo, com base nos dados meteorológicos diários dos meses de março e agosto e nas médias mensais do ano de 2002, da estação Meteorológica de Petrolina, PE. Nesta comparação, utilizou-se o método de Penman-Monteith como

padrão, conforme estabelecido pela FAO, para a estimativa da evapotranspiração de referência.

Em geral, os valores obtidos na base mensal se ajustam muito bem aos outros métodos, exceto com os de Linacre e de Thornthwaite. O método do Tanque Classe A foi o que apresentou maior coeficiente de determinação (0,87) na base mensal mas, com dados diários, esses coeficientes são reduzidos drasticamente chegando, inclusive, ao valor de 0,10 no mês de agosto. Silva et al. (2001), quando compararam o método de Penman-Monteith utilizando dados diários, obtiveram coeficientes de determinação de 0,88 e de 0,71 com os métodos de Hargreaves e do tanque Classe A, respectivamente.

A comparação entre os métodos de Hargreaves e de Penman-Monteith apresentou coeficiente de determinação acima de 0,60 nos períodos diários e mensais sugerindo, assim, que na ausência de dados de insolação e de velocidade do vento, a evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith pode ser substituída com razoável precisão pelo método de Hargreaves. Por outro lado, os métodos de Linacre e de Thornthwaite não oferecem estimativas confiáveis da evapotranspiração, em razão dos baixos coeficientes de determinação com o método padrão da FAO; isso ocorreu possivelmente em razão desses métodos terem sido desenvolvidos para uso em escala mensal e não diária.

Neste estudo não é analisado o relacionamento da evapotranspiração diária obtida pelos métodos de Thornthwaite e de Penman-Monteith que, possivelmente, apresentaria coeficiente de determinação, ainda menor que 0,18, como o da base mensal. Os baixos coeficientes de determinação obtidos com o método de Linacre, são atribuídos ao fato de que foi assumida a temperatura do ponto de orvalho igual à temperatura mínima, em razão da ausência dessa informação. Tal pressuposto pode ser perfeitamente aplicado no caso em análise, porque em regiões áridas e semi-áridas o ar atmosférico se condensa a temperatura mínima (Allen et al., 1998).

As médias e os desvios-padrão das séries temporais anuais e dos meses de março e agosto de 2002 dos valores da evapotranspiração, em Petrolina, PE, calculadas pelos métodos de Penman-Monteith, Hargreaves, Jensen-Haise, Linacre, Makkink, Priestley-Taylor, Tanque Classe A e Thornthwaite são apresentados na Tabela 2. Mais uma vez fica evidenciada a ineficiência dos métodos de Linacre e de Thornthwaite no cálculo da evapotranspiração para este local. Observa-se que os métodos apresentam médias semelhantes em todos os períodos analisados, exceto nos de Linacre e de Thornthwaite, que exibem valores médios de evapotranspiração muito baixos, de 1,8 e de 3,28 mm dia⁻¹, respectivamente.

Tabela 1. Coeficientes de determinação das curvas de ajuste dos dados de evapotranspiração calculada por este métodos em relação ao método de Penman-Monteith com base em dados diários e mensais, para a região de Petrolina, PE

Método/Período	Hargreaves	Jensen-Haise	Linacre	Makkink	Priestley - Taylor	Tanque Classe A	Thornthwaite
Ano	0,77	0,81	0,047	0,72	0,77	0,87	0,18
Março	0,66	0,65	0,050	0,58	0,91	0,36	-
Agosto	0,62	0,39	0,003	0,32	0,42	0,10	-

Tabela 2. Média e desvio-padrão (entre parênteses) das séries temporais anuais e dos meses de março e agosto de 2002, dos valores da evapotranspiração (mm dia^{-1}) calculada pelos métodos utilizados no estudo

Método/ Período	Penman- Monteith	Hargreaves	Jensen- Haise	Linacre	Makkink	Priestley- Taylor	Tanque Classe A	Thornthwaite
Ano	5,08 (0,86)	5,30 (0,75)	4,83 (0,76)	1,80 (0,12)	5,03 (0,73)	4,74 (0,90)	5,26 (1,33)	3,28 (0,78)
Março	4,99 (0,87)	5,63 (0,45)	4,81 (0,89)	1,83 (0,22)	4,93 (0,86)	4,99 (0,94)	5,21 (1,22)	- (-)
Agosto	5,27 (0,53)	4,98 (0,48)	4,58 (0,82)	1,63 (0,23)	4,88 (0,81)	4,52 (0,63)	5,98 (0,92)	- (-)

CONCLUSÕES

1. O modelo SEVAP possibilita estimativas confiáveis e contínuas da evapotranspiração de referência, com grande simplicidade operacional e interatividade com o usuário.

2. O SEVAP pode ser utilizado no monitoramento local e regional da evapotranspiração de referência, em escala diária ou mensal, em função dos dados meteorológicos disponíveis.

3. Na ausência dos dados de insolação e velocidade do vento, a evapotranspiração de referência, pelo método de Penman-Monteith, pode ser substituída com razoável precisão, pelo método de Hargreaves. Os métodos de Linacre e de Thornthwaite não apresentam resultados satisfatórios na estimativa da evapotranspiração de referência, em escala diária.

LITERATURA CITADA

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. In: Irrigation and Drainage, Roma, 1998, 300p. Paper 56
- 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
- Boss, M.G.; Vos, J.; Feddes, R. A CRIWAR 2.0: A simulation model crop irrigation water requirement. Wageningen: ILRI, 1996, 117p. ILRI Publication 46
- Chiew, F.H.S.; Kamaladasa, N.N.; Malano, H.M. Penman-Monteith, FAO-24 reference crop evapotranspiration and class-A pan data in Australia. Agricultural Water Management, Amsterdam, v.28, n.1, p.9-21, 1995
- Doorenbos, J.; Pruitt, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. In: Irrigation and Drainage, Roma, FAO, 1977, 198p. Paper 24
- Fox Jr., F.A.; Scherer, T.; Slack, D.C.; Clark, L.J. Arizona irrigation scheduling – (AZSCHED). Users manual. Cooperative Extension. Version 1.01. University of Arizona, Tucson, Publication number: 191049, 1992, 119p
- George, B.A.; Shende, S.A.; Raghuvanshi, N.S. Development and testing of an irrigation scheduling model. Agricultural Water Management, Amsterdam, v.46, n.1, p.121-136, 2000
- Gomide, R.L. Monitoramento para manejo de irrigação: Instrumentação, automação e métodos. In: Faria, M.S.; Silva, E.L.; Vilela, L.A.A.; Silva, A.M. (eds.). Manejo de irrigação. Poços de Caldas: UFLA, 1998. cap 2, p.133-238.
- Hargreaves, G.H. Estimation of potential and crop evapotranspiration. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.17, n.1, p.701-704, 1974.
- Jensen, D.T.; Hargreaves, G.H.; B. Temesgen, B. Computation of ET_0 under nonideal conditions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, New York, v.123, n.5, p.394-399, 1997
- Jensen, M.E.; Haise, H.R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. Journal of Irrigation Drainage Division, ASCE, New York, v.89, n.1, p.15-41, 1963.
- Linacre, E.T. A simple formula for estimating evapotranspiration rates in various climates, using temperature data alone. Agricultural Meteorology, Amsterdam, v.18, n.1, p.409-424, 1977.
- Makkink, G.F. Ekzamen de la formula de Penman. Neth. Journal Agricultural Science, Amsterdam, v.5, n.1, p.290-305, 1957
- Michalopoulou, H.; Papaioannou, G. Reference crop evapotranspiration over Greece. Agricultural Water Management, Amsterdam, v.20, n.1, p.209-221, 1991.
- Moreira, H.J.C. Sistema agroclimatológico para o acompanhamento das culturas irrigadas. Manual prático para o manejo da irrigação. Brasília: Secretaria Nacional de Irrigação, 90p, 1993.
- Naoum, S.; Tsanis, I.K. Hydroinformatics in evapotranspiration estimation. Environmental Modelling & Software, Oxford, v.1, n.18, p.261-271, 2003.
- Priestley, C.H.B.; Taylor, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. Monthly Weather Review, Washington, v.100, n.1, p.81-92, 1972.
- Sentelhas, P.C. Evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática. Piracicaba: ESALQ/USP, 1998, 95p. Tese Doutorado
- Silva, V.P.R. Estimativa das necessidades hídricas da mangueira. Campina Grande: CDRN/UFCG, 2000, 129p. Tese Doutorado
- Silva, V.P.R.; Belo Filho, A.F.; Campos, J.H.B.C.; Dantas, R.T. Sistema de estimativa e monitoramento da evapotranspiração de referência-SIEN- ET_0 . In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002, Foz de Iguaçu. Anais... Piracicaba: SBM, 2002, p.2235-2241.
- Silva, V.P.R.; Dantas, R.T.; Campos, J.H.B.C.; Guedes, M.J.F. Estimativa da evapotranspiração de referência pelos métodos de Penman-Monteith - FAO/56, Hargreaves e Tanque Classe A em períodos diários e mensais In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 7, e Reunião Latino-Americana de Agrometeorologia, 3, 2001, Fortaleza. Anais... Santa Maria: SBA, 2001. v.2, n.2, p.467-468.
- Smith, M. CROPWAT. A computer program for irrigation planning and management. In: Irrigation and Drainage, Rome: FAO, 1992, 126p. Paper 46.

Smith, M.; Allen, R.G.; Pereira, L. Revised FAO methodology for crop water requirements. In: Evapotranspiration and irrigation scheduling. Proceedings of the International Conference, San Antonio: American Society of Agricultural Engineers the Irrigation Association, 1996, p.116-123

Thornthwaite, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, Centerton, v.38, n.1, p.55-94, 1948.

Viswanadham, Y.; Silva Filho, V.P.; Andre, R.G.B. The Priestley-Taylor parameter α for the Amazon forest. *Forest Ecology Management*, Amsterdam, v.38, n.1, p.211-225, 1991.