



Desempenho do software SEVAP na estimativa da evapotranspiração no Estado de Mato Grosso do Sul

Performance of SEVAP software in the evapotranspiration estimate of Mato Grosso do Sul State, Brazil

Fernando Fagner Magalhães & Fernando França da Cunha

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, Campus de Chapadão do Sul – CPCS, Rodovia MS 306, Km 105, Caixa-Postal: 112, CEP: 79560-000, Chapadão do Sul, MS.

E-mail: fernando_tec.agro@hotmail.com; fernando.cunha@ufms.br

Recebido em: 08/03/2012

Aceito em: 03/05/2012

Resumo. A quantificação do consumo de água pelas culturas agrícolas por meio da evapotranspiração é informação importante na agricultura irrigada. Devido a complexidade das equações, há demanda do uso de softwares para a obtenção da evapotranspiração de referência (ET_o). Objetivou-se nesse trabalho testar o software SEVAP com suas diferentes metodologias para estimativa da ET_o em diferentes localidades de Mato Grosso do Sul. As metodologias testadas do software SEVAP foram Hargreaves, Jensen-Haise, Linacre, Makkink, Priestley-Taylor e mais cinco métodos pelo modelo de Penman-Monteith, com as parametrizações apresentadas no Boletim 56 da FAO. Os dados climatológicos foram retirados das Normais Climatológicas (1961-1990) para as seguintes localidades: Campo Grande, Corumbá, Coxim, Dourados, Ivinhema, Paranaíba, Ponta Porã e Três Lagoas. O método tomado como padrão foi o Penman-Monteith-FAO 56 e a comparação dos resultados foi por meio do coeficiente de determinação (r^2), dos coeficientes (a) e (b) das regressões lineares, erro-padrão da estimativa (EPE), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de correlação de Pearson (r) e do coeficiente de confiança (c). O software SEVAP apresentou simplicidade em seu uso e precisão na estimativa da ET_o em Mato Grosso do Sul, quando utilizou-se a opção 3 do método de Penman-Monteith, que utiliza os seguintes parâmetros de entrada: temperatura média, umidade relativa e velocidade do vento. As metodologias de Jensen-Haise, Linacre e Makkink não apresentaram boa estimativa da ET_o. O método de Priestley-Taylor apresentou confiáveis estimativas de ET_o e o método de Hargreaves-Samani deve ser utilizado quando se dispõe apenas de dados de temperatura do ar.

Palavras-chave. ET_o, manejo da irrigação, Penman-Monteith

Abstract. The quantification of the water consumption for the agricultural cultures by means of the evapotranspiration is important information in irrigated agriculture. Because of many complex equations, the use of software for the calculation of the reference evapotranspiration (ET_o) is necessary. The aimed of the work was to test SEVAP software with its different methodologies for the estimate of the ET_o in the localities of Mato Grosso do Sul state, Brazil. The tested methodologies of SEVAP software had been Hargreaves, Jensen-Haise, Linacre, Makkink, Priestley-Taylor and more five methods for the model of Penman-Monteith, with the differentiation presented in bulletin 56 of the FAO. The variable meteorological had been captured of the normal climatic (1961-1990) for the following localities: Campo Grande, Corumbá, Coxim, Dourados, Ivinhema, Paranaíba, Ponta Porã and Três Lagoas. The taken method as standard was of Penman-Monteith-FAO 56 and the comparison of the results was by means of the estimated standard error (ESE), the determination coefficient (r^2), the coefficients (a) and (b) of the linear regressions, index of agreement by Willmott (d), correlation coefficient by Pearson (r) and the reliable coefficient (c). SEVAP software presented simplicity in its use and the precision in the estimate of the ET_o in Mato Grosso do Sul state, when option 3 of the method of Penman-Monteith was applied, that it uses the following parameters of the entrance: average temperature, relative humidity and wind speed. The methodologies of Jensen-Haise, Linacre and Makkink had not presented the good estimate of the ET_o. The method of Priestley-Taylor presented the good estimate of the ET_o. The method of Hargreaves-Samani must be used when it is given only of the air temperature.

Keywords. ET_o, irrigation management, Penman-Monteith



Introdução

As atividades agrícolas demandam grande volume de água e, sendo cada vez mais preocupante a sua escassez, esforços têm sido empregados no desenvolvimento de pesquisas que possibilitem a sua economia, em todo o planeta. Neste sentido, melhorias nos projetos e nos sistemas de manejo de irrigação, assumem fundamental importância (Carvalho et al., 2011). No dimensionamento de projetos de irrigação, o conhecimento da evapotranspiração da cultura é fundamental, pois esse parâmetro afeta vários outros parâmetros tais como: tamanho do conjunto motobomba, potência instalada, diâmetro de tubos e peças especiais, entre outros. Diante disso, o erro na estimativa inicial da demanda de água de certa cultura poderá acarretar super-dimensionamento do sistema de irrigação e consequente alto investimento inicial do projeto, ou no sub-dimensionamento, que resultará problemas de reposição de água nos momentos de alta demanda evapotranspirométrica.

O manejo da irrigação consiste em determinar o momento de irrigar e o tempo de funcionamento de um equipamento de irrigação com a finalidade de aplicar a quantidade de água necessária ao pleno desenvolvimento da cultura. Então, a determinação do consumo de água da cultura é fundamental no manejo da irrigação, podendo ser obtida a partir de medidas efetuadas no solo, na planta e nos elementos climáticos. Os métodos baseados em medidas no solo se fundamentam na determinação do seu teor de água; os que utilizam medidas na planta consideram o monitoramento do seu potencial hídrico e avaliações da resistência estomática e da temperatura da folha, dentre outros; já os métodos baseados nos elementos climáticos consideram, desde simples medições da evaporação da água num tanque, como o Classe A, até complexas equações para a estimativa da evapotranspiração (Rocha et al., 2003).

Existem vários métodos que possibilitam estimar a ETo, baseados em equações empíricas e/ou com fundamentação física. Muitos destes métodos possuem variantes, por questões de ajustes e calibrações locais, elevando ainda mais, a quantidade de métodos disponíveis (Carvalho et al., 2011). Apesar da existência de diversos modelos para estimativa da ETo, esses, no entanto, são utilizados em condições climáticas e agrônômicas muito diferentes daquelas em que inicialmente foram concebidos e, por isso, é de extrema

importância avaliar o grau de exatidão desses modelos, antes de utilizá-los para nova condição.

O método de Penman-Monteith-FAO 56 (Allen et al., 1998) de acordo com vários estudos, no Brasil e no mundo, é bastante preciso (Xu & Chen, 2005; Yoder et al., 2005; López-Urrea et al., 2006; Jabloun & Sahli, 2008; Barros et al., 2009), sendo, por esta razão, bastante utilizado como padrão em comparações com outros métodos.

O método de Hargreaves-Samani é derivado do método de Hargreaves que foi desenvolvido em Davis, Califórnia com base em um estudo de grama em lisímetros. Esse método foi desenvolvido para regiões onde a disponibilidade de dados climatológicos era limitada (Jacobs & Satti, 2001), precisando de medidas de radiação terrestre e temperaturas máxima e mínima. Em 1985, Hargreaves e Samani simplificaram essa fórmula necessitando apenas das medidas de temperaturas máxima e mínima (Pedreira et al., 1997).

O método de Jensen-Haise é simples e baseado apenas nos valores diários de temperatura média e radiação solar. O método de Linacre foi desenvolvido em 1977, e, baseado em correlações encontradas entre os diversos fatores meteorológicos, simplificou a equação de Penman estimando a evaporação e a evapotranspiração potencial apenas com base em dados geográficos (Latitude e Altitude) e a temperatura do ar (Dolan et al., 1984).

O método de Makkink é derivado do método de Penman-Monteith e foi desenvolvido para as condições climáticas de Wageningen, na Holanda, necessitando dos seguintes parâmetros de entrada: declividade da curva de pressão, coeficiente psicrométrico e radiação global (Berlato & Molion, 1981). A equação de Priestley-Taylor foi desenvolvida em 1972 e simula a evaporação de superfícies saturadas em uma atmosfera não saturada, que é a condição normal da natureza. Os parâmetros de entrada são declividade da curva de pressão, coeficiente psicrométrico e o saldo de radiação (Berlato & Molion, 1981).

Devido a complexidade de muitas equações para estimativa da ETo e a urgência de implementação de novas estratégias de manejo de água às culturas, há demanda do uso 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 pelas plantas no processo de evapotranspiração (Silva et al., 2005).

Diante dessa necessidade, foi desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal de Campina Grande o programa computacional SEVAP (Sistema de Estimativa da Evapotranspiração). Segundo Silva et al. (2005) esse software foi desenvolvido em linguagem computacional Delphi 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.

O Estado de Mato Grosso do Sul é um dos maiores produtores agrícolas do País. Para determinar o quanto de água está sendo perdido por evapotranspiração, é necessária a utilização de métodos que permitam estimar as perdas de água que serão repostas via sistemas de irrigação, caso as chuvas não sejam suficientes. No entanto, existe carência de informações sobre a aplicabilidade dos métodos de estimativa da ETo para quantificar de forma precisa as reais necessidades de água dos

cultivos, o que poderá conduzir ao manejo inadequado dos sistemas de irrigação.

Diante disso, a presente pesquisa objetiva testar o software SEVAP com suas diferentes metodologias para estimativa da ETo para diferentes localidades do Estado de Mato Grosso do Sul.

Material e Métodos

Dentre os métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) contidas no software SEVAP, testou-se no presente trabalho as metodologias Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Linacre, Makkink, Priestley-Taylor e mais cinco métodos pelo modelo de Penman-Monteith. No cálculo das evapotranspirações de referência pelos modelos de Penman-Monteith, o software utiliza as parametrizações apresentadas no Boletim 56 da FAO, para determinação das variáveis meteorológicas não disponíveis em observações de rotina em estações meteorológicas convencionais (Silva et al., 2005).

Os parâmetros de entrada para os cinco modelos de Penman-Monteith estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de entrada para estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) por diferentes modelos de Penman-Monteith utilizado pelo software SEVAP.

Método	Parâmetros de Entrada
PM1	Temperatura máxima, Temperatura mínima, Insolação e Velocidade do vento
PM2	Temperatura máxima, Temperatura mínima, Insolação, Umidade relativa e Velocidade do vento
PM3	Temperatura média, Umidade relativa e Velocidade do vento
PM4	Temperatura máxima, Temperatura mínima, Insolação, Radiação global e Velocidade do vento
PM5	Temperatura média, Umidade relativa, Saldo de radiação e Velocidade do vento

Os dados meteorológicos necessários para execução desse trabalho foram retirados das Normais Climatológicas (1961-1990) disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). As estações meteorológicas utilizadas foram das seguintes localidades sul-matogrossenses: Campo Grande, Corumbá, Coxim, Dourados, Ivinhema, Paranaíba, Ponta Porã e Três Lagoas. Os códigos das estações meteorológicas e

as informações de altitude, latitude e longitude são apresentados na Tabela 2.

Os dados mensais utilizados para alimentação do software SEVAP foram a umidade relativa média (%), temperatura média (°C), temperatura mínima (°C), temperatura máxima (°C), insolação (horas), velocidade do vento ($m s^{-1}$) e pressão atmosférica (hPa).

Tabela 2. Informações das estações meteorológicas de Mato Grosso do Sul utilizadas para estimativa da ETo pelo software SEVAP.

Localidade	Código	Altitude (metros)	Latitude (graus)	Longitude (graus)
Campo Grande	83611	532	-20,4428	-54,6464
Corumbá	83552	118	-19,0092	-57,6533
Coxim	83512	238	-18,5067	-54,7602
Dourados	83659	430	-22,2211	-54,8055
Ivinhema	83704	362	-22,3047	-53,8153
Paranaíba	83565	374	-19,6772	-51,1908
Ponta Porã	83702	655	-22,5361	-55,7255
Três Lagoas	83618	319	-20,7511	-50,6783

O método tomado como padrão e recomendado pela Food and Agriculture Organization para estimativa da evapotranspiração de referência foi o proposto por Penman-Monteith-FAO 56 (Allen et al., 1998), dado pela Equação 1.

$$ET_0 = \frac{0,408s(R_N - G) + \gamma \frac{900}{t+273} U_2 \frac{(e_s - e)}{10}}{s + \gamma(1+0,34U_2)} \quad \text{Eq (1)}$$

Onde:

- ET₀ = evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹;
- s = declividade da curva de pressão de vapor, kPa °C⁻¹;
- R_N = saldo de radiação, MJ m⁻² dia⁻¹;
- G = fluxo total de calor no solo, MJ m⁻² dia⁻¹;
- γ = coeficiente psicrométrico, kPa °C⁻¹;
- t = temperatura média diária do ar, °C;
- U₂ = velocidade do vento a 2 m de altura, m s⁻¹;
- e_s = pressão de saturação de vapor d'água na atmosfera, hPa; e
- e = pressão real de vapor d'água na atmosfera, hPa.

De posse dos valores de ETo, foi realizada uma análise de regressão que correlacionou os valores de ETo estimados pelo software SEVAP com o método Penman-Monteith-FAO56 (Allen et al., 1998). Foram considerados os coeficientes (a) e (b) das respectivas regressões lineares simples e o coeficiente de determinação (r²). A melhor alternativa foi aquela que apresentou coeficiente de regressão “a” próximo de zero,

coeficiente “b” próximo da unidade e maior coeficiente de determinação. A precisão é dada pelo coeficiente de determinação, pois indica o grau em que a regressão explica a soma do quadrado total.

A análise de desempenho do software SEVAP foi feita comparando os valores de ETo obtidos

pelos métodos empíricos com o método de Penman-Monteith-FAO56 (Allen et al., 1998). A metodologia adotada para comparação dos resultados foi proposta por Allen et al. (1989), e se fundamenta no erro-padrão da estimativa (EPE), calculada pela Equação 2. O melhor método para estimativa da ETo foi aquele que apresentou o menor EPE.

$$EPE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad \text{Eq (2)}$$

Onde:

- EPE = erro-padrão da estimativa, mm d⁻¹;
- Y_i = evapotranspiração de referência estimada pelo método-padrão, mm d⁻¹;
- X_i = evapotranspiração de referência obtida pelo software SEVAP, mm d⁻¹; e
- n = número de observações.

A aproximação dos valores de ETo estimados pelo software SEVAP, em relação aos valores obtidos com uso do método padrão, foi obtida por um índice designado concordância ou ajuste, representado pela letra “d” (Willmott et al., 1985), onde seus valores variam desde zero, onde não existe concordância, a 1, para a concordância perfeita. O índice de concordância (d) foi calculado aplicando-se a Equação 3. Para validação do modelo, obteve-se também o coeficiente de correlação de Pearson (r) pela Equação 4 e o coeficiente de confiança ou desempenho (c) pela Equação 5.



$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2}{\sum_{i=1}^n \left[(Y_i - \bar{Y}) + (X_i - \bar{X}) \right]^2} \quad \text{Eq (3)}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad \text{Eq (4)}$$

$$c = r d \quad \text{Eq (5)}$$

Onde:

d = índice de concordância ou ajuste de Willmott;

Y_i = evapotranspiração de referência estimada pelo método-padrão, mm d⁻¹;

X_i = evapotranspiração de referência obtida pelo software SEVAP, mm d⁻¹;

\bar{X} = média dos valores de evapotranspiração de referência obtidos pelo software SEVAP, mm d⁻¹;

n = número de observações;

r = coeficiente de correlação de Pearson;

\bar{Y} = média dos valores de evapotranspiração de referência obtidos pelo método-padrão, mm d⁻¹; e

c = coeficiente de confiança ou desempenho.

Segundo Cohen (1988), o coeficiente de correlação (r) pode ser classificado como: “muito baixo” ($r < 0,1$); “baixo” ($0,1 < r < 0,3$); “moderado” ($0,3 < r < 0,5$); “alto” ($0,5 < r < 0,7$); “muito alto” ($0,7 < r < 0,9$); e “quase perfeito” ($r > 0,9$).

O coeficiente c, proposto por Camargo & Sentelhas (1997), é interpretado de acordo com os referidos autores como: “ótimo” ($c > 0,85$); “muito bom” ($0,76 < c < 0,85$); “bom” ($0,66 < c < 0,75$); “mediano” ($0,61 < c < 0,65$), “sofrível” ($0,51 < c < 0,60$), “mau” ($0,41 < c < 0,50$) e “péssimo” ($c < 0,40$).

Resultados e Discussão

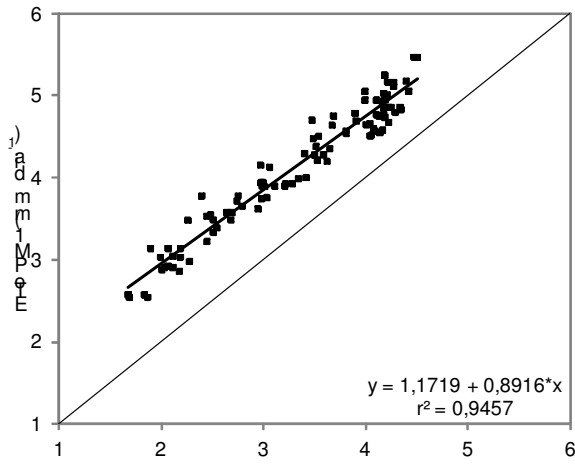
Na Figura 1 estão apresentados os gráficos e os modelos resultantes da regressão linear considerando os métodos de estimativa da

evapotranspiração de referência (ET_o) utilizados na análise tendo o método de Penman-Monteith padronizado pela FAO como padrão. Observa-se que apenas o método de Linacre subestimou os valores de ET_o, corroborando com Mendonça & Dantas (2010).

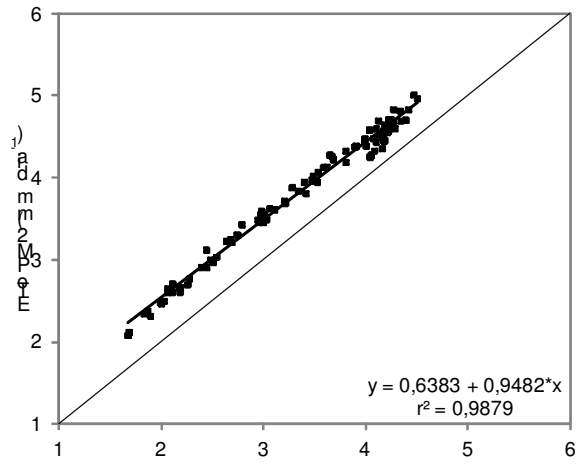
Além disso, o pior ajuste das equações para determinação da ET_o, de acordo com o coeficiente de determinação (r^2), também foi observada no método de Linacre ($r^2 = 0,5139$). Mendonça & Dantas (2010) na Paraíba, e Pereira et al. (2009) em Minas Gerais, também observaram dentre os métodos testados para determinação da ET_o, que o de Linacre obteve o pior ajuste. Dentre os métodos utilizados pelo software SEVAP, o método de Linacre é o único que não utiliza nenhum dado de velocidade de vento ou radiação. Este método empírico apesar de ser aplicável por ser simples e de fácil uso, em virtude de requerer apenas dados de temperatura do ar, altitude e latitude do lugar, não deve ser aplicado para estimativa de ET_o no Estado de Mato Grosso do Sul.

Os demais métodos utilizados pelo software SEVAP, que utilizam dados de radiação ou velocidade do vento, superestimaram a ET_o (Figura 1). Dentre esses métodos, o de melhor ajuste, de acordo com o r^2 , foi o método de Penman-Monteith (PM3), utilizando como parâmetros de entrada as variáveis: temperatura média, umidade relativa e velocidade do vento. Esse método também foi o que apresentou o coeficiente de regressão “a” mais próximo de zero. Quanto ao coeficiente de regressão “b”, o método que mais aproximou da unidade foi o PM2, que utiliza como parâmetros de entrada as variáveis: temperatura máxima, temperatura mínima, insolação, umidade relativa e velocidade do vento.

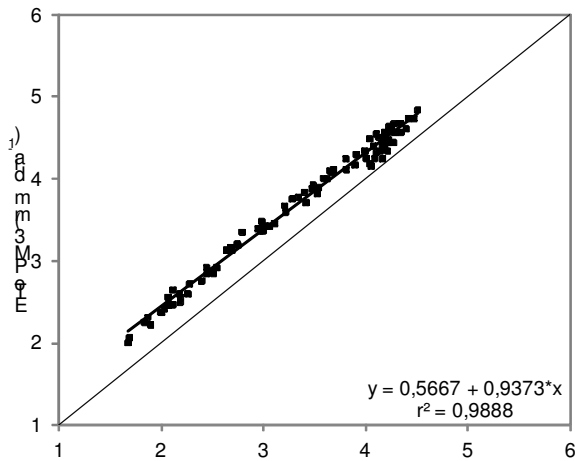
Os métodos de Jensen-Haise e Makkink além de superestimarem a ET_o, não combinaram bons valores de r^2 e coeficientes de regressão “a” e “b”. A metodologia de Jensen-Haise é adequada para regiões áridas e semi-áridas (Silva et al., 2005), e diante disso, não esperava-se bom desempenho da mesma no Estado de Mato Grosso do Sul. Entretanto, a metodologia foi testada pelo fato de Marcuzzo et al. (2008) no Estado de São Paulo ter conseguido boas estimativas de ET_o.



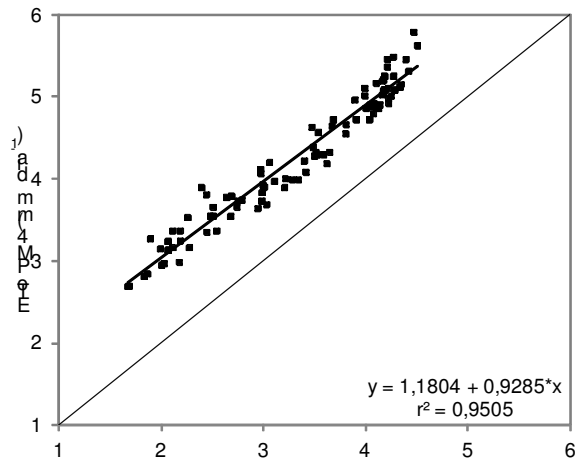
ETo Penman-Monteith-FAO56 (mm dia⁻¹)



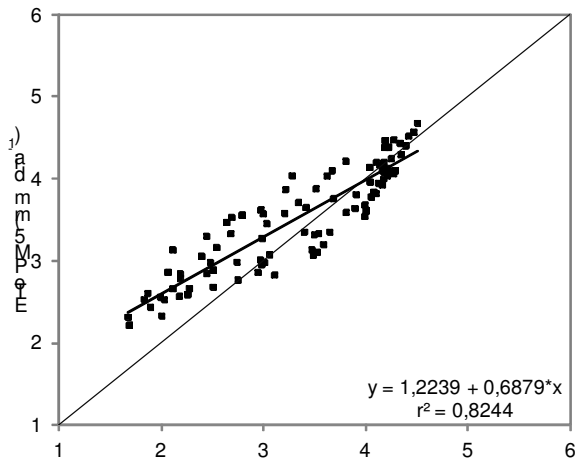
ETo Penman-Monteith-FAO56 (mm dia⁻¹)



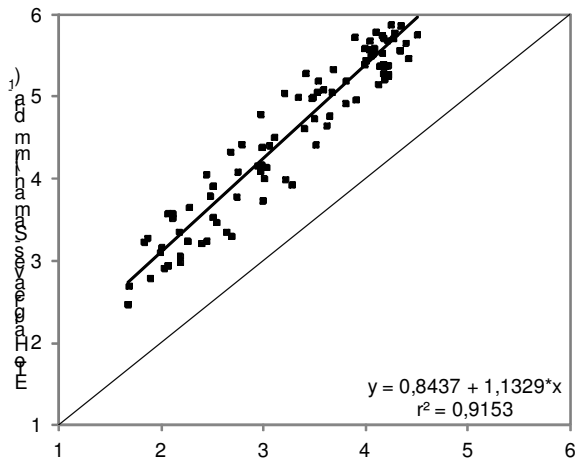
ETo Penman-Monteith-FAO56 (mm dia⁻¹)



ETo Penman-Monteith-FAO56 (mm dia⁻¹)



ETo Penman-Monteith-FAO56 (mm dia⁻¹)



ETo Penman-Monteith-FAO56 (mm dia⁻¹)

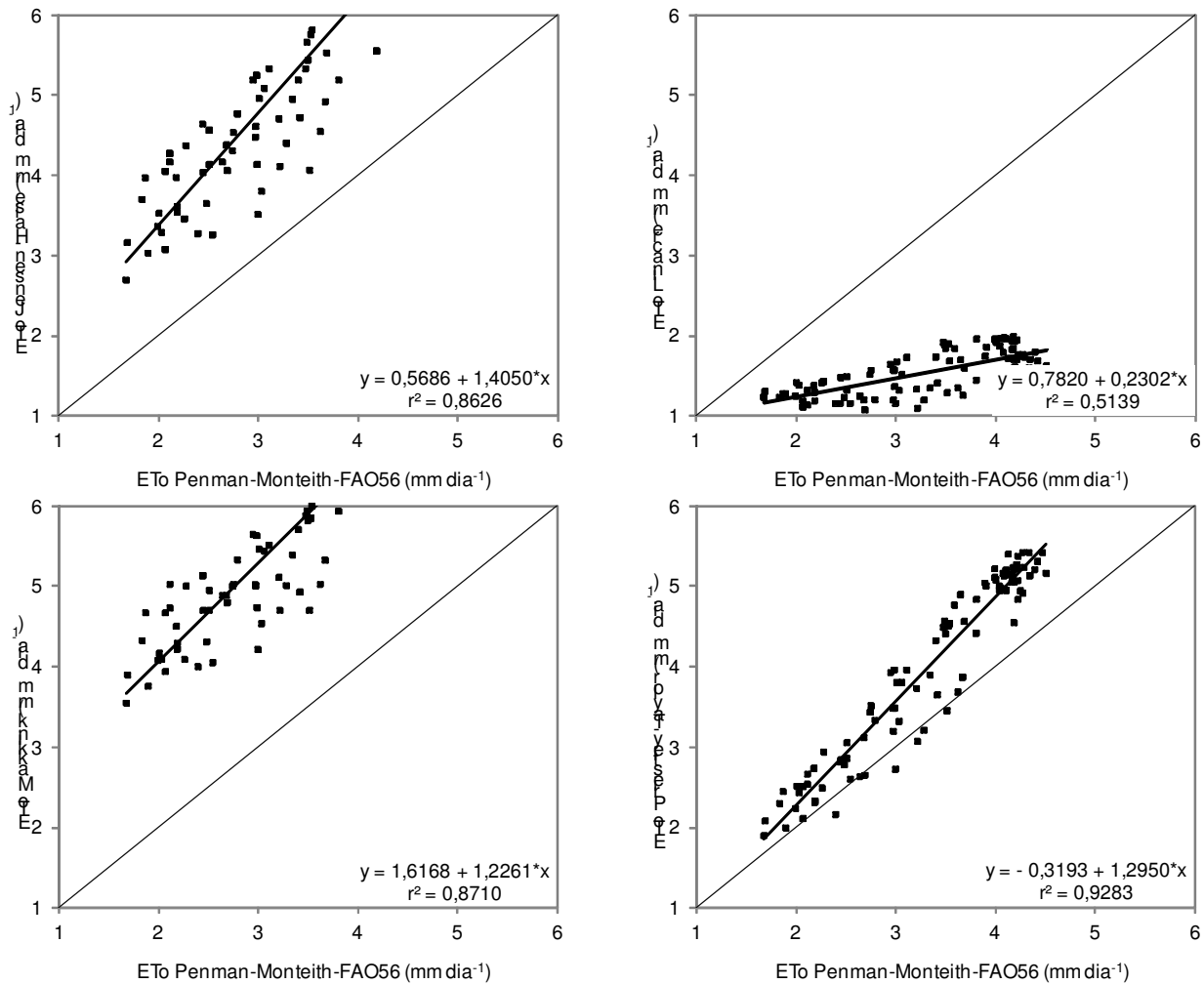


Figura 1. Valores de evapotranspiração de referência (ETo) obtido pelo método de Penman-Monteith-FAO 56 comparados com valores de ETo obtidos pelo SEVAP por meio das equações de Penman-Monteith com dados incompletos PM1 (t_{\max} , t_{\min} , n e U_2), PM2 (t_{\max} , t_{\min} , n , UR e U_2), PM3 (t , n , UR e U_2), PM4 (t_{\max} , T_{\min} , n , R_G e U_2), PM5 (t , UR , R_N e U_2), Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Linacre, Makkink e Priestley-Taylor.

* significativo a 1% de probabilidade, t_{\max} - temperatura máxima do ar, t_{\min} - temperatura mínima do ar, n - insolação, U_2 - velocidade do vento, UR - umidade relativa média do ar, t - temperatura média do ar, R_G - radiação terrestre, R_N - saldo de radiação.

Na Tabela 3 estão apresentados a estimativa do erro padrão (EEP), concordância de Willmott (d), correlação de Pearson (r), coeficiente de confiança (c) e desempenho de Camargo & Sentelhas (1997), obtidos das correlações entre os valores de evapotranspiração de referência (ETo) pelo método de Penman-Monteith-FAO 56 com os obtidos pelo software SEVAP. Observa-se que os melhores modelos para estimativa da ETo para Mato Grosso do Sul, de acordo com o desempenho de Camargo & Sentelhas (1997), foram os que utilizam a metodologia de Penman-Monteith. Entretanto, o

modelo PM3, do software SEVAP, foi o que apresentou o maior coeficiente de confiança. Esse modelo apresentou um coeficiente de correlação com classificação, segundo Cohen (1988), “quase perfeito”. Além disso, foi o modelo que apresentou o menor EPE, confirmando seu melhor desempenho em relação às demais metodologias. Para utilização desse modelo (PM3), além do software SEVAP, o profissional para a estimativa da ETo, precisaria apenas de um termo-higrógrafo e de um anemômetro.

Tabela 3. Estimativa do erro padrão (EEP), concordância de Willmott (d), correlação de Pearson (r), coeficiente de confiança (c) e desempenho de Camargo e Sentelhas, obtidos das correlações entre os valores de evapotranspiração de referência (ET_o) pelo método de Penman-Monteith-FAO 56 com os obtidos pelo software SEVAP com as equações de Penman-Monteith com dados incompletos PM1 (t_{max}, t_{min}, n e U₂), PM2 (t_{max}, t_{min}, n, UR e U₂), PM3 (t, n, UR e U₂), PM4 (t_{max}, T_{min}, n, R_G e U₂), PM5 (t, UR, R_N e U₂), Hargreaves-Samani, Jensen-Haise, Linacre, Makkink e Priestley-Taylor

Método	ET _o	EPE	d	r	c	Desempenho
Penman-Monteith-FAO56	3,3254	-	-	-	-	-
SEVAP -PM1	4,1369	0,8357	0,7914	0,9731	0,7701	Muito bom
SEVAP - PM2	3,7915	0,4761	0,9215	0,9941	0,9161	Ótimo
SEVAP - PM3	3,6834	0,3712	0,9499	0,9945	0,9447	Ótimo
SEVAP - PM4	4,2681	0,9610	0,7519	0,9765	0,7343	Bom
SEVAP - PM5	3,5115	0,4147	0,9187	0,9314	0,8556	Ótimo
SEVAP - Hargreaves-Samani	4,6110	1,3219	0,6658	0,9605	0,6394	Mediano
SEVAP - Jensen-Haise	5,2406	1,9999	0,5406	0,9413	0,5088	Mau
SEVAP - Linacre	1,5475	1,8990	0,4517	0,7720	0,3488	Péssimo
SEVAP - Makkink	5,6941	2,4084	0,4670	0,9465	0,4420	Mau
SEVAP - Priestley-Taylor	3,9870	0,7667	0,8610	0,9692	0,8345	Muito bom

T_{max} - temperatura máxima do ar, t_{min} - temperatura mínima do ar, n - insolação, U₂ - velocidade do vento, UR - umidade relativa média do ar, t - temperatura média do ar, R_G - radiação terrestre, R_N - saldo de radiação

As metodologias, Jensen-Haise e Makkink obtiveram baixos coeficientes de correlação e receberam, segundo Camargo & Sentelhas (1997), desempenho classificado como “mau”, sendo que o método de Makkink, dentre todas as metodologias avaliadas, o que apresentou o maior EPE (Tabela 3). Esperava-se melhor desempenho do método de Makkink, uma vez que é derivado do método de Penman-Monteith, mas possivelmente, o efeito da velocidade do vento do Estado de Mato Grosso do Sul, o qual o método não contempla, tenha sido o fator responsável pela má estimativa da ET_o.

Na literatura, Turco et al. (2008) no Estado de São Paulo e Araújo et al. (2007) em Roraima também verificaram baixo desempenho do método de Makkink, entretanto, nos Estados da Paraíba (Silva et al., 2005), Rio de Janeiro (Mendonça et al., 2003) e Pará (Silva & Costa, 2000), esse método apresentou ótima precisão na estimativa da ET_o, quando comparadas ao método padrão.

O método de Hargreaves-Samani recebeu classificação, quanto seu coeficiente de correlação (r), “quase perfeito”, segundo Cohen (1988). Entretanto, o método apresentou baixo coeficiente de confiança (c) e recebeu, de acordo com Camargo & Sentelhas (1997), desempenho “mediano” (Tabela 3). Outros trabalhos corroboram com esse resultado (Mendonça et al., 2003; Araújo et al., 2007; Oliveira et al., 2008; Tagliaferre et al., 2010; Silva et al., 2011).

A metodologia de Hargreaves-Samani se destaca por ser bastante simples e de fácil aplicação, necessitando apenas de dados de temperatura e latitude do local, entretanto, devido ao seu baixo coeficiente de confiança e por ter superestimado a ET_o na presente pesquisa, não apresenta boa alternativa para estimativa de tal parâmetro no Estado de Mato Grosso do Sul. Entretanto, quando se dispõe apenas de dados de temperatura do ar, pode ser usada com razoável confiabilidade.

O método de Priestley-Taylor apresentou baixo EPE, recebeu classificação “quase perfeito” para o coeficiente de correlação, e desempenho “muito bom” pelo coeficiente de confiança (Tabela 3). Tagliaferre et al. (2010) no Estado da Bahia, Silva et al. (2011) em Minas Gerais e Bragança et al. (2010) no Espírito Santo também observaram bom desempenho do método de Priestley-Taylor para estimativa da ET_o diária. Essa metodologia é baseada no saldo de radiação e tem sido usada em diversos estudos devido sua simplicidade em relação aos métodos combinados, por não exigir dados de velocidade do vento e umidade relativa do ar.

Conclusões

O software SEVAP é de utilização simples e possibilita a estimativa da ET_o com precisão para Mato Grosso do Sul, quando utiliza o método de Penman-Monteith, opção 3 do programa.



As metodologias de Jensen-Haise, Linacre e Makkink do software SEVAP não devem ser utilizadas para estimativa da ETo em Mato Grosso do Sul.

O método de Priestley-Taylor apresenta confiáveis estimativas de ETo e o método de Hargreaves-Samani deve ser utilizado quando se dispõe apenas de dados de temperatura do ar.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de iniciação científica ao primeiro autor.

Referências

ALLEN, R.G.; JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.; BURMAN, R.D. Operational estimates of reference evapotranspiration. **Agronomy Journal**, 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**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

ARAÚJO, W.F.; COSTA, S.A.A.; SANTOS, A.E. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) para Boa Vista, RR. **Caatinga**, Mossoró, v.20, n.4, p.84-88, 2007.

BARROS, V.R.; SOUZA, A.P.; FONSECA, D.C.; SILVA, L.B.D. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.4, n.2, p.198-203, 2009.

BERLATO, M.A.; MOLION, L.C.B. **Evaporação e evapotranspiração**. Porto Alegre: IPAGRO/Secretaria de Agricultura, 1981. 95 p. (Boletim Técnico, 7).

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**, Arica, v.28, n.2, p.21-29, 2010.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa

da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CARVALHO, L.G.; RIOS, G.F.A.; MIRANDA, W.L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: Uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. New Jersey: Lawrence Erlbaum, 1988. 569 p.

DOLAN, T.J.; HERMANN, A.J.; BAYLEY, S.E.; ZOLTEK Jr., J. Evapotranspiration of a Flórida, USA, freshwater wetland. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.74, n.1, p.355-371, 1984.

JABLOUN, M.; SAHLI, A. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data application to Tunisia. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.95, n.6, p.707-715, 2008.

JACOBS, J. M.; SATTI, S.R. **Evaluation of reference evapotranspiration methodologies and AFSIRS crop water use simulation model**. Gainesville: Department of Civil and Coastal Engineering, University of Florida, 2001. 114 p.

LÓPEZ-URREA, R.; OLALLA, F.M.S.; FABEIRO, C.; MORATALLA, A. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.85, n.1, p.15-26, 2006.

MARCUZZO, F.F.N.; ARANTES, E.J.; WENDLAND, E. Avaliação de métodos de estimativa de evapotranspiração potencial e direta para a região de São Carlos-SP. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.3, p.323-338, 2008.

MENDONÇA, E.A.; DANTAS, R.T. Estimativa da evapotranspiração de referência no município de Capim, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 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**, Campina Grande, v.7, n.2, p.275-279, 2003.
- OLIVEIRA, R.A.; TAGLIAFERRE, C.; SEDIYAMA, G.C.; MATERAM, F.J.V.; CECOM, P.R. Desempenho do Irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.2, p.166-173, 2008.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1997. 183 p.
- PEREIRA, D.R.; YANAGI, 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**, Santa Maria, v.39, n.9, p.2488-2493, 2009.
- ROCHA, O.C.; GUERRA, A.F.; AZEVEDO, H.M. Ajuste do modelo Christiansen-Hargreaves para estimativa da evapotranspiração do feijão no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.263-268, 2003.
- SILVA, M.M.; COSTA, A.C.L. Estudo comparativo da evapotranspiração em área de floresta de manguezal na região Bragantina-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CBM, 2000. p.418-421.
- SILVA, V.P.R.; BELO FILHO, A.F.B.; SILVA, B.B.; CAMPOS, J.H.B.C. Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p.547-553, 2005.
- SILVA, V.J.; CARVALHO, H.P.; SILVA, C.R.; CAMARGO, R.; TEODORO, R.E.F. Desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária em Uberlândia, MG. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 1, p. 95-101, 2011.
- TAGLIAFERRE, C.; SILVA, R.A.J.; ROCHA, F. A.; SANTOS, L.C.; SILVA, C.S. Estudo comparativo de diferentes metodologias para determinação da evapotranspiração de referência em Eunápolis-BA. **Caatinga**, Mossoró, v.23, n.1, p.103-111, 2010.
- TURCO, J.E.; PERECIN, D.; PINTO Jr., D.L. Influência da acurácia de instrumentos de medidas na comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.1, p.63-80, 2008.
- WILLMOT, 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.
- XU, C.Y.; CHEN, D. Comparison of seven models for estimation of evapotranspiration and groundwater recharge using lysimeter measurement data in Germany. **Hydrological Processes**, Chichester, v.19, n.18, p.3717-3734, 2005.
- YODER, R.E.; ODHIAMBO, L.O.; WRIGHT, W.C. Evaluation of methods for estimating daily reference crop evapotranspiration at a site in the humid Southeast United States. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v.21, n.2, p.197-202, 2005.