

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA A REGIÃO MESOCLIMÁTICA DE SANTA MARIA-RS¹.

EVALUATION OF METHODS FOR ESTIMATION OF THE POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION FOR A MESOCLIMATIC REGION OF SANTA MARIA-RS BRASIL.

Sandro Luis Petter Medeiros²

RESUMO

Foi comparado o desempenho de doze métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETP) com os dados obtidos em evapotranspirômetros tipo "Thornthwaite-Mather", visando determinar quais deles apresentam as melhores estimativas da ETP para a região de Santa Maria-RS (clima tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen). Os dados utilizados foram as médias de quinquênios obtidos em seis anos de observação. O desempenho dos métodos foi avaliado a partir do índice de performance de Camargo (CAMARGO & SENTELHAS, 1997). De acordo com este índice, os métodos de Penman, Camargo e Tanner e Pelton apresentaram desempenho "muito bom"; os métodos de Benevides-Lopez, Turc, Hargreaves e Samani, Jensen-Haise, Makking, tanque classe A e Priestley e Taylor, tiveram desempenho "bom" enquanto que Os métodos de Linacre e David mostraram desempenho "mau" e "péssimo", respectivamente.

Palavras-chave: evapotranspiração de referência, evapotranspirômetro, métodos de estimativa.

SUMMARY

¹ Trabalho financiado pela FAPERGS e FIPE/UFSM.

The performance of twelve reference evapotranspiration (ETP) estimating methods were evaluated through correlation with data obtained in evapotranspirometers type "Thornthwaite-Mather" localized at Santa Maria-RS, Brazil. The data utilized consisted of five days mean, from six years of observations. The performance evaluation was based on analysis by Camargo performance index Camargo (CAMARGO & SENTELHAS, 1997). The results showed that a very good performance was obtained with Penman, Camargo and Tanner-Pelton methods. The methods Benevides-Lopez, Turc, Hargreaves and Samani, Jensen-Haise, Makking, class A pan and Priestley and Taylor showed a good performance. The methods of Linacre and David showed a bad and very bad performance, respectively.

Key Words: reference evapotranspiration, evapotranspirometer, methods performance.

INTRODUÇÃO

As exigências hídricas dos cultivos agrícolas são um dos parâmetros essenciais ao dimensionamento de projetos de irrigação. O consumo de água das culturas pode ser medido com a utilização de evapotranspirômetros. Entretanto, devido ao alto custo de instalação e manejo destes equipamentos, tem-se procurado determinar o consumo de água, através de equações de estimativa da evapotranspiração de referência, aliado a coeficientes de cultura específicos.

Na literatura agronômica encontram-se diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. Entretanto, para a escolha de um determinado método deve-se levar em consideração dois aspectos: praticidade e precisão. Os métodos teóricos e/ou métodos micrometeorológicos, apesar de serem baseados em princípios físicos e de possuírem alta precisão, apresentam limitações, principalmente quanto à instrumentação, o que impede em grande parte a sua utilização (BERLATO & MOLION, 1981).

Os métodos empíricos ou semi-empíricos são os mais empregados nas estimativas da evapotranspiração de referência, visto que estes utilizam dados meteorológicos facilmente disponíveis. Entretanto, estes métodos foram desenvolvidos em condições climáticas específicas, existindo portanto a necessidade de testá-los em uma determinada região, através da comparação dos valores estimados com os valores medidos em equipamento padrão. Desta forma, obtém-se os métodos mais apropriados à região, os quais podem ser utilizados em outras regiões climaticamente semelhantes.

² Eng. Agr., Dr., Prof. Adj. do Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa

A precisão de um método é dada pelo coeficiente de correlação que indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação a média, ou seja, o erro aleatório. A exatidão está relacionada ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados. Matematicamente essa aproximação é dada por um índice designado de concordância, representado pela letra “d” (CAMARGO & SENTELHAS, 1997).

O índice “d” foi proposto por WILLMOT et al. (1985) apud CAMARGO & SENTELHAS (1997), sendo calculado segundo a equação abaixo,

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

onde P_i é o valor estimado; O_i é o valor observado e \bar{O} a média dos valores observados.

CAMARGO & SENTELHAS (1997) apresentam um novo índice denominado de “c” que segundo os autores reúne os índices de precisão “r” e de exatidão “d” sendo expresso da seguinte forma:

$$c = r.d \quad (2)$$

CAMARGO & SENTELHAS (1997) utilizaram este índice na avaliação do desempenho dos diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o Estado de São Paulo, Brasil, conforme os critérios da Tabela 1.

Num estudo de avaliação de métodos para a estimativa da evapotranspiração máxima da alfafa, SANTOS et al. (1994) concluíram que as estimativas para intervalos quinquidiais, ou intervalos maiores, apresentam resultados satisfatórios enquanto que em nível diário demonstram incerteza, explicando que há uma tendência de estabilização do erro a partir de estimativas

Tabela 1. Critério de avaliação do desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, pelo índice “c”, segundo CAMARGO & SENTELHAS (1997).

Valor de “c”	Desempenho
>0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,6	Sofrível
0,41 a 0,5	Mau
≤ 0,4	Péssimo

qüinqüidiais.

Entretanto, deve-se conciliar uma resolução temporal mínima que minimize os erros nas estimativas da evapotranspiração (no mínimo qüinqüidial) com a necessidade de estimavas em intervalos de tempos adequados para projetos de irrigação (preferencialmente diários). Assim sendo, deve-se preferencialmente avaliar os métodos de estimativas da evapotranspiração de referência em intervalos de no máximo de qüinqüídios, conciliando-se então as exigências estatísticas com as necessidades dos projetos de irrigação.

Desta forma, este trabalho teve por objetivo comparar os diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, visando eleger os métodos mais adequados à região de Santa Maria-RS.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados meteorológicos utilizados para estimativas da evapotranspiração de referência foram obtidos no acervo da Estação Climatológica Principal, localizada no Campo Experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (latitude: 29°41'S, longitude: 53°42'W e altitude: 95m). A evapotranspiração de referência foi medida em um conjunto de três evapotranspirômetros de drenagem, tipo "Thorthwaite-Mather" com área de 0,93m² e cultivados com grama (*Paspalum notatum*, Flugge). O clima da região é Cfa, segundo a classificação de Köppen (MORENO, 1961).

Os dados utilizados constaram de observações diárias de evapotranspiração de referência (ETP), temperatura média do ar (tmed), temperatura máxima do ar (tmax), temperatura mínima do ar (tmin), temperatura do termômetro de bulbo úmido (tu), velocidade do vento a 2m de altura (U₂), umidade relativa do ar (UR), insolação (n) e evaporação do tanque classe A (ECA), dos anos de 1978, 1980 e de 1982 a 1985. A radiação solar no topo da atmosfera (Ra) e a radiação solar global foram estimadas com o auxílio das equações apresentadas por ESTEFANEL et al. (1990). O saldo de radiação foi estimado a partir da equação de BRUNT-PENMAN (BERLATO & MOLION, 1981). Na análise dos dados, utilizou-se a média dos qüinqüídios.

As descrições dos termos com as respectivas unidades utilizadas nas equações dos métodos avaliados, encontram-se no Apêndice 1. Os métodos avaliados foram:

1. Método de David (ETPD)

$$ETDP = 1,3329 (e_s - e_a) \quad (3)$$

2. Método de Hargreaves-Samani (ETPHS)

$$ETPHS = 0,0023 Ra(t_{max} - t_{min})^{0,5}(t_{med} + 17,8) \quad (4)$$

3. Método de Benevides-Lopez (ETPBL)

$$ETPBL = (1,21) 10^{(7,5t_{med})/(237,5+t_{med})}(1 - 0,01 UR) + \\ + 0,21 t_{med} - 2,30 \quad (5)$$

4. Método do tanque "Classe A" (ETPCA)

$$ETPCA = (Kp) (ECA) \quad (6)$$

onde, segundo SNYDER (1992) apud PEREIRA et al. (1997):

$$Kp = 0,482 + 0,024 \ln(d) - 0,000376 U_2 + \\ + 0,00454 UR$$

5. Método de Jensen-Haise (ETPJH)

$$ETPJH = R_s (0,078 + 0,21 t_{med}) \quad (7)$$

6. Método de Tanner e Pelton (ETPTP)

$$ETPTP = 1,12 (R_n / 59) - 0,11 \quad (8)$$

7. Método de Penmam (ETPP)

$$ETPP = [(\Delta / g)(R_n / 59) + E_a] / (1 + \Delta / g) \quad (9)$$

onde, $E_a = (0,035 + 0,184 U_2) (e_s - e_a)$

8. Método de Turc (ETPT)

$$ETPT = 0,013 [t_{max} / (t_{max} + 15)](R_s + 50) \quad (10)$$

9. Método de Makking (ETPM)

$$ETPM = 0,61 (\Delta / \Delta + g) (R_s - 59) - 0,12 \quad (11)$$

10. Método de Camargo (ETPC)

$$ETPC = (0,01 Ra) (tmed) \quad (12)$$

11. Método de Linacre(ETPL)

$$ETPL = \left\{ \left[500 (tmed + 0,006 H) / (100 - L) \right] + \right. \\ \left. + 15 (tmed - T_0) \right\} / (80 - tmed) \quad (13)$$

onde

$$T_0 = \left[237,5 \log(e_a) - 157 - L \right] / \left[8,16 - \log(e_a) \right]$$

12. Método de Priestley e Taylor (ETPPT)

$$ETPPT = (1,26 W) (Rn) \quad (14)$$

onde,

$$W = 0,407 + 0,0145 t \quad \text{para } 0^\circ < t \leq 16^\circ\text{C} \quad (15)$$

$$W = 0,483 + 0,01 t \quad \text{para } 16,1^\circ < t \leq 32^\circ\text{C} \quad (16)$$

Nas equações 15 e 16, a variável **t** representa a temperatura média do termômetro de bulbo úmido ($t_{med,u}$), utilizada no método original de Linacre. Entretanto, este elemento meteorológico é menos disponível que a temperatura média do termômetro de bulbo seco (t_{med}). Assim, optou-se por testar uma modificação no método de Priestley e Taylor, a qual consistiu na utilização da média da temperatura do termômetro de bulbo seco nas equações 15 e 16, permitindo então avaliar a consequência desta substituição sobre a estimativa da evapotranspiração de referência.

Maiores detalhes sobre estes métodos podem ser encontrados em CAMARGO (1971), BERLATO & MOLION (1981), NETO et al. (1985), SORIANO & PEREIRA (1993) e PEREIRA et al. (1997).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A literatura agronômica nacional contempla vários trabalhos realizados com o objetivo de selecionar os melhores métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para diferentes culturas e regiões do Brasil, citando-se, entre outros, os trabalhos apresentados por CASTRO NETO et al. (1985), DELLA LIBERA et al. (1985), MATZENAUER (1985), SOUZA & SILVA (1985),

CASTRO NETO & SOARES (1989), LIMA (1989), AZEVEDO et al. (1989), SANTOS et al. (1994), CAMARGO & SENTELHAS (1997).

Geralmente, os resultados deste tipo de trabalho são analisados em função do coeficiente de correlação (r) e da equação de regressão (y é a estimativa e x é a medida da ETP, respectivamente, como consta na Tabela 2). Logicamente, o tipo de critério utilizado para identificar o melhor método de estimativa da ETP determina diretamente o resultado final. Neste trabalho, utilizaram-se os critérios do índice “c” proposto por CAMARGO & SENTELHAS (1997) para classificar o desempenho dos diferentes métodos estimativa (Tabela 1).

A variação da evapotranspiração de referência ao longo do ano é governada basicamente pela distribuição do saldo de radiação, pois este é o principal fator determinante da evapotranspiração. Segundo BERLATO & MOLION (1981), os métodos que se fundamentam em princípios físicos inerentes ao processo de evaporação geralmente apresentam um bom desempenho para localidades com diferentes condições climáticas.

A partir dos resultados apresentados Tabela 2, constata-se que o melhor desempenho foi obtido pelo método de Penman, Camargo e Tanner e Pelton, os quais receberam a classificação “muito bom”. Após estes, classificam-se como “bom” os métodos de Benevides-Lopez, Turc, Hargreaves-Samani, Jensen e Haise, Makking, Tanque Classe “A” e Priestley e Taylor. Os métodos de Linacre e de David foram classificados como “mau” e “péssimo”, respectivamente.

Tabela 2. Desempenho dos diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Santa Maria-RS.

Método	Equação de regressão	Índice			Desempenho
		r	d	"c"	
Penman	$y=0,98x+0,14$	0,87	0,93	0,81	Muito bom
Camargo	$y=0,8x+0,41$	0,86	0,92	0,79	Muito bom
Tanner e Pelton	$y=1,04x+0,06$	0,84	0,9	0,76	Muito bom
Benevides-Lopez	$y=0,99x+0,11$	0,83	0,9	0,75	Bom
Priestley e Taylor ⁽¹⁾	$y=0,84x-0,14$	0,84	0,88	0,74	Bom
Turc	$y=0,75x+1,28$	0,84	0,87	0,73	Bom
Hargreaves-samani	$y=1,02x+0,98$	0,88	0,83	0,73	Bom
Jensen e Haise	$y=1,13x+0,41$	0,85	0,86	0,73	Bom
Makking	$y=0,61x+0,57$	0,85	0,85	0,72	Bom
Tanque classe "A"	$y=1,03x+0,91$	0,86	0,83	0,71	Bom
Priestley e Taylor ⁽²⁾	$y=0,89x-0,18$	0,77	0,89	0,68	Bom
Linacre	$y=0,86x+2,78$	0,83	0,59	0,49	Mau
David	$y=1,93x+0,67$	0,79	0,49	0,39	Péssimo

Onde, y e x, valores estimado e observado, respectivamente; r-coeficiente de correlação; d-índice de concordância; c-índice de desempenho.

⁽¹⁾ Estimativa obtida com o método original de Priestley e Taylor ;

⁽²⁾ Estimativa obtida com o método de Priestley e Taylor modificado.

Os métodos de Tanner e Pelton e de Penman obtiveram um desempenho “muito bom” basicamente por considerarem o saldo de radiação nas suas estimativas (equações 8 e 9, respectivamente). O método de Camargo (equações 12), que apesar de considerar somente a

radiação solar extraterrestre e a temperatura do ar na estimativa da evapotranspiração, também obteve um desempenho “muito bom” (Tabela 2). Estes resultados diferem parcialmente daqueles apresentados por CAMARGO & SENTELHAS (1997) que, para o Estado de São Paulo-Brasil, obtiveram a classificação de desempenho “bom” e “mediano” para os métodos de Penman e de Tanner e Pelton, respectivamente, e somente os métodos Camargo e Priestley e Taylor foram classificados como “muito bom”.

Na Tabela 2, observa-se que, apesar do método original de Priestley e Taylor ter obtido um valor de índice “c” mais elevado que o verificado no método modificado, ambos foram classificados como “bom”. Portanto, para regiões climaticamente semelhantes a Santa Maria e na ausência de dados de temperatura de bulbo úmido, pode-se utilizar dados de temperatura de bulbo seco no método de Priestley e Taylor.

O baixo desempenho dos métodos de David e Linacre pode ser explicado pelo fato de que não é considerada a radiação solar (equações 3 e 13, respectivamente). Considerando que estes dois métodos necessitam apenas da temperatura do ar e/ou do déficit de saturação do vapor d’água em suas estimativas, então, as variáveis meteorológicas utilizadas por estes métodos apresentam pequena influência sobre a evapotranspiração na região de Santa Maria ou mesmo, que estes métodos necessitam ser ajustados para a região.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que:

1. Estimativas adequadas da evapotranspiração de referência, em Santa Maria-RS, são obtidas com os métodos de Penman, de Camargo e de Tanner e Pelton.
2. Os métodos que incorporam a radiação solar e a temperatura do ar em sua estrutura, possuem uma melhor estimativa da evapotranspiração de referência que os métodos que utilizam somente temperatura do ar e/ou o déficit de saturação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, P.V. de, COSTA, J. de P.R. da, LEITÃO, M. de M.V.B.R. Medida e estimativa da evapo-transpiração numa cultura de soja irrigada, nas condições Semi-árida do Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOLOGIA, 6., 1989, Maceió, AL. **Anais...**, Maceió : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. 491 p. p. 185-194.
- BERLATO, M.A., MOLION, L.C.B. **Evaporação e Evapotranspiração**. Porto Alegre, IPAGRO : Secretaria de Agricultura, RS. 1981. 95 p. (Boletim Técnico, 7).
- CAMARGO, A.P. **Balço Hídrico no estado de São Paulo**. 3. ed., Campinas, IAC, 1971. 24 p.
- CAMARGO, A.P., SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n.1, p. 89-97, 1997.
- CASTRO NETO, P.C., FARIA, A.M. de, SILVA, A.M. da et al.. Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração potencial para a região de Lavras, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOLOGIA, 4., 1985, Londrina, PR. **Resumos...**, Londrina : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. 1985. 200 p. p. 117.
- CASTRO NETO, P.C., SOARES, A.M. Avaliação sazonal de métodos para a estimativa da evapotranspiração potencial diária em Lavras, Estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOLOGIA, 6., 1989, Maceió, AL. **Anais...**, Maceió: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. 1989. 491 p. p. 265-274.
- DELLA LIBERA, C. de L.F., VOLPE, C.A., ANDRE, R.G.B. et al. Relação entre a evapotranspiração máxima (ET_m) da cultura de milho e a evapotranspiração referência (ETP) estimada por diferentes métodos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOLOGIA, 4., 1985, Londrina, PR. **Anais...**, Londrina: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. 1985, 491 p. p. 103-112.
- ESTEFANEL, V., SCHNEIDER, F.M., BERLATO, M.A., et al. Insolação e radiação solar na região de Santa Maria, RS: I-Estimativa da radiação solar global incidente a partir dos dados de insolação. **Rev. do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, v. 20, n. 3-4, p. 203-218. 1990.
- LIMA, M.G.de.. Evapotranspiração Máxima (ET_m) da cultura do Feijão Macassar (*Vigna unguiculata*, (L) WALP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOLOGIA, 6., 1989, Maceió, AL. **Anais...**, Maceió: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. 1989. 491 p. p. 275- 282.

- MATZENAUER, R. Teste de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_m) do milho (*Zea mays* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4., 1985, Londrina, PR. **Resumos...**, Londrina: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. 1985. 200 p. p. 18-20.
- MORENO, J.A. **O clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre : Secretaria de Agricultura. 43 p. 1961.
- NETO, M. da S.A.; OLIVEIRA, C.A.V. e SILVA, D.D. da. Avaliação de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial em regiões Semi-Áridas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4., 1985, Londrina, PR. **Anais...**, Londrina : Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. 1985. 344 p., p. 211-229.
- PEREIRA, A.R., VILA NOVA, N.A., SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração** Piracicaba : FEALQ, 1997. 183 p.
- SANTOS, O.D., BERGAMASCHI, H., CUNHA, G.R. Avaliação de métodos para a estimativa da evapotranspiração máxima da alfafa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 37-42. 1994.
- SOUZA, J.L. de, SILVA, M.A.V. Evapotranspiração da cultura do feijoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4., 1985, Londrina, PR. **Resumos...**, Londrina: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia. 1985. 200 p. p.24-32.
- SORIANO, B.M.A., PEREIRA, A.R. Estimativa da evapotranspiração de referência para a sub-região da Nhecolândia, pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, p. 123-129. 1993.