

AVALIAÇÃO SAZONAL DE MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO  
POTENCIAL DIÁRIA EM LAVRAS, ESTADO DE MINAS GERAIS

Pedro Castro Neto<sup>1</sup>  
Ângela Maria Soares<sup>2</sup>

Projeto METAGRO, FINEP/ESAL  
Escola Superior de Agricultura de Lavras  
C.P. 37 DBI/ESAL - CEP 37200 - LAVRAS - MG

RESUMO

A partir de medidas diárias de evapotranspiração potencial obtidas em lisímetros de drenagem, foi feita uma avaliação do comportamento de vinte e três métodos de estimativa da evapotranspiração potencial. Os resultados obtidos mostraram que o comportamento de um método varia ao longo do ano. No período seco os métodos de Penman e Makkink apresentaram um melhor resultado enquanto que, para a estação chuvosa, os métodos propostos por Thornthwaite e por Ostromecki mostraram-se mais adequados.

ABSTRACT

A performance evaluation in twenty three methods of estimating potential evapotranspiration was made based on daily measurements taken with drainage lysimeters. Results showed that methods efficiency varies throughout the year. Penman and Makkink's methods performed better during the dry season period whereas Thornthwaite and Ostromecki's ones were more adequate for the rainy season period.

I. INTRODUÇÃO

A evapotranspiração pode ser separada em dois componentes no sistema solo-planta: evaporação da água do solo e da superfície vegetal, e a transpiração, ou seja, a evaporação que ocorre a partir das epidermes foliares.

Numa superfície natural, totalmente coberta por vegetação baixa, em fase de crescimento ativo, com altura uniforme e teor de água no solo próximo à capacidade de campo, a quantidade de água transferida para a atmosfera é original-

---

<sup>1</sup> Professor Adjunto do Departamento de Biologia da ESAL.

<sup>2</sup> Bolsista Recém-doutor - CNPq/ESAL.

mente conhecida como Evapotranspiração Potencial (EP), sendo seu valor determinado pelas condições atmosféricas predominantes.

Na ausência de uma ou mais das condições anteriores, é conhecida como Evapotranspiração Real (ER).

A quantificação da Evapotranspiração Potencial é limitada pela dificuldade de manutenção ou mesmo inexistência de equipamentos necessários para sua medida direta. Vários métodos, teóricos, empíricos ou semi-empíricos, são disponíveis para estimar a EP em função de dados meteorológicos. Estes métodos são apresentados, entre outros, por BRUTSAERT [2], STEWART [13], CASTRO NETO [5], HATFIELD [7] e JENSEN [9].

Os métodos de estimativas foram desenvolvidos em condições climáticas específicas, segundo a disponibilidade de dados e a realidade física do local. Portanto, existe a necessidade de verificação do comportamento de cada método para as diversas regiões do país, considerando-se também a resposta dos métodos às variações sazonais.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento de alguns métodos para estimativa da evapotranspiração potencial em relação a valores medidos em lisímetros de drenagem.

## II. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no "Campus" da Escola Superior de Agricultura de Lavras, Minas Gerais, situado no município de Lavras, a uma latitude de 21°14' S, longitude de 45°00' W e altitude média de 915 metros. Segundo a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima Cwb [4].

A evapotranspiração potencial foi medida em uma bateria de lisímetros instalada em uma área gramada (*Paspalum notatum* Flugge) do setor de Bioclimatologia, margeando a Estação Climatológica Principal de Lavras.

A bateria de lisímetros consta de seis evapotranspirômetros com diâmetro e profundidade de 1,2 metros, podendo ser utilizada como lisímetros de subirrigação ou de drenagem, particularidade que permite maior versatilidade à estrutura. Para o presente experimento, foram utilizados os dados coletados em três dos evapotranspirômetros que, no período experimental, funcionaram pelo processo de drenagem.

Os dados meteorológicos foram coletados na Estação Climatológica Principal de Lavras, segundo metodologia preconizada pelo Instituto Nacional de Meteorologia.

Foram testados vinte e três métodos para a estimativa do valor da Evapotranspiração Potencial. Convém ressaltar que os métodos foram adaptados em suas unidades de forma a uniformizar os termos utilizados e obter os resultados em mm/dia, mesmo para aqueles que, originalmente, estimam os valores para períodos maiores.

A seguir, são apresentados os métodos, em ordem alfabética:

1. Método de BLANEY & CRIDDLE [9]
2. Método de BUDYKO [9]
3. Método de CAMARGO [3]
4. Método de CRISTIANSEN & HARGREAVES (correlação múltipla com base na Evaporação da Tanque Classe A) [9]
5. Método de CRISTIANSEN & HARGREAVES (correlação múltipla com base na radiação no topo da atmosfera) [9]
6. Método de DAVID [9]
7. Método de HARGREAVES [8]
8. Método de IVANOV [9]
9. Método de JENSEN - HAISE 1 [5]
10. Método de JENSEN - HAISE 2 [5]
11. Método de LINACRE 1 [10]
12. Método de LINACRE 2 [10]
13. Método de MAKKINK [9]
14. Método de McILROY 1 [5]
15. Método de McILROY 2 [5]
16. Método de McILROY 3 [5]
17. Método de OSTROMECKI [9]
18. Método de PAPADAKIS [9]
19. Método de PENMAN [5]
20. Método de STEPHENS [9]
21. Método do TANQUE CLASSE A [6]
22. Método de THORNTHWAITE [4]
23. Método de TURC [9]

A comparação entre os métodos foi efetuada com base nos desvios médios e na soma dos quadrados dos desvios de cada método em relação aos valores medidos nos lisímetros de drenagem.

Foram eliminados da análise os dados referentes a dias com precipitação elevada, para os quais o valor da Evapotranspiração Potencial medida não foi consistente devido ao tempo de resposta dos evapotranspirômetros a estes altos valores pluviométricos.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para facilitar a discussão dos resultados, os métodos de estimativa foram distribuídos em seis grupos, segundo os dados meteorológicos principais necessários.

Os resultados se referem ao período de maio de 1984 a março de 1985. O período experimental pode ser dividido, segundo PERON & CASTRO NETO [11], em uma estação seca (de maio a setembro) e uma estação chuvosa (de outubro a março).

O mês de dezembro de 1984 não foi considerado em razão do grande número de dias chuvosos e alta precipitação, o que interferiu na operação dos lisímetros.

Na Figura 1a são apresentados os valores médios da evapotranspiração potencial diária medida pelo lisímetro de drenagem e estimados pelos métodos com base na temperatura do ar para cada um dos meses estudados.

Os métodos de Blaney-Criddle e Budyko superestimaram os valores medidos em 0,7 e 1,2 mm/dia respectivamente, enquanto o método de Thornthwaite subestimou em 0,2 mm/dia e o método de Camargo não apresentou desvio dos valores medidos.

Os métodos de Camargo e de Thornthwaite subestimaram os valores medidos no período seco e superestimaram em parte do período chuvoso. Os desvios apresentados pelos métodos de Blaney-Criddle e Budyko foram mais uniformes ao longo de todo o período experimental, apesar de apresentarem uma melhor estimativa nos meses de outubro e novembro.

Os valores médios da evapotranspiração potencial estimada por duas versões do método de Linacre, e pelos métodos de Ivanov e de Hargreaves são apresentados na Figura 1b. Estes métodos utilizam dados de temperatura e umidade do ar.

As maiores superestimativas do valor da evapotranspiração potencial foram apresentadas pelas duas versões do método de Linacre (2,8 e 2,5 mm/dia), sendo os desvios uniformes ao longo de todo o período. Os métodos de Ivanov e Hargreaves apresentaram superestimativas médias de 1,1 e 0,9 mm/dia respectivamente. Durante o período seco, as melhores estimativas foram obtidas pelo método de Hargreaves, que foi desenvolvido para as condições do Nordeste Brasileiro. Por outro lado, o método de Ivanov mostra-se mais adequado ao período chuvoso.

A estimativa da evapotranspiração potencial pelos métodos baseados na umidade do ar são apresentados na Figura 1c.

Em média, durante o período analisado, o método de Papadakis subestimou a evapotranspiração potencial em 1,0 mm/dia, sendo que as melhores estimativas o

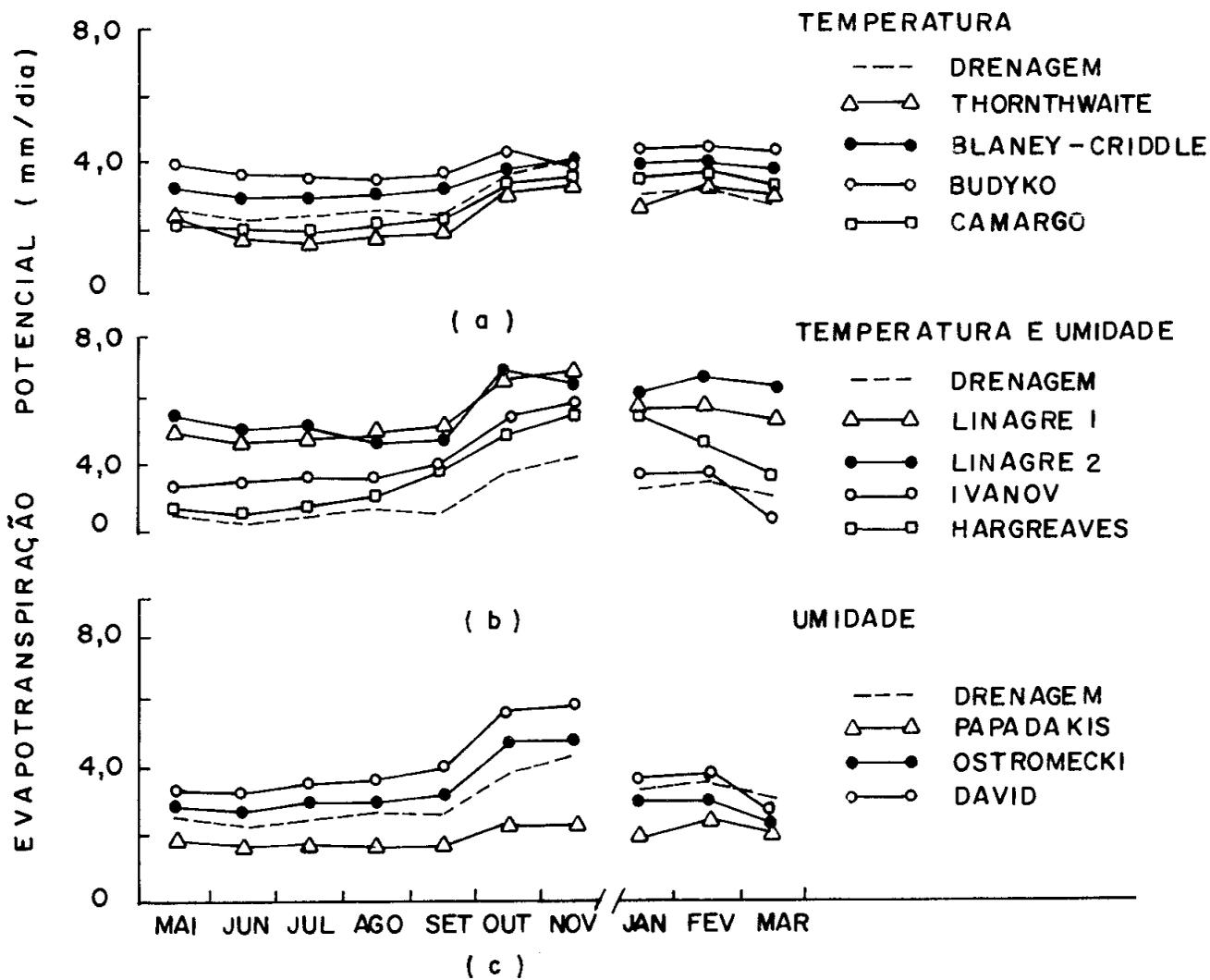


Figura 1. Comparação entre a evapotranspiração potencial medida e estimada por métodos de temperatura (a); temperatura e umidade (b); e umidade do ar (c)

correm no período seco. O método de David apresentou uma superestimativa média de 0,8 mm/dia e o método de Ostromecki de 0,2 mm/dia.

Pode-se notar ainda na Figura 1c, que os métodos de Ostromecki e de David apresentaram respostas semelhantes e acompanharam bem a variação dos valores medidos, devido ao fato de os dois métodos apresentarem a mesma origem, mudando apenas os coeficientes utilizados na equação. Isso não é válido para o método de Papadakis.

Os resultados obtidos com os métodos de radiação são apresentados na Figura 2a. Para todo o período, os desvios médios entre os valores medidos e estimados por cada um dos métodos foram: Stephens superestimou em 1,8 mm/dia; Jensen-Haise 1 superestimou em 1,8 mm/dia; Jensen-Haise 2 subestimou em 1,7 mm/dia; Turc superestimou em 0,9 mm/dia e Makkink superestimou em 0,3 mm/dia.

Em geral, estes métodos estimaram melhor a evapotranspiração potencial no período seco, sendo que o método de Makkink não apresentou desvios em quase todo o período.

Os métodos de Stephens e de Jensen-Haise 1 não diferiram entre si. Já os métodos de Jensen-Haise 1 e Jensen-Haise 2 apresentaram respostas opostas, ou seja, super e subestimaram, respectivamente, os valores medidos.

A Figura 2b mostra as estimativas dos valores de evapotranspiração potencial pelos métodos classificados como de combinação. O método de Penman apresentou o menor desvio médio dos valores medidos ao longo do ano, superestimando em 0,7 mm/dia. Verifica-se que no período seco, o método apresentou as melhores estimativas, sendo os desvios praticamente nulos nos meses de maio a agosto.

As três versões do método de McIlroy testadas apresentaram comportamento semelhante, subestimando em aproximadamente 1,0 mm/dia. Ao contrário do método de Penman, estes métodos não acompanharam bem a variação dos valores medidos.

Os resultados obtidos a partir dos métodos de Christiansen & Hargreaves com base na radiação total, de Christiansen & Hargreaves com base na evapotranspiração do tanque Classe A e do tanque Classe A encontram-se na Figura 2c.

Os três métodos superestimaram os valores da evapotranspiração potencial para todo o período experimental. Os menores desvios foram observados com a utilização da correlação múltipla com base na radiação total (0,7 mm/dia).

Os métodos da correlação com base no tanque Classe A e o método tanque Classe A, superestimaram, respectivamente, em 1,2 e 1,8 mm/dia. As piores estimativas ocorreram no período chuvoso para estes três métodos. Resultados semelhantes foram encontrados para o tanque Classe A por SEDIYAMA et alii [12] em Viçosa, Minas Gerais e por AMORIN NETO et alii [1] em Juazeiro, Bahia.

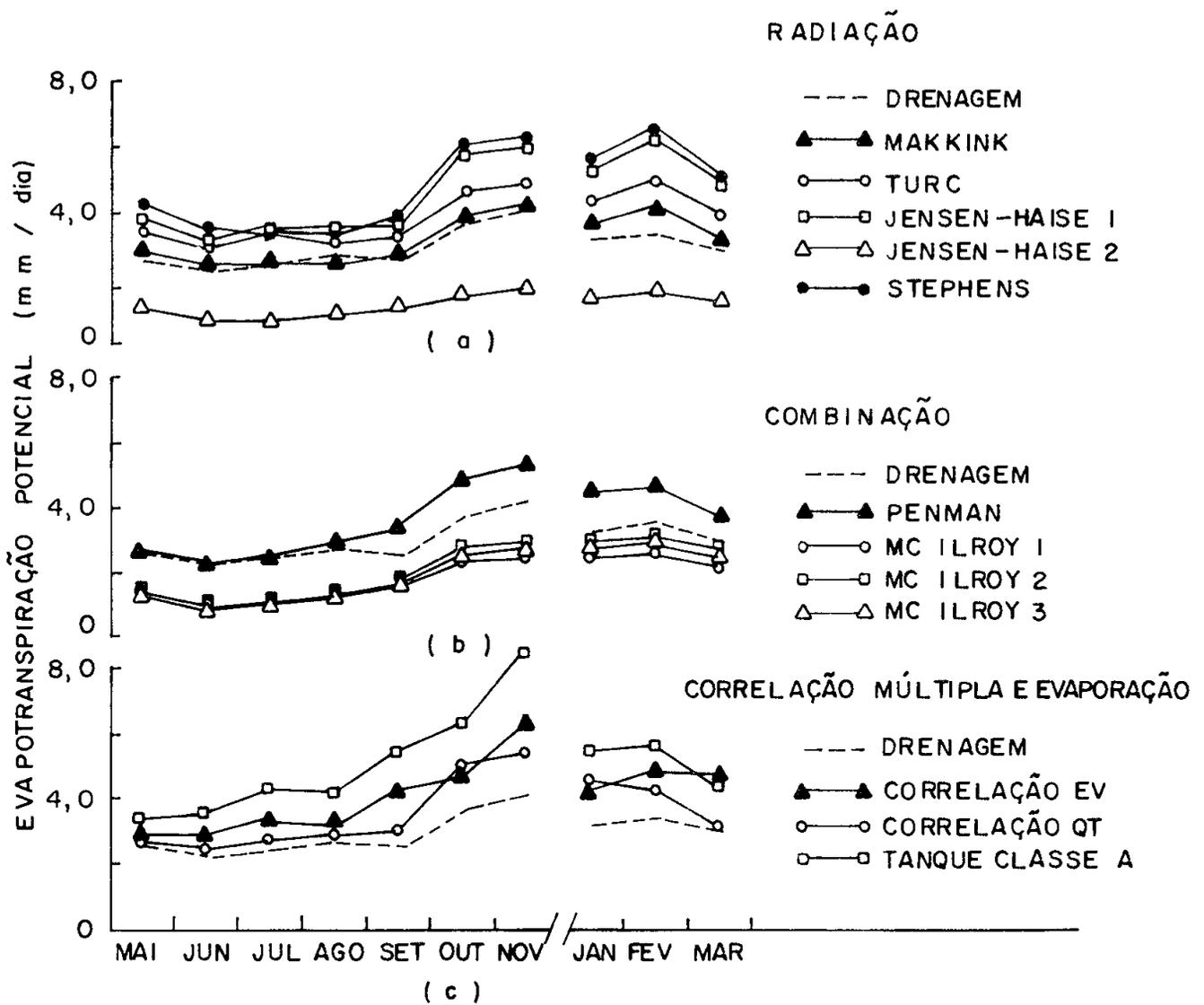


Figura 2. Comparação entre a evapotranspiração potencial medida e estimada por métodos de radiação (a); combinação (b); e correlação múltipla e evaporação (c)

No Quadro 1 os diferentes métodos estudados são classificados em função dos valores da soma dos quadrados dos desvios e do desvio médio encontrados entre a estimativa e a medida da evapotranspiração potencial. São apresentadas apenas as cinco melhores posições.

Quadro 1. Classificação dos métodos de estimativa da evapotranspiração potencial para cada um dos meses do período experimental

	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Jan	Fev	Mar
1º	P	P	P	P	C	C	M,B	T	M,C	T,D
2º	Q	M	M	M	O	O	O	O,P	T	M,Q
3º	T	H	H	Q	R	R	R	M	P,O,D	H,P
4º	H	Q,T,C	Q,C	C	E	E	Q	I	I	I
5º	M,O	O,K	O,K	H	M	M	I	E	M,Q	-

LEGENDA: P (Penman); M (Makkink); T (Thorntwaite); B (Blaney-Criddle); C (Carmargo); H (Hargreaves); O (Ostromecki); I (Ivanov); Q (Correl. Múltipla com base na radiação total); E (Correl. Múltipla com base no tanque Classe A); D (David); K (Papadakis); R (McIlroy 3).

A análise do Quadro 1 evidencia que o comportamento de um método varia ao longo do ano. Os métodos de Penman e Makkink apresentaram os menores valores para a soma dos quadrados dos desvios e os desvios médios em grande parte do período seco. O mesmo não se verifica na estação chuvosa, onde estes métodos não se apresentaram tão adequados.

Pode-se dizer que os métodos com base na temperatura apresentam um melhor comportamento no período chuvoso que no período seco, quando o déficit de saturação e o vento são fatores importantes no processo de transferência de vapor d'água para a atmosfera.

Os resultados obtidos evidenciaram que a qualidade da resposta de um método de estimativa de evapotranspiração varia ao longo do ano. Assim, torna-se necessário um estudo preliminar dos métodos disponíveis visando a recomendação de um método para uma dada região.

#### IV. CONCLUSÕES

Com base nos resultados encontrados, pode-se concluir:

- a) O comportamento dos métodos de estimativa da evapotranspiração potencial varia ao longo do ano.

- b) As melhores estimativas para o período seco foram encontradas com a utilização dos métodos de Penman e de Makkink.
- c) Para o período chuvoso, os melhores resultados foram encontrados com os métodos de Ostromecki e de Thornthwaite.
- d) As piores estimativas para todo o período foram encontradas com os métodos de Jensen-Haise e de Linacre.
- e) A utilização do tanque Classe A leva a uma superestimativa do valor da evapotranspiração potencial de, em média, 1,2 mm/dia.

## V. BIBLIOGRAFIA

1. AMORIN NETO, M. da S.; OLIVEIRA, C.A.V. & SILVA, D.D. da. Avaliação de diferentes métodos para estimativa de evapotranspiração potencial em regiões semi-áridas. In: Anais do IV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Londrina - PR, p. 211-29. Julho de 1985.
2. BRUTSAERT, W. Evaporation into the atmosphere: theory, history and applications. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland. 1984. 299p.
3. CAMARGO, A.P. de & CAMARGO, M.B.P. de. Teste de uma equação simples para estimativa da evapotranspiração potencial baseada na radiação solar extra-terrestre e na temperatura do ar. In: Anais do III Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Campinas. p. 229-34, jul./1983.
4. CASTRO NETO, P. Notas de aula prática do curso de agrometeorologia. Lavras, ESAL, 1988. 45p. (Mimeografado).
5. \_\_\_\_\_. Projeto meteorologia aplicada: agrometeorologia (METAGRO). Lavras, ESAL, 1986. 92p. (Relatório Final).
6. DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and drainage paper n. 24, FAO, Rome, 1977. 144p.
7. HATFIELD, J.L. Estimation of crop water requirements: present and future. In: "Les besoins en eau des cultures". Conference Int. Paris, 11-14 set. 1984. INRA, Paris. 1985.
8. HARGREAVES, G.H. Potencial evaporation and irrigation requirements for northeast Brazil. USAID, Utah State University, 55p. 1974.

9. JENSEN, M.E. Consumptive use of water and irrigation water requirements. Am. Soc. of Civil Engineers, New York. 1973. 215p.
10. LINACRE, E.T. A simple formula for estimating evapotranspiration rates in various climates, using temperature data alone. Agricultural Meteorology, 18:409-24. 1977.
11. PERON, A.J. & CASTRO NETO, P. Probabilidade de ocorrência de veranicos na região de Lavras, Minas Gerais. Ciência e Prática, Lavras, 4(3):46-55. Jan./jun. 1980.
12. SEDIYAMA, G.C.; BERNARDO, S.; RESENDE, M. & WOLF, D.F. Estudo de métodos para estimativa da evapotranspiração potencial em Viçosa. Experientiae. Viçosa. 16(4):61-79. 1973.
13. STEWART, J.B. A discussion of the relationship between the principal forms of the combination equation for estimating crop evaporation. Agric. Meteorol., 30:111-27. 1983.