

TESTE DE UMA EQUAÇÃO SIMPLES PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL BASEADA NA RADIAÇÃO SOLAR EXTRATERRESTRE E NA TEMPERATURA MÉDIA DO AR

ÂNGELO PAES DE CAMARGO¹ e MARCELO B. PAES DE CAMARGO²

RESUMO - Foi testada para as condições climáticas brasileiras a equação: $EP_C = Q_0 \cdot t \cdot k \cdot d$, onde EP_C é a evapotranspiração potencial no período (mm); Q_0 , a radiação solar diária acima da atmosfera (milímetro de evaporação equivalente); t , a temperatura média diária ($^{\circ}C$); k , uma constante igual a $0,01^{\circ}C^{-1}$; d , o número de dias do período. A equação proposta reproduziu bem os valores mensais de EP medidos em evapotranspirômetros gramados, em três localidades do Estado de São Paulo. Para períodos de dez dias, estimados seqüencialmente, durante três anos em Campinas (SP), houve também boa concordância entre valores de evapotranspiração potencial estimadas pela fórmula proposta e segundo THORNTHWAITTE. Estreita correlação foi também obtida entre valores mensais normais estimados pelas duas equações para diferentes localidades de zonas equatoriais, tropicais e subtropicais do Brasil.

TEST OF A SIMPLE EQUATION FOR DETERMINING POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION BASED ON EXTRATERRESTRIAL SOLAR RADIATION AND MEAN AIR TEMPERATURE

ABSTRACT - The equation $EP_C = Q_0 \cdot t \cdot k \cdot d$, where EP_C is potential evapotranspiration (mm), Q_0 , daily solar radiation expressed as equivalent evaporation (mm), t , mean daily air temperature ($^{\circ}C$), k , a constant equal to $0,01^{\circ}C^{-1} \cdot d^{-1}$ and d , number of

1. Eng^o Agr^o, Doutor em Agronomia (Agrometeorologia). Instituto Brasileiro do Café. Cx. Postal 82, CEP 13100, Campinas -SP.
2. Eng^o Agr^o, Instituto Agrônômico de Campinas, Seção de Climatologia Agrícola. Cx. Postal 28, CEP 13100, Campinas -SP. Com bolsa suplementar do CNPq.

days of the period, was tested for the Brazilian climatic conditions. The equation was able to reproduce the measured potential evapotranspiration obtained in evapotranspirometers at three different locations in the State of São Paulo, Brazil. Correlation between the tested and the THORNTHWAITE values for periods of ten days, during three years at Campinas, State of São Paulo, showed also very good association. Monthly potential evapotranspirations data for six places located in the North, Northeast and South regions of Brazil estimated by CAMARGO formula were very similar to the THORNTHWAITE ones.

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração potencial-EP (THORNTHWAITE, 1948), é um elemento meteorológico fundamental correspondente ao processo oposto da precipitação pluvial e expresso na mesma unidade: milímetros. Permite estimar as condições ou disponibilidades de água no solo por meio do balanço hídrico climático, num sistema contábil onde a precipitação pluvial representa o suprimento de água ao solo pela atmosfera e a evapotranspiração potencial, a perda teórica da umidade no processo conjunto da evaporação e transpiração vegetal. A evapotranspiração em taxa potencial significa a transferência de água para a atmosfera por unidade de tempo, que ocorre num terreno extenso inteiramente coberto por vegetação verde, baixa, uniforme e em solo sempre bem suprido de umidade.

A evapotranspiração corresponde à passagem da água do estado líquido para o gasoso num processo físico que consome energia. Como na natureza a energia disponível para evapotranspirar é apenas de origem solar, o processo depende fundamentalmente da disponibilidade diária dessa energia. Se houver deficiência de umidade no solo, a evapotranspiração será forçosamente restringida verificando-se então a chamada evapotranspiração real, inferior à potencial.

Quando ocorre a evapotranspiração real, restringida, uma maior fração da energia da radiação solar incidente será usada para aquecer o ar ambiente. Com o aumento da temperatura

crece o déficit de saturação do ar e aumenta o seu poder evaporante. Se no terreno seco houver um canteiro irrigado onde não falte umidade na zona das raízes a evapotranspiração nesse "oásis" será bem maior que a potencial, pois, além da energia solar direta, esse canteiro receberá também energia adicional, vinda por advenção com ar quente e seco da área circundante.

Essa evapotranspiração aumentada é conhecida como evapotranspiração de oásis, um elemento resultante de condição especial para cada caso e dependente de vários fatores muito variáveis como: a) dimensão da área irrigada; b) presença de faixa tampão; c) efeito de bordo; d) propriedade do ar; e) velocidade, direção e duração do vento.

A evapotranspiração de oásis não é, portanto, um elemento meteorológico conservativo como a evapotranspiração potencial e a precipitação pluvial. Não corresponderá ao elemento meteorológico oposto à precipitação pluvial, em condições de entrar no balanço hídrico climático ou para a estimativa das disponibilidades hídricas do solo.

Freqüentemente, a equação de THORNTON (1948) é criticada por dar valores subestimados da evapotranspiração potencial. As críticas em geral estão ligadas à confusão nos conceitos de evapotranspiração potencial e de oásis. Como os valores da forma potencial são normalmente bem inferiores aos de oásis, alguns autores admitem que a equação de THORNTON subestime a evapotranspiração potencial, quando comparam seus dados com os medidos em evapotranspirômetros expostos numa condição próxima da de oásis.

PRUITT (1960, 1964) considera que a equação de THORNTON subestima a EP e propõe uma correção correspondente a um fator entre 1,3 e 2,0 ou mais precisamente, 1,72. CAMARGO & PEREIRA (1981) aplicaram tal fator de correção na estimativa da evapotranspiração potencial de THORNTON para balanços hídricos climáticos de diversas localidades do Brasil e do exterior, como Campinas (SP), Santo Ângelo (RS), Indianopolis (IN), EUA. Embora essas localidades possuam climas reconhecidamente úmidos, os balanços hídricos feitos com os valores de EP corrigidos com o uso do referido fator indicaram deficiências hídri-

cas inaceitáveis, demasiado elevadas, são encontradas em condições de clima seco ou árido.

A equação de THORNTIHWAITTE foi desenvolvida para estimar a evapotranspiração em base potencial. Quando seus dados são comparados com os medidos em evapotranspirômetros, bem operados e expostos com suficiente área tampão para evitar a energia advectiva, as correlações se mostram normalmente bastante satisfatórias em diferentes condições climáticas (MATHER, 1954). Para as condições do plantio do Estado de São Paulo, CAMARGO (1962) obteve também muito boa associação entre dados de equação de THORNTIHWAITTE e medidos em evapotranspirômetros.

Embora laboriosa e complexa, a equação de THORNTIHWAITTE pode ser utilizada com relativa facilidade com o emprego de nomogramas ou tabelas especiais como as preparadas por CAMARGO (1962, 1978), nas quais o autor substituiu o Índice I por um Índice T.

Em 1971, CAMARGO propôs nova equação ainda mais simples, baseada na de THORNTIHWAITTE, a qual dispensa o uso de índices baseados na temperatura média do período vegetativo e substitui a correção, pelo comprimento do dia, pela radiação solar extraterrestre. Essa equação (CAMARGO, 1971) se baseia na energia da radiação solar incidente em superfície horizontal acima da atmosfera (Q_0) e na temperatura média do ar, do período ambos, fatores ligados à disponibilidade de energia na superfície para condicionar a evapotranspiração potencial, isto é:

$$EP_C = Q_0 \cdot t \cdot k \cdot d \quad (1)$$

onde: Q_0 é a radiação solar extraterrestre, em milímetro de evaporação equivalente; t , a temperatura média de máxima e mínima do ar, em $^{\circ}C$; k , uma constante equivalente a $0,01^{\circ}C^{-1} \cdot d^{-1}$; d , o número de dias do período.

A radiação solar extraterrestre (Q_0) é a fonte da energia usada na promoção da evapotranspiração potencial. Seus dados, mensais ou diários, para diferentes latitudes e épocas do ano, são disponíveis em tabelas especiais (CAMARGO, 1962 e 1978; SALATI *et al.*, 1967 e FRÈRE, 1972), já expressos em milímetros de evaporação equivalente por dia. Nas Tabelas 1 e 2 são apre -

TABELA 1. Radiação solar incidente em superfície horizontal acima da atmosfera (Q_0), em milímetros de evaporação equivalente, no dia 15 de cada mês, para diferentes latitudes do hemisfério sul. Dados interpolados de SHAW & AUSTIN (1936).

LATITUDE SUL-GRAUS	JAN.	FEV.	MÇO.	ABR.	MAIO	JUN.	JUL.	AG.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
0	14,5	15,0	15,2	14,7	13,9	13,4	13,5	14,2	14,9	14,9	14,6	14,3
2	14,8	15,2	15,2	14,5	13,6	13,0	13,2	14,0	14,8	15,0	14,8	14,6
4	15,0	15,3	15,1	14,3	13,3	12,7	12,8	13,7	14,7	15,1	15,0	14,9
6	15,3	15,4	15,1	14,1	13,0	12,6	12,5	13,5	14,6	15,1	15,2	15,1
8	15,6	15,6	15,0	14,0	12,7	12,0	12,2	13,2	14,5	15,2	15,4	15,4
10	15,9	15,7	15,0	13,8	12,4	11,6	11,9	13,0	14,4	15,3	15,7	15,7
12	16,1	15,8	14,9	13,5	12,0	11,2	11,5	12,7	14,2	15,3	15,8	16,0
14	16,3	15,8	14,9	13,2	11,6	10,8	11,1	12,4	14,0	15,3	15,9	16,2
16	16,5	15,9	14,8	13,0	11,3	10,4	10,8	12,1	13,8	15,3	16,1	16,4
18	16,7	15,9	14,7	12,7	10,9	10,0	10,4	11,8	13,7	15,3	16,2	16,6
20	16,7	16,0	14,5	12,4	10,6	9,6	10,0	11,5	13,5	15,3	16,4	16,8
22	16,9	16,0	14,3	12,0	10,2	9,1	9,6	11,1	13,1	15,2	16,5	17,0
24	16,9	15,9	14,1	11,7	9,8	8,6	9,1	10,7	13,1	15,1	16,5	17,1
26	17,0	15,9	13,9	11,4	9,4	8,1	8,7	10,4	12,8	15,0	16,6	17,3
28	17,1	15,8	13,7	11,1	9,0	7,8	8,3	10,0	12,6	14,9	16,6	17,5
30	17,2	15,7	13,5	10,8	8,5	7,4	7,8	9,6	12,2	14,7	16,7	17,6
32	17,2	15,6	13,3	10,5	8,1	7,0	7,4	9,2	11,9	14,6	16,7	17,6
34	17,2	15,5	13,0	10,1	7,6	6,6	7,0	8,8	11,6	14,4	16,7	17,6
36	17,3	15,4	12,7	9,7	7,2	6,1	6,5	8,3	11,3	14,3	16,6	17,7
38	17,3	15,2	12,4	9,3	6,7	5,6	6,0	7,9	11,0	14,1	16,6	17,7
40	17,3	15,1	12,1	8,9	6,3	5,1	5,5	7,5	10,6	13,9	16,5	17,8
42	17,2	14,9	11,7	8,4	5,9	4,6	5,1	7,1	10,2	13,7	16,4	17,8
44	17,2	14,7	11,4	8,0	5,5	4,2	4,7	6,7	9,8	13,4	16,3	17,8
46	17,1	14,5	11,0	7,5	5,0	3,8	4,2	6,2	9,4	13,1	16,2	17,8
48	17,0	14,3	10,6	7,0	4,5	3,3	3,7	5,7	9,0	12,8	16,1	17,8
50	16,9	14,1	10,3	6,6	4,0	2,8	3,2	5,3	8,7	12,5	15,9	17,8
52	16,8	13,8	9,9	6,1	3,5	2,4	2,8	4,9	8,2	12,2	15,7	17,7
54	16,7	13,5	9,5	5,7	3,0	2,0	2,4	4,5	7,8	11,8	15,5	17,7
56	16,6	13,2	9,0	5,2	2,5	1,6	2,0	4,0	7,3	11,4	15,4	17,6
58	16,5	12,9	8,6	4,7	2,1	1,2	1,6	3,5	6,9	11,1	15,2	17,6
60	16,4	12,7	8,2	4,2	1,7	0,8	1,1	3,0	6,4	10,8	15,1	17,5
62	16,4	12,4	7,7	3,7	1,4	0,6	0,9	2,5	5,9	10,4	15,0	17,6
64	16,4	12,1	7,2	3,2	1,0	0,4	0,7	2,1	5,4	10,0	14,9	17,7
66	16,4	11,8	6,7	2,8	0,6	0,3	0,5	1,6	4,9	9,8	14,8	17,8
68	16,4	11,5	6,2	2,4	0,3	0,1	0,3	1,2	4,4	9,4	14,6	17,9
70	16,4	11,2	5,9	2,0	0,1	0,0	0,0	0,8	4,0	9,0	14,5	18,1

TABELA 2. Radiação solar incidente em superfície horizontal acima da atmosfera (Q_0), em milímetros de evaporação equivalente, no dia 15 de cada mês, para diferentes latitudes do hemisfério norte. Dados interpolados de SHAW & AUSTIN (1936).

LATITUDE NORTE-GRAUS	JAN.	FEV.	MÇO.	ABR.	MAIO	JUN.	JUL.	AG.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
0	14,4	15,0	15,2	14,7	13,9	13,4	13,5	14,2	14,9	14,9	14,6	14,3
2	14,1	14,8	15,1	14,8	14,1	13,7	13,8	14,4	14,9	14,8	14,3	13,9
4	13,8	14,5	15,0	14,9	14,4	13,9	14,0	14,6	14,9	14,6	13,9	13,5
6	13,4	14,3	14,9	15,0	14,6	14,2	14,3	14,7	14,9	14,4	13,6	13,1
8	13,1	14,1	14,8	15,1	14,8	14,5	14,6	14,8	14,9	14,3	13,3	12,8
10	12,8	13,8	14,7	15,2	15,0	14,8	14,8	14,9	14,8	14,1	13,0	12,4
12	12,4	13,5	14,6	15,2	15,1	15,0	15,0	15,0	14,7	13,8	12,7	11,9
14	12,0	13,2	14,5	15,2	15,2	15,1	15,2	15,1	14,6	13,6	12,3	11,5
16	11,5	12,9	14,3	15,2	15,3	15,2	15,4	15,1	14,5	13,3	11,9	11,1
18	11,2	12,6	14,1	15,2	15,4	15,4	15,6	15,2	14,4	13,1	11,5	10,6
20	10,8	12,3	13,9	15,1	15,5	15,6	15,7	15,3	14,3	12,8	11,2	10,2
22	10,3	11,9	13,7	15,1	15,6	15,8	15,8	15,3	14,2	12,5	10,8	9,8
24	9,8	11,5	13,5	15,0	15,7	16,0	15,9	15,2	14,1	12,2	10,3	9,3
26	9,3	11,2	13,2	14,9	15,8	16,2	16,0	15,2	13,9	11,9	9,9	8,9
28	8,9	10,8	13,0	14,8	15,9	16,1	15,2	13,7	11,5	9,5	9,5	8,4
30	8,4	10,4	12,7	14,7	16,0	16,4	16,2	15,2	13,5	11,2	9,0	8,0
32	8,0	9,9	12,4	14,6	16,0	16,5	16,2	15,1	13,2	10,8	8,6	7,5
34	7,5	9,5	12,1	14,4	16,0	16,6	16,2	15,0	12,9	10,4	8,1	7,0
36	7,0	9,1	11,8	14,3	15,9	16,6	16,3	14,9	12,7	10,0	7,6	6,5
38	6,6	8,6	11,5	14,1	15,9	16,7	16,3	14,9	12,4	9,6	7,1	6,0
40	6,1	8,2	11,1	13,9	15,8	16,7	16,3	14,7	12,2	9,2	6,7	5,5
42	5,5	7,7	10,7	13,6	15,7	16,7	16,3	14,5	11,9	8,8	6,2	4,9
44	5,0	7,2	10,3	13,4	15,6	16,7	16,2	14,3	11,5	8,4	5,7	4,4
46	4,5	6,7	10,0	13,1	15,5	16,7	16,1	14,1	11,2	7,9	5,2	3,9
48	4,0	6,3	9,6	12,9	15,4	16,6	16,1	13,9	10,8	7,5	4,7	3,5
50	3,5	5,8	9,2	12,6	15,3	16,6	16,0	13,7	10,5	7,0	4,2	3,0
52	3,0	5,3	8,7	12,3	15,2	16,6	15,9	13,5	10,1	6,6	3,8	2,5
54	2,6	4,8	8,3	12,0	15,1	16,6	15,9	13,3	9,7	6,1	3,3	2,1
56	2,2	4,3	7,8	11,7	15,0	16,6	15,8	13,0	9,3	5,6	2,9	1,7
58	1,7	3,8	7,3	11,4	14,9	16,5	15,7	12,8	8,9	5,1	2,4	1,3
60	1,3	3,3	6,9	11,1	14,7	16,5	15,6	12,5	8,5	4,6	2,0	0,9
62	1,0	2,9	6,4	10,7	14,6	16,5	15,6	12,2	8,1	4,1	1,6	0,6
64	0,7	2,4	5,9	10,3	14,4	16,5	15,6	12,0	7,6	3,6	1,2	0,3
66	0,4	2,0	5,4	10,0	14,3	16,6	15,6	11,7	7,2	3,2	0,3	0,0
68	0,1	1,5	4,9	9,7	14,2	16,7	15,6	11,4	6,7	2,7	0,4	0,0
70	0,0	1,0	4,5	9,3	14,1	17,0	15,6	11,0	6,3	2,2	0,1	0,0

sentados os dados diários de Q_0 , para latitudes até 70 graus em ambos os hemisférios, interpolados de SHAW & AUSTIN (1936) e convertidos para milímetros por dia.

A temperatura média (t) na equação representa a disponibilidade de energia na superfície para promover e condicionar a evapotranspiração potencial. São vários fatores que influenciam a temperatura média do ar, quais sejam:

a) Radiação líquida disponível na superfície para aquecer (energia térmica) e promover a evapotranspiração (energia latente). Depende da transmissibilidade atmosférica (nebulosidade), massa atmosférica (obliquidade), do albedo da superfície, da radiação terrestre, etc.;

b) Características das massas de ar que invadem a área, quentes ou frias, afetando a disponibilidade de energia disponível e a evapotranspiração;

c) Altitude da região, que afeta a temperatura e a disponibilidade de energia;

d) Correntes marítimas. A temperatura da água afeta a temperatura do ar nas faixas litorâneas, interferindo na disponibilidade de energia e na evapotranspiração.

Esse trabalho visa testar o emprego dessa equação para as condições climáticas de diferentes regiões do território brasileiro, por meio de comparações com estimativas da equação de THORNTHWAITTE, bem como, com dados medidos em evapotranspirômetros.

MATERIAL E MÉTODO

Para a avaliação da equação de CAMARGO (EP_C) na estimativa de evapotranspiração potencial, foram efetuadas as seguintes comparações:

a) Entre os valores mensais estimados pela equação e medidos em evapotranspirômetros durante os anos de 1955 a 1959 nas localidades de Campinas, Pindamonhangaba e Ribeirão Preto, no planalto paulista, com cerca de 600 m de altitude (CAMARGO, 1962);

b) Entre valores de evapotranspiração potencial decen-

diais (dez dias) obtidos sequencialmente pelas equações de THORNTHWAITTE (EP_T) e EP_C nos anos de 1978, 1979 e 1980, em Campinas (SP);

c) Entre valores mensais normais obtidos pelas equações EP_T e EP_C para dezesseis localidades do Estado de São Paulo em áreas serranas até 1600 m, no planalto, entre 450 e 600 m, e no litoral;

d) Entre valores mensais normais pelas equações EP_T e EP_C para seis localidades de diferentes Estados das grandes regiões: Norte, Nordeste e Sul do Brasil.

Os dados de evapotranspiração foram obtidos por CAMARGO (1962) em baterias de três evapotranspirômetros. Essas baterias com tanques no centro de uma área gramada de cerca de 50 m de lado, sendo operados durante quatro ou cinco anos nas estações experimentais do Instituto Agrônomo, em Pindamonhangaba, Campinas e Ribeirão Preto, no planalto paulista.

Os tanques dos evapotranspirômetros foram do tipo percolação simplificado em Ibadan - Nigéria (MATHER, 1951), vegetados com grama mantida com a exposição mais semelhante possível à da área circundante, por meio de podas e regas, para permitir a obtenção da evapotranspiração em taxa potencial.

A evapotranspiração potencial segundo THORNTHWAITTE (EP_T) foi estimada pelo método simplificado por CAMARGO (1962), no qual o índice I foi substituído por um índice T, correspondente à temperatura média normal anual excluindo-se, no caso de climas frios ou temperados, os meses com médias inferiores a 2°C.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 1 mostra as comparações entre valores mensais medidos (EP) e estimados pela fórmula de CAMARGO para as localidades de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba, no planalto paulista. Em Campinas a equação proposta superestimou EP, particularmente nos meses de valores mais baixos, do inverno. Em Ribeirão Preto e Pindamonhangaba, ao contrário, a equação de CAMARGO subestimou levemente os valores de EP. A análise conjun

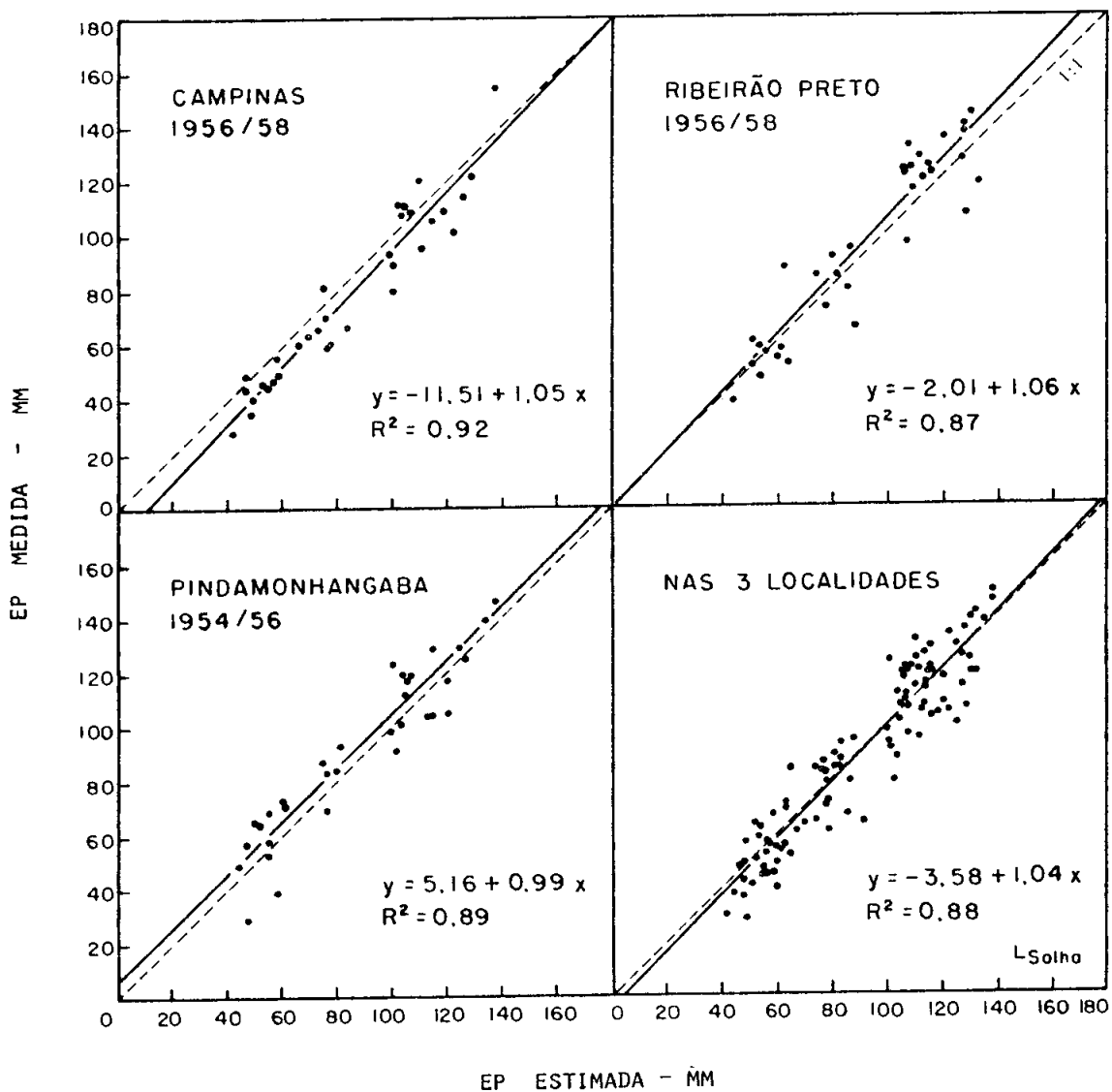


FIGURA 1. Correlação entre os valores mensais de evapotranspiração potencial - EP, estimados segundo a equação de Camargo e medidos em evapotranspirômetros. Dados obtidos em três localidades do Estado de São Paulo, durante três anos.

ta dos dados das três localidades revela uma discreta aspersão de pontos ao redor da linha de valores iguais (1:1). Obteve-se a equação de regressão:

$$EP = -3,58 + 1,04 EP_C \quad (R^2 = 0,88) \quad (2)$$

Nota-se, pela Fig. 1, que a correção (-3,58mm) da equação (2) é desprezível em relação à magnitude dos valores envolvidos.

Pequenas diferenças de comportamento nas três localidades com relação as regressões podem ser atribuídas (CAMARGO, 1962) a variações na exposição da vegetação dos tanques nos evapotranspirômetros. Quando ela se encontra mais alta, superexposta em relação à vegetação circundante, necessitando de poda, a evapotranspiração medida se eleva e torna-se normalmente superior à calculada. Ao contrário, se a grama do tanque se achar mais baixa, subexposta, por uma razão qualquer como deficiência de nutrientes, a evapotranspiração medida se reduz, resultando aparente superestimativa dos valores da equação sobre os medidos.

A Fig. 2 traz a regressão para períodos seqüenciais de dez dias, obtidos pelas equações de CAMARGO (EP_C) e de THORNTHWAITE (EP_T), durante um período de três anos (1978/80) em Campinas (SP). Nota-se claramente, pela regressão obtida, que EP_C pode substituir EP_T . Novamente, a correção obtida (0,02mm) é desprezível, e o coeficiente angular da regressão é praticamente unitário.

Os valores normais mensais estimados para diversas localidades do Estado de São Paulo mostram também boa concordância entre EP_T e EP_C (Fig. 3). A linha de regressão obtida praticamente não diferiu da linha de valores iguais (1:1).

Os climogramas apresentados na Fig. 4 permitem comparar os valores de EP_T e EP_C em diferentes condições climáticas do território brasileiro. Em Belém (PA), Manaus (AM) e Teresina (PI), em clima equatorial quente, a equação de CAMARGO mostrou valores de EP subestimados em relação aos de THORNTHWAITE, particularmente nos meses relativamente secos do segundo

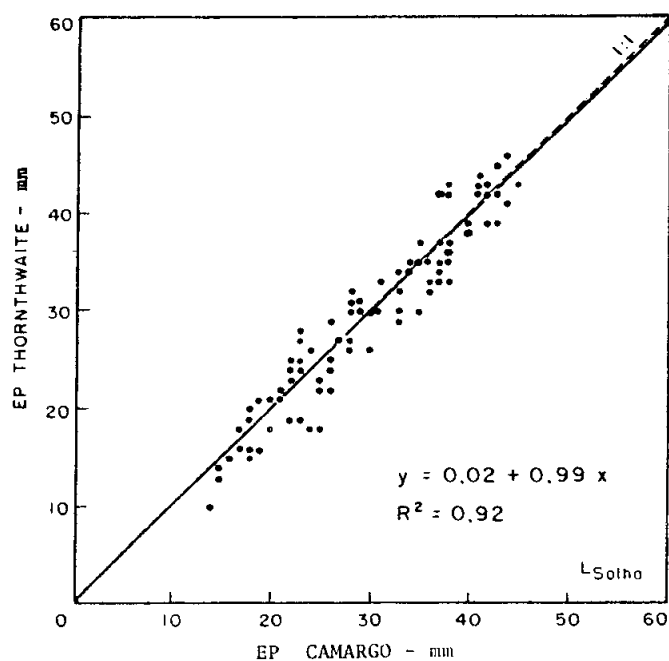


FIGURA 2. Correlação de valores decenais de evapotranspiração potencial - EP, estimados segundo as equações de Thornthwaite e de Camargo, para Campinas-SP, nos anos de 1978, 1979 e 1980, seqüencialmente.

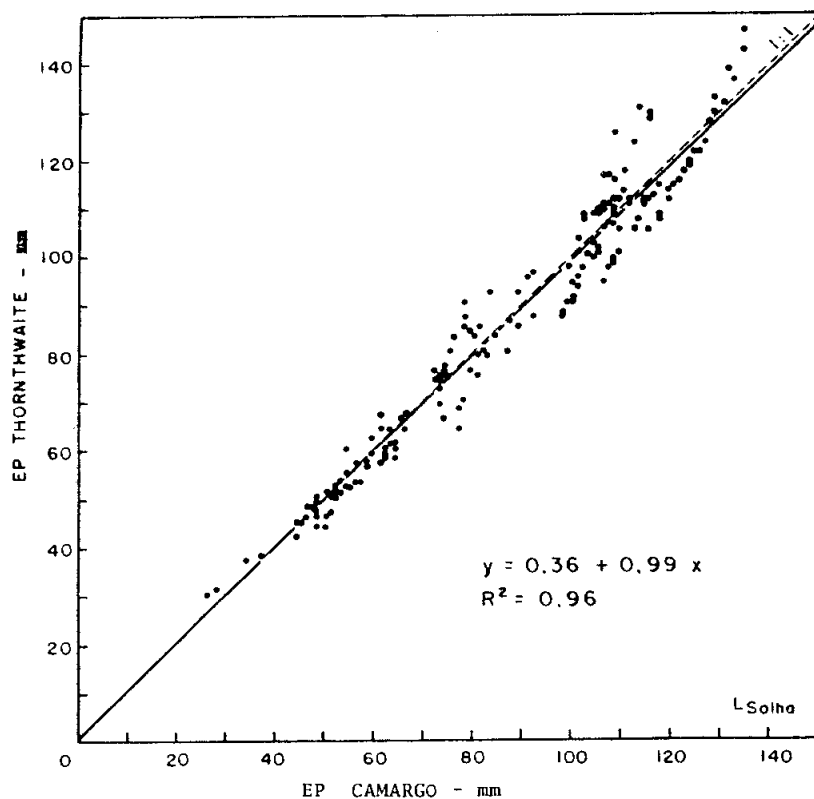


FIGURA 3. Correlação de valores mensais, normais, de evapotranspiração potencial - EP, estimados pelas equações de Thornthwaite e de Camargo, para dezesseis localidades distribuídas pelo território do Estado de São Paulo.

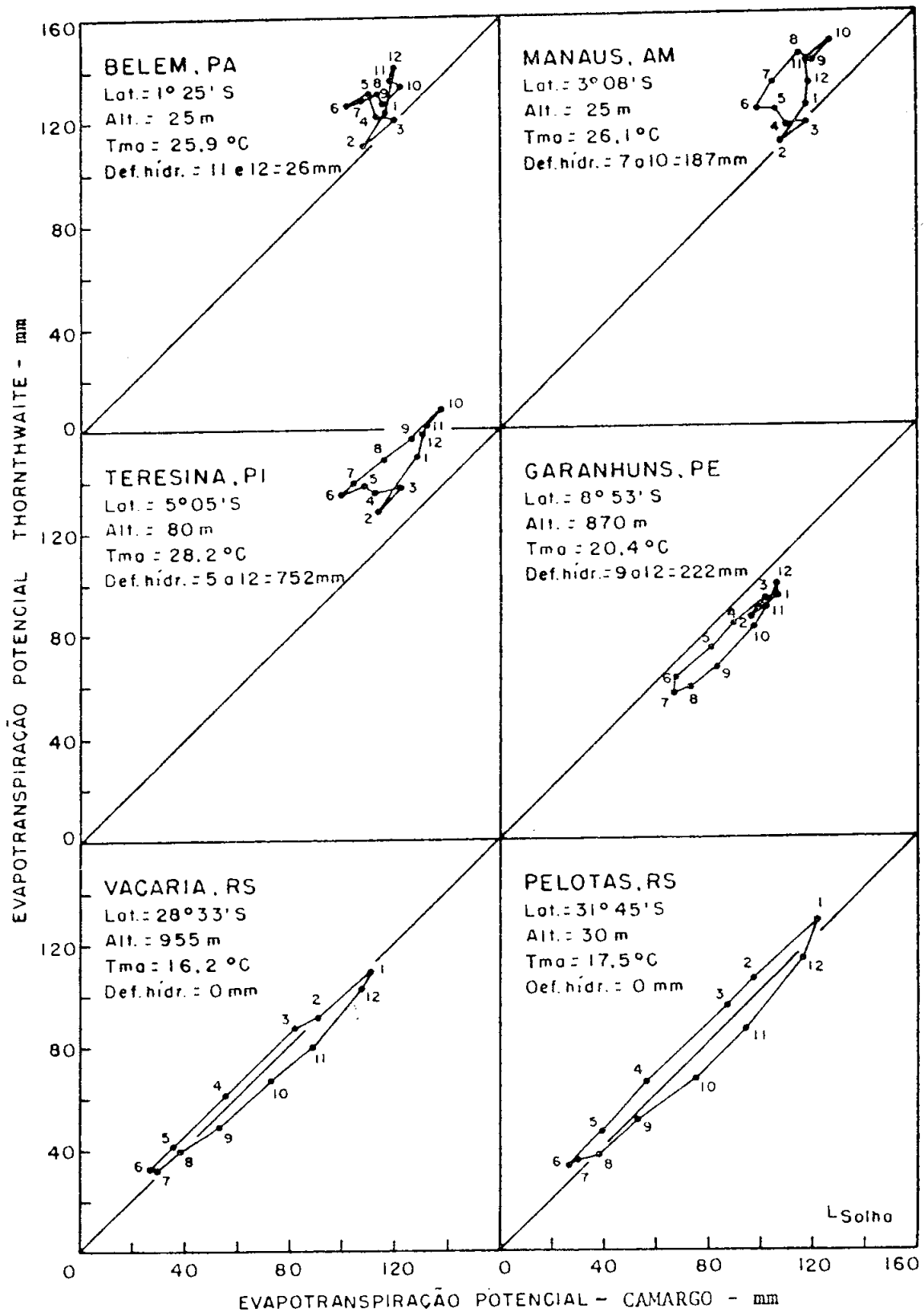


FIGURA 4. Climogramas de valores mensais, normais, da evapotranspiração potencial estimados pelas equações de Thornthwaite e de Camargo para localidades situadas nas regiões: Norte, Nordeste e Sul, do Brasil.

semestre. No primeiro semestre, normalmente muito chuvoso e úmido, os valores de EP das duas equações foram mais próximos. Esse comportamento permite admitir que a equação de CAMARGO mostrou-se menos influenciada pela energia advectiva, podendo resultar dados representativos da evapotranspiração em taxa potencial.

Em Garanhuns (PE), numa situação serrana de clima ameno, com cerca de 900 m de altitude e 10° S de latitude, o comportamento das duas equações foi um pouco diferente. Em todos os meses a equação de CAMARGO superestimou levemente a EP, particularmente no segundo semestre, em relação à de THORNTIWAITE.

Nas duas localidades de clima subtropical do Rio Grande do Sul, Vacaria e Pelotas, observaram-se resultados semelhantes aos de Garanhuns, com muito boa associação entre valores de EP obtidos pelas duas equações. No segundo semestre, a equação de CAMARGO superestimou os valores de EP, enquanto no primeiro a equação de THORNTIWAITE resultou em valores levemente superiores. Esse comportamento parece estar ligado à condição de semestres de aquecimento e resfriamento, no curso do ano. Nos meses do segundo semestre, quando as temperaturas estão em ascensão, maior fração da radiação solar é absorvida pelo solo frio, sobrando menos energia para aquecer a atmosfera.

Fatores geográficos, como a altitude e a continentalidade, pouco influenciaram o comportamento das duas equações com respeito às estimativas mensais de EP. Na região Sul, os resultados de Vacaria, a quase 1000 m de altitude em clima continental, e os de Pelotas, ao nível do mar, em clima praticamente oceânico, foram muito semelhantes nas duas equações. Na região Norte, em Belém (PA), num clima oceânico, o comportamento do climograma foi semelhante ao de Manaus (AM) e Teresina (PI), ambas situadas em condições tipicamente continentais.

CONCLUSÕES

A análise dos resultados permite as conclusões seguintes:

1 - a equação testada mostrou-se bastante satisfatória para es-

timativa da evapotranspiração potencial (EP), apresentando resultados muito próximos dos medidos em evapotranspirômetros nas condições do planalto paulista;

- 2 - em bases decendiais, as estimativas de EP seqüencialmente pela equação de CAMARGO foram praticamente equivalentes às do método de THORNTHWAITE nas condições de clima úmido do planalto paulista;
- 3 - para valores mensais normais, as equações de CAMARGO e de THORNTHWAITE apresentaram resultados praticamente idênticos para as condições climáticas de todo o Estado de São Paulo;
- 4 - para condições equatoriais de baixa altitude, das regiões Norte e Nordeste do Brasil, a equação de CAMARGO apresentou nos meses mais quentes da estação seca valores de EP mensais levemente subestimados em comparação aos do método de THORNTHWAITE. Nos meses úmidos, os valores de EP das duas equações foram bastante próximos;
- 5 - nas condições de clima de planalto equatorial, como de Garanhuns (PE), a equação de CAMARGO superestimou os valores de EP, especialmente nos meses do segundo semestre, quando as temperaturas estão em ascensão;
- 6 - no Sul do País, em condições de clima subtropical, a equação de CAMARGO apresentou resultados comparáveis aos da de THORNTHWAITE, embora com pequena superestimativa nos meses do segundo semestre e pequena subestimativa nos do primeiro.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dr. Antônio Roberto Pereira, pelas críticas e sugestões na redação do trabalho e à Profa. Lígia Abramides Testa, pela revisão do vernáculo.

REFERÊNCIAS

- CAMARGO, A. Paes de. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. 3.ed. Campinas, Instituto Agrônômico, 1971. 24p. (Boletim 116)
- CAMARGO, A. Paes de. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. 4.ed. Campinas, Instituto Agrônômico, 1978. 28p.
- CAMARGO, A. Paes de. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. Bragantia. 21:163-213, 1962.
- CAMARGO, A. Paes de & PEREIRA, A.R. A evapotranspiração potencial segundo Thornthwaite. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2., Pelotas (RS), 1981. Anais: resumos ampliados. Pelotas, p.110-118. 1981.
- FRÈRE, Michel. A method for the practical application of the Penman formula for the estimation of potential evapotranspiration and evaporation from a free water surface. Roma, FAO, 1972. 21p.
- MATHER, J.R. Design and evaluation of a modified evapotranspirometer. Micrometeorology of the surface layer of the atmosphere. New Jersey, The Johns Hopkins University, Laboratory of Climatology, 1951. p.11-15. (Interim report nº 15).
- MATHER, J.R. Summary and conclusions. In: MATHER, J.R. The measurement of potential evapotranspiration. Seabrook, N.J. The Johns Hopkins University, Laboratory of Climatology, 1954. p.210-217. (Publications in Climatology, v. VII, n.1)
- PRUITT, W.O. Cyclic relation between evapotranspiration and radiation. Transactions of the ASAE, 7:271-275, 280, 1964.
- PRUITT, W.O. Relation of consumptive use of water to climate. Transactions of the ASAE, 3:9-13,17, 1960.
- SALATI, E.; CERVELLINI, A.; VILLA NOVA, N.A.; OMETTO, J.C.; SANTOS, J.M. & GODOY, C.R.M. Estimativa da radiação solar que atinge uma área horizontal unitária, admitindo-se a ausência da atmosfera. Rio de Janeiro, Serviço de Meteorologia, 1967. 63fl. (Boletim técnico 76).
- SHAW, Sir NAPIER & AUSTIN, C. Comparative meteorology. 2.ed. Cambridge, University Press, 1936. 476p. (Manual of Meteorology)

rology, V. II).

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. Geog. R., 38:55-94, 1948.