

Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 83-87, 1997.

Recebido para publicação em 07/11/96. Aprovado em 13/01/97.

ISSN 0104-1347

O PARÂMETRO DE PRIESTLEY-TAYLOR PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA ESCALA MENSAL¹

THE PRIESTLEY - TAYLOR PARAMETER FOR ESTIMATING REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION ON A MONTHLY SCALE

Antonio Roberto Pereira², Nilson Augusto Villa Nova² e Paulo Cesar Sentelhas³

RESUMO

O parâmetro α de Priestley-Taylor foi determinado, na escala mensal, para ajustar a evapotranspiração potencial medida com evapotranspirômetros de drenagem cultivados com grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge), em três localidades do Estado de São Paulo (Campinas, Pindamonhangaba e Ribeirão Preto). O saldo de radiação mensal (R_n) foi estimado por relações empíricas a partir da razão de insolação. A densidade de fluxo de calor sensível no solo foi desprezada em função da escala de tempo adotada. Como critério de controle de qualidade dos dados, eliminou-se da análise aqueles que caíram fora do intervalo $0,50 \leq ET_m/R_n \leq 0,90$, onde ET_m é o valor medido da evapotranspiração. Foram encontrados os seguintes resultados para α (média e desvio padrão): i) Campinas: $0,99 \pm 0,17$; ii) Ribeirão Preto: $1,07 \pm 0,12$; e, iii) Pindamonhangaba: $1,17 \pm 0,11$, que estão abaixo do valor original ($\alpha = 1,26$) proposto por Priestley-Taylor para condições de evapotranspiração potencial. Incluindo-se os períodos com $ET_m/R_n > 0,90$ na análise os valores sobem para 1,23 em Ribeirão Preto, 1,29 em Pindamonhangaba, permanecendo praticamente inalterado em Campinas. Separando-se o ano em duas épocas distintas, sendo uma seca (Abril a Setembro: Outono - Inverno, O-I) e outra chuvosa (Outubro a Março: Primavera - Verão, P-V), os resultados obtidos foram os se-

¹ Trabalho parcialmente financiado pelo CNPq através de bolsa de pesquisa.

² Prof. Associado, Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ/USP, Piracicaba - SP, CEP 13418-900 arpereir@pintado.ciagri.usp.br

³ Prof. Assistente, Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ/USP, Piracicaba - SP, CEP 13418-900

guintes: i) Campinas: $0,91 \pm 0,17$ no O-I e $1,02 \pm 0,11$ na P-V; ii) Ribeirão Preto: $1,07 \pm 0,16$ no O-I e $1,15 \pm 0,10$ na P-V; iii) Pindamonhangaba: $1,19 \pm 0,11$ no O-I e $1,17 \pm 0,12$ na P-V.

Palavras-chave: evapotranspiração potencial, saldo de radiação, balanço hídrico.

SUMMARY

The Priestley-Taylor parameter α was determined, on a monthly scale, to fit the potential evapotranspiration measured with drainage evapotranspirometers grown with short grass (*Paspalum notatum*, Flugge) at three places of the State of São Paulo, Brazil, namely Campinas ($21^{\circ}54'S$, $47^{\circ}05'W$, 668m), Pindamonhangaba ($22^{\circ}55'S$, $47^{\circ}27'W$, 560m), and Ribeirão Preto ($21^{\circ}48'S$, $47^{\circ}48'W$, 621m). Monthly net radiation (R_n) was estimated by the empirical relationships being the sunshine ratio the independent variable. Due to the time scale used, soil heat flux was taken as negligible ($G = 0$). As a criterion for the quality control of the data, were eliminated those falling outside the interval $0,50 \leq ET_m/R_n \leq 0,90$, where ET_m is the measured grass evapotranspiration. The following results were found for α (mean and standard deviation): i) Campinas: 0.99 ± 0.17 ; ii) Ribeirão Preto: 1.07 ± 0.12 ; and, iii) Pindamonhangaba: 1.17 ± 0.11 , which are smaller than the original value ($\alpha = 1.26$) given by Priestley-Taylor for conditions of potential evapotranspiration. If periods with $ET_m/R_n > 0.90$ are included in the analysis, then the mean values increase to 1.23 for Ribeirão Preto, 1.29 for Pindamonhangaba, but remaining practically without change for Campinas. Splitting the year into two distinct seasons, being one dry (April to September; Autumn - Winter) and the other rainy (October to March; Spring - Summer), the following results were obtained: i) Campinas: 0.91 ± 0.17 for A-W and 1.02 ± 0.11 for S-S; ii) Ribeirão Preto: 1.07 ± 0.16 for A-W and 1.15 ± 0.10 for S-S; iii) Pindamonhangaba: 1.19 ± 0.11 for A-W and 1.17 ± 0.12 for S-S.

Key words: potential evapotranspiration, net radiation, water balance.

INTRODUÇÃO

O modelo de Priestley - Taylor de estimativa da evapotranspiração potencial (ou de referência) é uma simplificação da equação de Penman onde se retêm apenas o termo radiativo (diabático) corrigido por um coeficiente de ajuste (α). Tal coeficiente ficou universalmente conhecido como parâmetro de

Priestley - Taylor. Para condições potenciais de evapotranspiração, isto é, com pelo menos 20 mm de chuva nos três dias anteriores, PRIESTLEY & TAYLOR (1972) encontraram $\alpha = 1,26$ como valor mais provável na escala diária de aplicação do modelo. Inúmeros trabalhos subsequentes comprovaram essa tendência (DAVIS & ALLEN, 1973; JURY & TANNER, 1975; KANEMASU et al., 1976; STEWART & ROUSE, 1976 e 1977; BRUIN & KEIJMAN, 1979; PEREIRA & VILLA NOVA, 1992).

Na escala horária, resultados experimentais indicam que α varia continuamente tanto em condições de solo saturado como de deficiência hídrica (PRIESTLEY & TAYLOR, 1972; BRUIN & KEIJMAN, 1979; TSANN-WANG, 1979; BAILEY & DAVIS, 1981; CHOUDHURY & IDSO, 1985; VISWANADHAM et al., 1991; PEREIRA & VILLA NOVA, 1992). Tanto na escala horária como na base diária, PEREIRA & VILLA NOVA (1992) mostraram que α apresenta tendência positiva de seguir linearmente a variação do fluxo de calor sensível atmosférico.

Na escala sazonal, resultados de BRUIN & KEIJMAN (1979) mostram que, mesmo para um lago, α variou entre 1,20 durante o verão, e 1,50 no período de inverno. Para uma cultura de alfafa, CUNHA & BERGAMASCHI (1994) encontraram $\alpha = 1,40 \pm 0,06$ na escala mensal. Esses parecem ser os poucos relatos na literatura a respeito da variação de α na escala climatológica. O objetivo deste trabalho foi determinar o parâmetro de Priestley - Taylor para estimar a evapotranspiração potencial (ou de referência) na escala mensal, nas condições climáticas do Estado de São Paulo.

MATERIAL E MÉTODOS

Matematicamente, o modelo de Priestley - Taylor é representado pela equação:

$$ET = \alpha W (R_n - G)/\lambda, \quad (1)$$

em que ET é a taxa de evapotranspiração ($\text{kg.m}^{-2}.\text{d}^{-1} = \text{mm.d}^{-1}$); R_n é o saldo de radiação da superfície evaporante ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$); G é a densidade de fluxo de calor sensível no solo ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$); λ é o calor latente de evaporação ($2,45 \text{ MJ.kg}^{-1}$); e $W = s / (s + \gamma)$ é um fator de ponderação sendo γ a constante psicrométrica ($66 \text{ Pa.}^\circ\text{C}^{-1}$), e s a tangente à curva da pressão de saturação de vapor d'água em função da temperatura do ar ($\text{Pa.}^\circ\text{C}^{-1}$). Fazendo-se $\alpha = 1$ a equação (1) estima a evapotranspiração de equilíbrio definida por SLATYER & McILROY (1961).

O fator de ponderação W é uma função da temperatura do ar e pode ser razoavelmente estimado pelas equações propostas por WILSON & ROUSE (1972) e VISWANADHAM et al.(1991), isto é,

$$W = 0,48 + 0,01 T, \quad (2)$$

$$16,1^{\circ}\text{C} \leq T \leq 32^{\circ}\text{C}$$

$$W = 0,407 + 0,0145 T \quad (3)$$

$$0^{\circ}\text{C} \leq T \leq 16^{\circ}\text{C}$$

tendo sido utilizada a temperatura média do período na sua determinação. O saldo médio de radiação do período foi estimado a partir das relações empíricas estabelecidas por OMETTO (1981) para as condições climáticas do Planalto paulista, tendo a razão de insolação como variável independente. No caso de estimativas do balanço de energia para períodos longos (1 dia ou mais), sob o argumento que o fluxo de calor para o solo durante o dia é compensado pelo fluxo na direção oposta durante a noite, admite-se que a densidade de fluxo de calor sensível no solo (G) seja desprezível. Em geral, essa aproximação tem produzido bons resultados, tendo sido aqui adotada. Portanto, a evapotranspiração de equilíbrio (ETe) foi estimada pela equação (1) tomando-se $\alpha = 1$ e $G = 0$.

Para a determinação dos valores de α foram utilizados os dados de evapotranspiração potencial coletados por CAMARGO (1962), em três localidades do Estado de São Paulo: Campinas (21°54'S, 47°05'W, 668 m), Ribeirão Preto (21°48'S, 47°48'W, 621 m) e Pindamonhangaba (22°55'S, 47°27'S, 560 m), em estações experimentais do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Em cada local foi utilizado um conjunto de três evapotranspirômetros de drenagem, com cerca de 0,54 m² de área exposta, cultivados com grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge), mantendo-se uma área tampão de 10 m, no mínimo, em cada lado, com umidade no solo suficiente para obtenção da taxa potencial de evapotranspiração. A grama batatais foi escolhida por se tratar de uma cultura perene, rasteira, que cobre totalmente o solo, sendo o mesmo padrão utilizado nos postos agrometeorológicos, e utilizada na definição de evapotranspiração potencial (THORNTHWAITE, 1948; PENMAN, 1956; DOORENBOS & PRUITT, 1977). A altura da grama foi mantida em 10 cm, aproximadamente, por meio de cortes.

Em cada evapotranspirômetro, a água utilizada pela grama foi calculada como resíduo da equação de conservação de massa num volume de controle, ou seja,

$$ET = I + P - D + \Delta A, \quad (4)$$

em que I é a água irrigada; P a chuva; D a água drenada; e ΔA a variação da água armazenada no evapotranspirômetro. O termo ΔA foi minimizado com irrigações em dias alternados durante períodos de estiagem, mantendo-se o solo com umidade próxima da capacidade de campo. A inércia do sistema não permite obtenção de valores confiáveis para períodos menores que uma semana.

Para o cálculo de ETe do período correspondente aos valores de ET dados pela equação (4) foram utilizados os valores médios das variáveis da equação (1) no período, sendo o resultado corrigido pelo número correspondente de dias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

É preciso lembrar que os resultados aqui obtidos na escala mensal são frutos de estimativas do saldo de radiação (R_n) considerando desprezível a densidade de fluxo de calor sensível no solo ($G = 0$). Portanto, os resultados devem ser aceitos como aproximações. Como critério de controle de qualidade dos dados, eliminou-se da análise aqueles que caíram fora do intervalo $0,50 \leq ET_m/R_n \leq 0,90$, onde ET_m é o valor medido da evapotranspiração. Esse critério de triagem foi necessário para eliminar períodos muito chuvosos, quando o valor medido de ET_m , pela inércia dos evapotranspirômetros, invariavelmente incluiu água ainda não drenada, resultando em valores exagerados tanto de ET_m como de α . No outro extremo, estão os períodos secos, quando foi inevitável a advecção de calor sensível das áreas secas circundantes para a área irrigada. Resultados de outros experimentos (BAILEY & DAVIS, 1981) mostram que α decresce com o aumento no déficit de água no solo. No presente caso, onde a área foi irrigada constantemente para minimizar a variação do armazenamento (ΔA) nos evapotranspirômetros, ela funcionou como um oásis, resultando em valores de α artificialmente elevados. Logo, o tamanho da área tampão é fundamental na determinação do tipo de evapotranspiração obtida nos evapotranspirômetros, e PENMAN (1956) definiu seus limites de variação entre duas condições extremas: meio-de-oceano e meio-de-deserto. No primeiro caso, a evapotranspiração é potencial, pois está limitada apenas pela disponibilidade de energia solar, não havendo transporte horizontal de ar seco sobre a área úmida. No segundo caso, a área úmida fica circundada por extenso ambiente seco e o transporte vertical de vapor d'água é substancialmente aumentado pelo transporte horizontal, resultando em evapotranspiração de oásis, que é muito maior que a potencial.

Numa região onde o ritmo das chuvas varia ao longo do ano, o tamanho da área tampão pode ter desde alguns metros até algumas centenas de metros, e resultados de STANHILL (1961) e GOLTZ & PRUITT (1970) enfatizam este aspecto. Obviamente, em regiões e épocas de secas, onde é mais importante conhecer a taxa exata da evapotranspiração potencial, os campos irrigados, por várias limitações, raramente possuem área tampão adequada, resultando em condições mais próximas de meio-de-deserto que de meio-de-oceano (PEREIRA & CAMARGO, 1989). No entanto, essa é a taxa de evapotranspiração que precisa ser dimensionada no manejo correto da irrigação de campos produtivos.

A Figura 1 mostra as relações entre os valores da evapotranspiração medida (ET_m) e a de equilíbrio (ET_e), para Campinas, Pindamonhangaba e Ribeirão Preto. A regressão linear foi forçada a passar pela origem visto que os pontos mostraram esta tendência. Nessa situação, a inclinação da reta de regressão indica o valor médio de α para cada localidade. Em ordem crescente, os valores médios de α e respectivos desvios padrões foram os seguintes: i) Campinas: $0,99 \pm 0,17$ com $r^2 = 0,8449$ ($n = 56$); ii) Ribeirão Preto: $1,12 \pm 0,11$ com $r^2 = 0,8997$ ($n = 36$); iii) Pindamonhangaba: $1,17 \pm 0,12$ com $r^2 = 0,8753$ ($n = 31$). Observa-se que a evapotranspiração potencial medida em Campinas se aproximou bastante da evapotranspiração de equilíbrio, isto é, $\alpha = 1$. Os valores encontrados para as três localidades estão abaixo do valor original ($\alpha = 1,26$) relatado por PRIESTLEY & TAYLOR (1972). Os valores de α só se aproximaram do valor original quando foram incluídos os meses com $ET_m/R_n > 0,90$, situação onde α foi sempre maior que 1,3 chegando até 1,45, resultando nos seguintes valores médios: Ribeirão Preto: 1,23; Pindamonhangaba: 1,29. No caso de Campinas, mesmo nessa última situação, α foi próximo de 1,0.

Tentando verificar a possível influência dos períodos chuvosos e secos sobre a variação de α , o ano foi separado em duas épocas: outubro - março (primavera - verão, P-V), admitida como chuvosa; e, abril - setembro (outono - inverno, O - I), como seca. A Tabela 1 resume os valores encontrados nessa partição. Verifica-se que os valores de Campinas mostraram maior variação entre as duas épocas, sendo que os meses chuvosos apresentaram valores de α mais elevados, mas que o desvio padrão foi maior na época seca (O - I). A mesma tendência foi observada para Ribeirão Preto. Pindamonhangaba, no entanto, praticamente não apresentou diferença entre as duas épocas. Supõe-se que tal fato seja devido principalmente à sua localização geográfica, no vale de um grande rio (Paraíba), onde o ar é sempre mais úmido e a demanda atmosférica é menor e mais uniforme ao longo do ano.

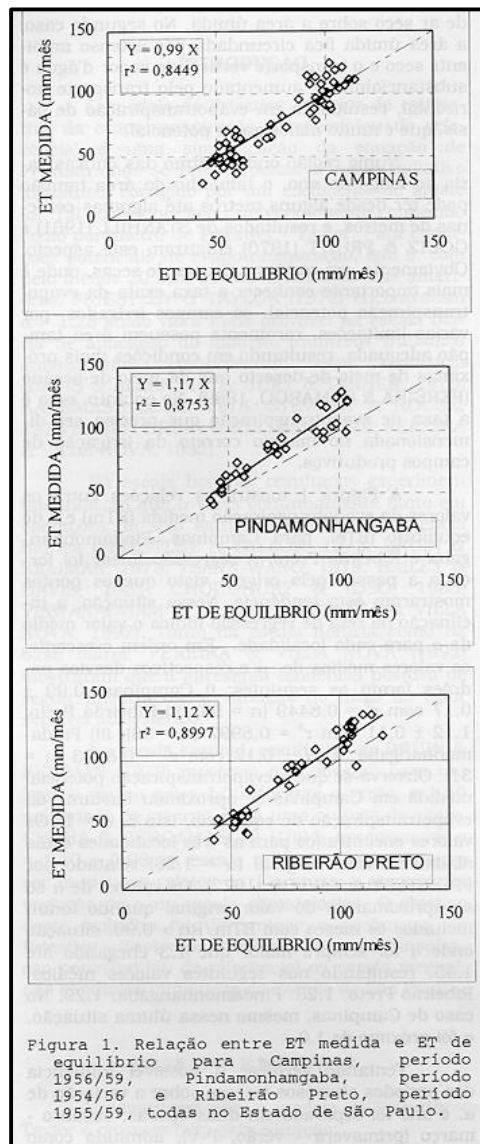


Tabela 1. Média e desvio padrão do parâmetro α , e número de dados (n), para dois períodos do ano e três locais do Estado de São Paulo.

LOCAL	OUTUBRO - MARÇO (P - V)			ABRIL - SETEMBRO (O - I)		
	α Médio	Desvio padrão	n	α Médio	Desvio padrão	n
Campinas	1,02	0,11	28	0,91	0,17	28
Ribeirão Preto	1,15	0,10	16	1,07	0,16	20
Pindamonhangaba	1,17	0,12	14	1,19	0,11	17

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAILEY, W.G., DAVIES, J.A. Evaporation from soybeans. **Boundary-Layer Meteorology**, Dordrecht, v. 20, p. 417-428, 1981.
- BRUIN, H.A.R. de, KEIJMAN, J.Q. The Priestley-Taylor evaporation model applied to large, shallow lake in the Netherlands. **J. of Applied Meteorol.**, Boston, v. 18, p. 898-903, 1979.
- CAMARGO, A.P. de Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 21, p. 163-213, 1962.
- CHOUDHURY, B.J., IDSO, S.B. An empirical model for stomatal resistance of field-grown wheat. **Agric. For. Meteorol.**, Amsterdam, v. 36, p. 65-82, 1985.
- CUNHA, G.R. da, BERGAMASCHI, H. Coeficientes das equações de Makkink e Priestley-Taylor para a estimativa da evapotranspiração máxima da alfafa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 33-36, 1994.
- DAVIES, J.A., ALLEN, G.D. Equilibrium, potential and actual evaporation from cropped surfaces in Southern Ontario. **J. of Applied Meteorol., Boston**, v. 12, p. 649-656, 1973.
- DOORENBOS, J., PRUITT, W.C. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome, FAO, 1977. 179 p. (Irrigation and Drainage Paper 24).
- GOLTZ, S.M., PRUITT, W.O. Spatial and temporal variations of evapotranspiration downwind from a trailing of a dry fallow field. In: D.L. MORGAN, W.O. PRUITT & F.J. LOURENCE (Ed.), **Evaporation from an irrigated turf under advection of dry air at Davis, California**. UCD, CA, p. 1-70, 1970.
- JURY, W.A., TANNER, C.B. Advection modification of the Priestley-Taylor evapotranspiration formula **Agronomy Journal**, Madison, v. 67, p. 840-842, 1975.
- KANEMASU, E.T., STONE, L.R., POWERS, W.L. Evapotranspiration model tested for soybean and sorghum. **Agronomy Journal**, Madison, v. 68, p. 569-572, 1976.
- OMETTO, J.C. **Bioclimatologia** Vegetal. São Paulo, Ceres, 1981. 400 p.
- PENMAN, H.L. Evaporation: an introductory survey. **Neth. J. Agric. Sci.**, Wageningen, v. 4, p. 9-29, 1956.
- PEREIRA, A.R., CAMARGO, A.P. de An analysis of the criticism of Thornthwaite's equation for estimating potential evapotranspiration. **Agric. For. Meteorol.**, Amsterdam, v. 46, p. 149-157, 1989.

- PEREIRA, A.R., VILLA NOVA, N.A. An analysis of the Priestley-Taylor parameter. **Agric. For. Meteorol.**, Amsterdam, v. 61, p. 1-9, 1992.
- PRIESTLEY, C.H.B., TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Rev.**, v. 100, p. 81-92, 1972.
- SLATYER, R.O., McILROY, I.C. **Practical Microclimatology**, Melbourne, CSIRO, 310 p. 1961.
- STANHILL, G. A comparison of methods of calculating potential evapotranspiration from climatic data. Israel **J. Agric. Res.**, Bet Dagan, v. 11, p. 159-171, 1961.
- STEWART, R.B., ROUSE, W.R. A simple method for determining the evaporation from shallow lakes and ponds. **Water Resources Res.**, Richmond, v. 12. P. 623-628, 1976.
- STEWART, R.B., ROUSE, W.R. Substantiation of the Priestley-Taylor parameter $\alpha = 1.26$ for potential evaporation in high latitudes, **J. of Applied Meteorol.**, Boston, v. 16, p. 649-650, 1977.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geogr. Rev.**, v. 38, p. 55-94, 1948.
- TSANN-WANG, YU Parameterization of surface evaporation rate for use in numerical modeling. **J. of Applied Meteorol.**, Boston, v. 16, p. 393-400, 1977.
- VISWANADHAM, Y.; SILVA FILHO, V.P., ANDRÉ, R.G.B. The Priestley-Taylor parameter α for the Amazon forest. **For. Ecol. Manage.**, v. 38, p. 211-225, 1991.
- WILSON, R.G., ROUSE, W.R. Moisture and temperature limits of the equilibrium evapotranspiration model. **J. of Applied Meteorol.**, Boston, v. 11, p. 436-442, 1972.