

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA A SUB-REGIÃO DA
NHECOLÂNDIA, PANTANAL MATOGROSSENSE**

**ESTIMATION OF REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION FOR THE SUBREGION OF
NHECOLÂNDIA, PANTANAL MATOGROSSENSE**

Balbina Maria Araujo Soriano¹ e Antonio Roberto Pereira²

RESUMO

Foram avaliados vários métodos de estimativa da evapotranspiração de referência, tomando-se como padrão a evapotranspiração potencial estimada pelo método do Tanque Classe A (*ECA*). Utilizando-se a regressão linear entre as estimativas dos métodos e *ECA*, pode-se concluir que, para a sub-região da Nhecolândia, não houve supremacia dos métodos baseados no balanço de energia sobre aqueles que utilizam apenas a temperatura do ar ou a radiação solar (*Rs*) como variável independente. Os métodos da Radiação Solar, Priestley & Taylor, Makkink e Jensen & Haise foram calibrados para a região, melhorando substancialmente suas estimativas. As mudanças mais significativas ocorreram com o parâmetro α de Priestley & Taylor, que mostrou tendência linear negativa com a temperatura média do ar e com a relação *ECA/Rs*, que foi independente da temperatura, contrariando as indicações de Jensen & Haise.

Palavras-chave: Tanque Classe A, Evapotranspiração de Referência, Pantanal, Estimativa.

SUMMARY

Twelve methods for estimating reference evapotranspiration were evaluated using the USWB Classe A

¹ METEOROLOGISTA, MSc, EMBRAPA/CPAP - Cx.P. 109, 79320-900 Corumbá. MS.

tank method (*ECA*) as the standard. Taking the linear regression between the estimates and *ECA*, for the region, the overall results indicate that there was no advantage of the methods based on the energy balance over those based either on mean air temperature or solar radiation (*Rs*). The Solar Radiation, the Priestley & Taylor, the Makkink and the Jensen & Haise methods were calibrated locally improving substantially their estimates. The most significant changes happened with the Priestley & Taylor parameter α which showed a negative linear tendency with the mean air temperature, and with the relationship *ECA/Rs* which was independent of the mean air temperature.

Key Words: Class A Tank, Reference Evapotranspiration, Pantanal, Estimate.

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração potencial ou de referência (*ET_o*) é um elemento climatológico fundamental correspondente ao processo oposto ao da precipitação pluvial. Enquanto a medida das precipitações é bastante simples e relativamente abundante, o mesmo não se pode dizer quanto à medida de *ET_o*, que é trabalhosa exigindo instalações especiais, custosas e muito cuidado experimental. Por esse motivo, existem vários métodos para estimativa de *ET_o*, sendo muitos deles empíricos e baseados apenas em regressões, enquanto outros possuem embasamento teórico.

Sendo recomendado pela FAO, o método do Tanque Classe A é bastante utilizado para a estimativa de *ET_o*. Embora as observações do Tanque Classe A sejam sujeitas a erros que se originam desde as condições de sua instalação, passando pela falta de qualificação dos observadores, até suas próprias limitações como equipamento, seu uso para estimar a evaporação de períodos de 10 ou mais dias tem sido recomendado e utilizado em projetos de irrigação (DOORENBOS & PRUITT, 1984). Como o Tanque Classe A geralmente é superexposto às condições de vento e radiação solar, sua medida deve ser corrigida por um coeficiente (*K_p*) que é função da velocidade do vento, da condição de bordadura, e da umidade relativa do ar (DOORENBOS & PRUITT, 1984; VILLA NOVA & REICHARDT, 1989).

O presente trabalho tem como objetivo avaliar vários métodos de estimativa de *ET_o*, tomando-se como padrão o método do Tanque Classe A, para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal matogrossense (ADÁMOLI,

² PROFESSOR ASSOCIADO, PhD, Dept° de Física e Meteorologia - ESALQ/USP - Cx.P. 9 - 13418-900 Piracicaba, SP.

1982).

MATERIAL E MÉTODO

Foram utilizados dados médios mensais de temperatura do ar (T_{med} , $T_{máx}$, $T_{mín}$ em °C), umidade relativa do ar (UR_{med} em %), velocidade do vento a 10 m (u em m/s), evaporação do Tanque Classe A (CA em mm/dia), evaporação de Piché (Pi em mm/dia) e horas de insolação (n), referentes ao período de 1986 a 1990. Os dados foram obtidos na estação meteorológica da Fazenda Nhumirim (Latitude: 18°59'S, Longitude: 56°39' W e Altitude: 98 m), situada no município de Corumbá, MS e pertencente ao Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal (EMBRAPA/CPAP).

Para a estimativa de ET_o (mm/dia) foram utilizados os seguintes métodos (JENSEN & HAISE, 1963; CAMARGO, 1971; PRIESTLEY & TAYLOR, 1972; BERLATO & MOLION, 1981; DOORENBOS & PRUITT, 1984; HARGREAVES & SAMANI, 1985; VILLA NOVA & REICHARDT, 1989):

Tanque Classe A (ECA)

$$ECA = K_p CA$$

Radiação Solar (ERS)

$$ERS = C(W R_s)$$

$$R_s = Ra(a + b n/N)$$

onde, $Ra = Q_o/59$ (mm/dia), sendo Q_o a radiação solar extraterrestre (cal/cm². dia) e N a duração do dia, referente ao dia 15 de cada mês, isto é, os valores "médios" do mês; $a = 0,3$ e $b = 0,41$ para a região (RIBEIRO, 1980).

Blaney & Criddle (EBC)

$$EBC = c[p(0,46 T_{med} + 8)]$$

Penman (EPe)

$$EPe = W Q^* + (1 - W)(0,35 + 0,00219 u)(e_s - e)$$

onde

$$Q^* = 0,75 R_s - 20,17 * 10^{-10} T_{med}^4 (0,56 - 0,09 \sqrt{e}) (0,1 + 0,9 n/N)$$

$$es = 4,58 * 10^{(7,5 Tmed)/(237,5+Tmed)}$$

$$e = es URmed/100$$

u = velocidade média diária do vento a 2 m de altura (km/dia).

Penman Simplificado (EPS)

$$EPS = W Q^* + 0,28 P i$$

Jensen & Haise (EJH)

$$EJH = Rs(0,078 + 0,025 Tmed)$$

Hargreaves & Samani (EHS)

$$EHS = 0,0023 Ra(Tmed + 17,8)(Tmax - Tmin)^{0,5}$$

Makkink (EM)

$$EM = 0,61 W Rs - 0,12$$

Camargo (EC)

$$EC = 0,01 Ra Tmed$$

Priestley & Taylor (EPT)

$$EPT = 1,26 W Q^*$$

Linacre (EL)

$$EL = \{[500(Tmed + 0,006 H)/(100 - L)] + 15(Tmed - T_o)\}/(80 - Tmed)$$

onde,

$$T_o = (237,5 \log e - 157 - L)/(8,16 - \log e)$$

L = latitude local, em graus;

H = altitude local, em metros;

e = pressão parcial de vapor,

em mm de Hg.

Thornthwaite (ET)

$$ET = 1,33 N (10 Tmed / I)^c / ND$$

onde,

$$I = 0,087 \sum_{n=1}^{12} (Tmed_n)^{1,514}$$

$$c = 6,75 * 10^{-7} \bar{T}^3 - 7,71 * 10^{-5} \bar{T}^2 + 0,01791 I + 0,492$$

ND = número de dias do mês.

Os valores de Kp , C , c , p , Ra (mm/dia), Q_o (cal/cm².dia) e N (horas) são obtidos em tabelas, tanto em DOORENBOS & PRUITT (1984) como em VILLA NOVA & REICHARDT (1989). O fator W é uma função da temperatura podendo ser estimado através das equações propostas por WILSON & ROUSE (1972) e VISWANADHAM *et al* (1991), ou seja,

$$W = 0,407 + 0,0145 T$$

para $0^{\circ}C < T \leq 16^{\circ}C$,

$$W = 0,483 + 0,01 T$$

para $16,1^{\circ}C < T \leq 32^{\circ}C$.

Em todos os métodos, a ET_o foi calculada para cada mês com dados disponíveis, determinando-se depois a ET_o média aritmética de cada mês, a partir da série 1986 a 1990.

Os ajustes dos modelos de regressão para os métodos de estimativa de ET_o foram analisados através do teste "t", ao nível de 1% e 5%.

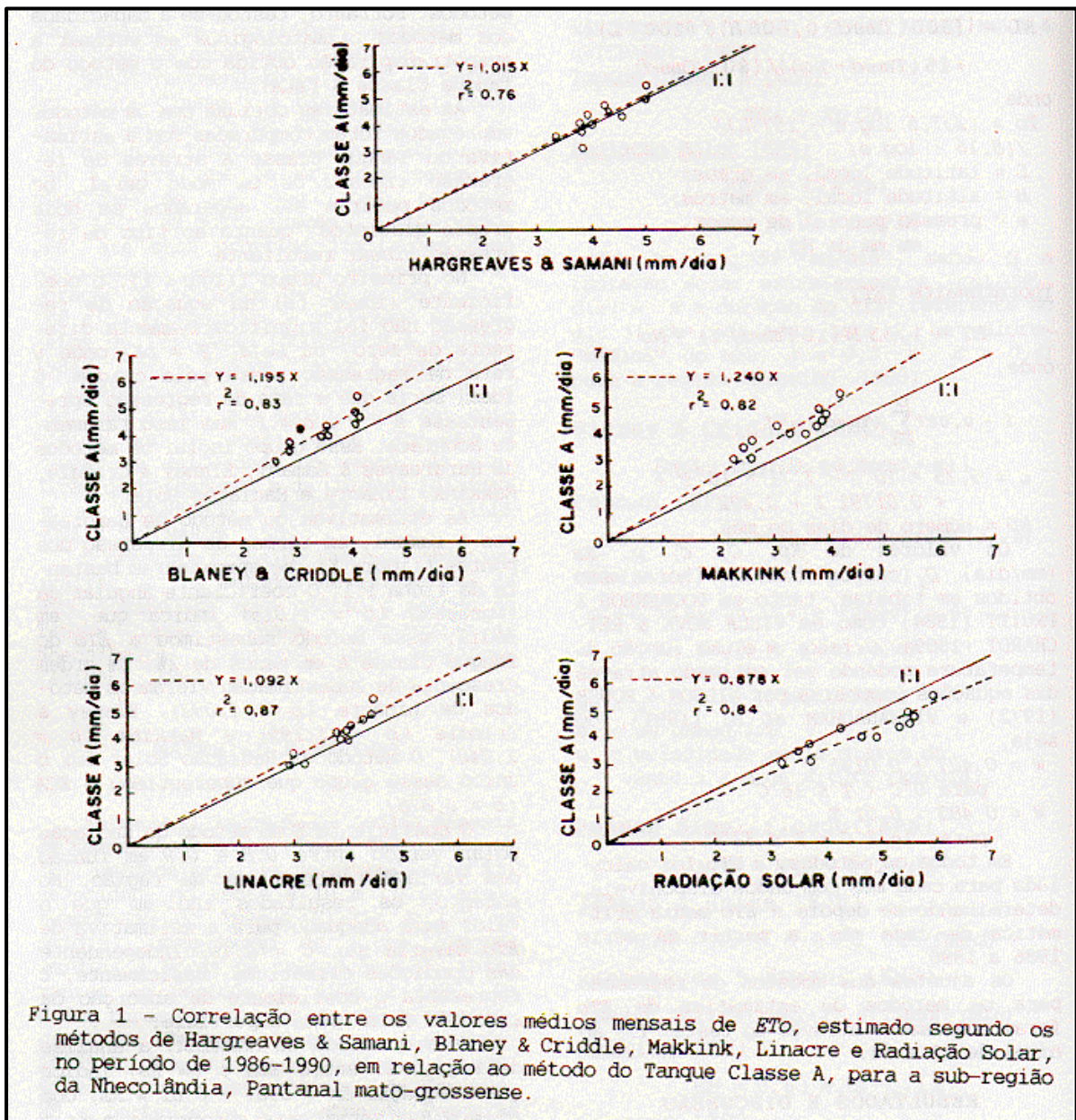
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por ser um método preconizado pela FAO, e também por representar a única medida direta da evaporação no local, o método do Tanque Classe A foi utilizado como padrão para se aferir os demais métodos. Portanto, testou-se a capacidade dos métodos climatológicos em estimar a evapotranspiração obtida com o método do Tanque Classe A (ECA).

As estimativas obtidas com os métodos empregados foram comparadas com a estimativa do Tanque Classe A através de regressão linear. De um modo geral, os métodos puderam ser separados em dois grupos distintos, quanto ao tipo de regressão linear resultante.

No primeiro grupo (figura 1), o coeficiente linear (a) da equação de regressão não foi significativamente diferente de zero, ou seja, $Y = bX$, onde a reta de regressão passa pela origem. O ideal seria que a reta de regressão apresentasse $a = 0$ e $b = 1$, mas isso raramente acontece. Esse grupo inclui os métodos de Hargreaves & Samani, Blaney & Criddle, Makkink, Linacre e Radiação Solar.

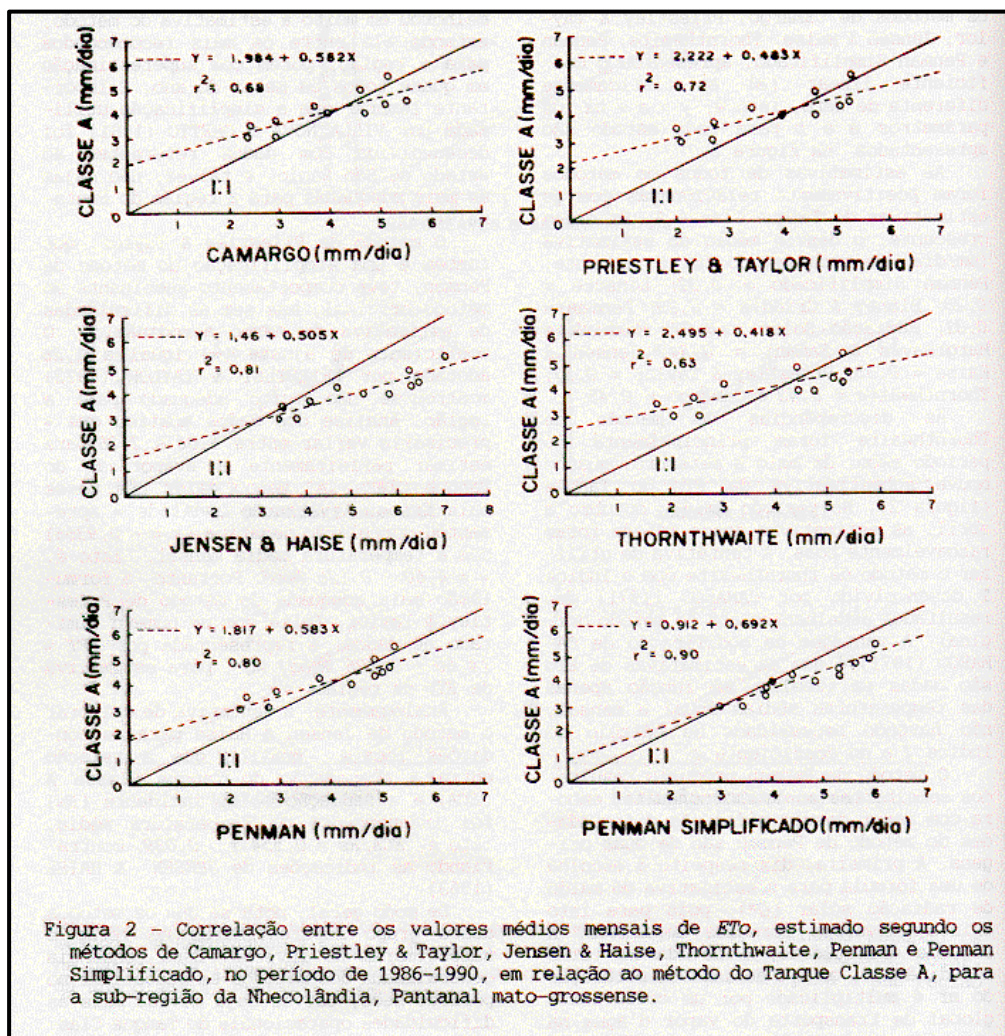
As estimativas do método de Hargreaves & Samani, em termos de dispersão dos pontos (figura 1), se aproximaram bastante da linha 1:1. O coeficiente angular da regressão ($b = 1,015$) indica que, em média, esse método subestimou a ET_o do Tanque Classe A em menos de 2%. Em ordem crescente de subestimação vieram os métodos de Linacre ($b = 1,092$), Blaney & Criddle ($b = 1,195$) e Makkink ($b = 1,240$). O método da Radiação Solar foi o único desse grupo que superestimou a ECA ($b = 0,878$).



O coeficiente C do método da Radiação Solar variou entre $0,8$ e $0,9$ em função das variáveis climáticas da região. No entanto, os resultados indicam que o valor mais adequado para a estimativa de ET_0 deveria ser $C = 0,75$, independente das condições climáticas. Basicamente, C representa o coeficiente de absorção da radiação solar pela superfície.

Para o método de Makkink, a análise de regressão entre ECA e (WR_s) indica que a equação $EM = 0,81 + 0,61 w R_s$, com $r^2 = 0,80$, seria mais apropriada para a sub-região da Nhecolândia. Essa equação difere daquela proposta inicialmente por MAKKINK (1957) apenas no coeficiente linear ($a = 0,81$) mantendo-se o mesmo coeficiente angular ($b = 0,61$).

O outro grupo (figura 2), que inclui os métodos de Camargo, Priestley & Taylor, Jensen & Haise, Thornthwaite, Penman e Penman Simplificado, apresentou o coeficiente linear (a) estatisticamente diferente de zero, isto é, $y = a + bX$. Os parâmetros a e b para cada método são apresentados na figura 2.



As estimativas de todos os métodos foram positivamente relacionadas com as estimativas do Tanque Classe A. Em ordem crescente, o desvio médio da estimativa (mm/dia) de cada método foi o seguinte: Penman Simplificado = 0,22; Linacre = 0,28; Blaney & Criddle = 0,29; Penman = 0,31; Radiação Solar = 0,32; Makkink e Hargreaves & Samani = 0,34; Jensen & Haise = 0,35; Priestley & Taylor = 0,37; Thornthwaite = 0,43 e Camargo = 0,45.

As discrepâncias do método de Thornthwaite foram principalmente no período seco, de maio a setembro, quando houve subestimativa da ET_o do Tanque (figura 2). No período úmido, outubro a abril, as estimativas desse método foram razoavelmente boas. A tentativa de utilizar o método de Thornthwaite com o índice T desenvolvido por CAMARGO (1971) deu resultados semelhantes aos do método original. A vantagem da modificação de CAMARGO (1971) é que as estimativas de ET_o são dadas em tabelas, em função apenas das temperaturas médias anual e mensal, não havendo necessidade de cálculo do índice I e do coeficiente c .

O método de Penman produziu resultados semelhantes ao de Thornthwaite, embora com menor desvio médio. As dificuldades do método de Penman são de duas origens. A primeira, diz respeito à escolha de uma fórmula para a estimativa do saldo de radiação solar (Q^*), pois para isto existem diversas fórmulas empíricas. A segunda dificuldade, é devida ao termo aerodinâmico, onde o déficit de saturação do ar é multiplicado por um coeficiente global de transporte do vapor d'água na atmosfera e que também é uma função empírica da velocidade acumulada do vento.

O método de Penman Simplificado eliminou essa segunda dificuldade utilizando a evaporação de Piche para substituir o poder evaporante do ar. Essa substituição melhorou em muito a estimativa do método, estando ele entre os mais recomendados para a região, porém com superestimação em quase todos os meses do ano. É importante lembrar que a simplificação utilizada por VILLA NOVA & OMETTO (1981) foi desenvolvida com dados referentes ao estado de São Paulo, e talvez, não sejam as mais adequadas para a região do Pantanal.

O método de Priestley & Taylor, que também é uma simplificação do método de Penman, teve comportamento semelhante ao método original, mas sem as dificuldades de estimativa do termo aerodinâmico. O coeficiente de ajuste (∞) igual a 1,26 adotado por PRIESTLEY & TAYLOR (1972) mostrou-se não muito adequado para a região. Análise dos dados mostrou que ∞ precisaria variar entre 1,06 e 2,28 para estimar perfeitamente a evaporação do Tanque Classe A, sendo maior nos meses mais frios. A variação anual de ∞ apresentou correlação negativa ($r = - 0,9366$) com a temperatura média mensal, isto é, $\mu = 4,60 - 0,126 T_{med}$. Portanto, a formulação mais adequada do método de Priestley & Taylor, feita com um número limitado de dados,

é representada por $EPT = (4,60 - 0,126 T_{med}) WQ^*$, para estimativa de ET_o da região.

Analogamente, a tentativa de calibrar o método de Jensen & Haise para as condições locais mostrou que a relação entre a evaporação do Tanque Classe A (ECA) e a radiação solar incidente (R_s) foi independente da temperatura média, isto é, $ECA/R_s = 0,554 \pm 0,039$, contrariando as indicações de JENSEN & HAISE (1963).

De modo geral, nota-se que os métodos desse grupo superestimaram no verão e subestimaram no inverno. Essa tendência generalizada dos métodos em subestimar no período seco, talvez seja devida mais às dificuldades operacionais do Tanque Classe A e do empirismo de suas correções (K_p) do que de deficiências das formulações dos métodos.

Cumprir lembrar que existe na literatura, tendência em se recomendar os métodos baseados no balanço de energia em detrimento daqueles que utilizam apenas a temperatura do ar como variável independente. No entanto, é importante observar que os resultados aqui obtidos não confirmam tal tendência, pois os dois tipos de métodos estão incluídos tanto entre os mais como entre os menos adequados para a sub-região da Nhecolândia, Pantanal mato-grossense. No geral, pode-se concluir que para a sub-região, os métodos que apresentaram melhores resultados, foram os de Hargreaves & Samani, Linacre, Blaney & Criddle, Penman Simplificado, Radiação Solar, Priestley & Taylor, Makkink, Jensen & Haise e os menos indicados foram Penman, Camargo e Thornthwaite.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADÁMOLI, J. O Pantanal e suas relações fitogeográficas com os cerrados; discussão sobre o conceito de complexo do Pantanal. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE BOTÂNICA DO BRASIL, XXXI-I, 1982, Teresina, Pi. Anais..., Teresina: Universidade Federal do Piauí, 1982. p. 109-119.

BERLATO, M.A., MOLION, L.C.B. Evaporação e Evapotranspiração. Porto Alegre: IPAGRO, 1981. 96p. Boletim Técnico, 7.

CAMARGO, A.P.de. Balanco hídrico no Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1971. 28p. Boletim, 116.

DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. Roma: FAO, 1984. 144 p. Irrigation and Drainage Paper, 24.

HARGREAVES, G.H., SAMANI, Z.A. Reference crop evapotranspiration from ambiente air

- temperature**. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers, 1985. 12p. ASAE Paper, 85-2517.
- JENSEN, M.E., HAISE, H.R. Estimating evapotranspiration from solar radiation. **Journal of Irrigation and Drainage Division**. New York, v.89, p.15-41, 1963.
- MAKKINK, G.H. Ekzameno de la formula de Penman. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v.5, p.290-305, 1957.
- PRIESTLEY, C.H.B., TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using largescale parameters. **Monthly Weather Review**, Boston, v.100, p.81-92, 1972.
- RIBEIRO, A.M.A. **Estudos das relações entre radiação solar global (Q_g) e razão de insolação (n/N) em algumas regiões do Brasil**. Piracicaba, 1980. 89p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1980.
- VILLA NOVA, N.A., OMETTO, J.C. Adaptação e simplificação do método de Penman às condições do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HIDRICOS, IV, 1981, Fortaleza, CE. **Anais...**, Fortaleza: ABRH, 1981. p. 120-151.
- VILLA NOVA, N.A., REICHARDT, K. Evaporação e evapotranspiração. IN: RAMOS, F., OCCHIPINTI, A.G., MAGALHÃES, P.C. *et al.* **Engenharia Hidrológica**, Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 1989. p. 145-197.
- VISWANADHAM, Y., SILVA FILHO, V.P., ANDRE, R.G.. The Priestley-Taylor parameter for the Amazon forest. **Forest and Ecology Management**, Amsterdam, v.38, p.211-225, 1991.
- WILSON, R.G., ROUSE, W.R. Moisture and temperature limits of equilibrium evapotranspiration model. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v.11, p.436-442, 1972.