

## **AJUSTES DE S E W DA EQUAÇÃO DE PENMAN EM FUNÇÃO DA MÉDIA ENTRE AS TEMPERATURAS DO PSICRÔMETRO**

**Nilson Augusto Villa Nova**

*Departamento de Ciências Exatas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. CP 9, CEP 13418-900. E-mail: navnova@carpa.ciagri.usp.br*

**André Belmont Pereira**

*Depto de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR. CEP 84030-900. E-mail: abelmont@uepg.br*

**Antonio Roberto Pereira**

*Departamento de Ciências Exatas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. CP 9, CEP 13418-900. E-mail: arpereir@carpa.ciagri.usp.br*

### **1 RESUMO**

A exigência hídrica de plantas cultivadas é dependente de fatores relacionados à planta, ao solo e ao clima. O planejamento da irrigação requer o conhecimento das necessidades hídricas das plantas, sendo uma resposta à demanda evaporativa da atmosfera. Dentre os principais métodos de estimativa da demanda evaporativa, destacam-se aqueles que se utilizam do valor de S, ou seja, a tangente à curva de pressão de saturação em função da temperatura, que compõe o fator de ponderação no efeito da radiação solar sobre a evapotranspiração (W). Propõe-se neste estudo a determinação de S e W em função da média entre as temperaturas do psicrômetro (Tsu), como sugere Monteith (1965), demonstrando-se também quais erros que ocasionam este cálculo quando é feito da maneira usual, ou seja, em função apenas da temperatura de bulbo seco. A metodologia sugerida para os ajustes propostos no cálculo de S revelou diferenças de até 34% em relação aos valores usuais quando estimados em condições de baixa umidade relativa e temperatura do ar mais elevada.

**UNITERMOS:** evapotranspiração, correção do fator S, equação de Penman.

### **VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A.B.; PEREIRA, A.R. S AND W ADJUSTMENTS OF PENMAN'S EQUATION AS A FUNCTION OF THE AVERAGE TEMPERATURE BETWEEN DRY AND WET BULBS**

### **2 ABSTRACT**

The crop water requirement depends upon factors related to plant, soil and climate. Irrigation planning requires the knowledge of crop water needs, which is a response to the atmospheric evaporative demand. Among the main estimating methods to calculate the potential demand, those that utilize the value of S, that is, the slope of water vapor saturation pressure, which comprises the weighting factor for the effect of solar radiation on evapotranspiration (W) might be stood out. In the current paper, the determination of S and W as a function of the average temperature between dry and wet bulbs (Tsu), as suggested by Monteith (1965) has been proposed, and a demonstration of errors that were brought about by means of such calculation when it is made by the usual manner, that is, as a

function of only the dry bulb temperature, has been presented as well. The suggested methodology for the adjustments proposed on the calculation of S has revealed differences of up to 34% in relation to the usual values when estimated under low relative humidity and higher air temperature conditions.

**KEYWORDS:** evapotranspiration, correction of S factor, Penman's equation.

### 3 INTRODUÇÃO

Para implantação de um projeto de irrigação é essencial, tanto no planejamento preliminar quanto em sua posterior condução, conhecer a etapa fenológica da estação de crescimento de uma cultura em que esta terá a máxima necessidade de água, a altura da lâmina a ser aplicada em cada sub-período de desenvolvimento e a frequência de aplicação de água. Para responder tais questões, é necessário proceder-se à determinação da demanda evaporativa da cultura sob condições de suprimento hídrico adequado, ou seja, da evapotranspiração máxima da espécie vegetal cultivada em dada região, estando, portanto, este elemento meteorológico condicionado a avaliação da demanda atmosférica local. Tal conhecimento é ainda útil mesmo na agricultura não irrigada, pois permite ajustamentos de épocas de semeadura dentro da estação de crescimento em função da disponibilidade hídrica média regional, determinando maior eficiência no aproveitamento das precipitações pluviais e maiores produções agrícolas.

A demanda evaporativa da atmosfera vem sendo determinada pelos cientistas que atuam nas áreas de Agrometeorologia e de Irrigação e Drenagem no mundo inteiro, através do uso de diversos métodos disponíveis e reportados por Pereira et al. (1997) para estimar a evapotranspiração potencial ou de referência (ET<sub>o</sub>).

Monteith (1965), ao ajustar a equação de Penman (1956) para cálculo da demanda potencial (ET<sub>o</sub>), recomenda que o valor do fator de ponderação do efeito da radiação solar sobre ET<sub>o</sub> (W) - função da tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água à temperatura média do ar (S) e, portanto, dependente da temperatura do ar, da umidade relativa do ar e da pressão atmosférica local - seja determinado para cada pressão em função

do valor correspondente à média entre a temperatura de bulbo de seco (T<sub>s</sub>) e do bulbo úmido (T<sub>u</sub>). Ocorre, porém que, na prática, quase a totalidade dos usuários utiliza o valor de W calculado a partir da temperatura média do ar (MAKKINK, 1957; WILSON & ROUSE, 1972; VISWANADHAM et al., 1991; DOORENBOS & PRUITT, 1977; DOORENBOS & KASSAM, 1979; PRIESTLEY & TAYLOR, 1972; SLATYER & MCILROY, 1961; STANHILL, 1962; CAMARGO, 1962; OLIVEIRA, 1971, VILLA NOVA & OMETTO, 1981, SORIANO & PEREIRA, 1993; entre outros) - fato que poderá introduzir erros de estimativa que levarão a obtenção de valores superestimados de demanda potencial em estudos agrometeorológicos desenvolvidos para avaliar o consumo hídrico de culturas agrônomicas em determinado local.

Assim, os objetivos do presente estudo são:

Propor metodologia para estimar a média entre as temperaturas de bulbo seco (T<sub>s</sub>) e de bulbo úmido (T<sub>u</sub>), aqui denominada de T<sub>su</sub>, em função de temperatura do ar (T<sub>s</sub>), umidade relativa do ar (UR) e pressão atmosférica (P);

Determinar os desvios obtidos entre S corrigido e S convencional, quando se considera o valor de T<sub>su</sub> em lugar de T<sub>s</sub>, de modo a possibilitar a obtenção de um novo valor de W ajustado em função de T<sub>su</sub>, umidade relativa do ar e altitude local.

### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O valor de T<sub>su</sub> foi obtido em função das seguintes considerações:

$$T_{su} = \frac{T_s + T_u}{2} \quad (1)$$

$$S = \frac{es - e's}{T_s - T_u} \quad (2)$$

$$e's = es + \gamma(T_s - T_u) \quad (3)$$

$$\Delta e = es - ea \quad (4)$$

em que os termos acima significam:

$T_{su}$  é a média entre as temperaturas do psicrômetro, em °C;

$S$  é a tangente a curva de pressão de saturação de vapor d'água à temperatura média do ar (kPa.°C<sup>-1</sup>);

$es$  é a pressão de saturação de vapor d'água à temperatura do ar (kPa);

$e's$  é a pressão de saturação de vapor d'água à temperatura do bulbo úmido (kPa);

$\gamma$  é o coeficiente psicrométrico reduzido a pressão local (kPa.°C<sup>-1</sup>);

$\Delta e$  é a média do déficit de saturação de vapor d'água do ar atmosférico (kPa);

$ea$  é a pressão parcial exercida pelo vapor d'água na atmosfera (kPa).

Utilizando-se o sistema de equações (1), (2), (3) e (4) pode-se concluir que  $T_{su}$  será estimada com boa aproximação pela seguinte expressão:

$$T_{su} = T_s - \frac{\Delta e}{2(S + \gamma)} \quad (5)$$

onde  $\Delta e$  poderá ser definida por:

$$\Delta e = \left(1 - \frac{UR}{100}\right) es \quad (6)$$

sendo UR a umidade relativa do ar, em %.

Os valores de  $S$  e  $\gamma$  serão obtidos através das seguintes equações:

$$S = \frac{4098 es}{(237,3 + T_s)^2} \quad (7)$$

$$\gamma = 6,647 \cdot 10^{-4} P \quad (8)$$

onde  $P$  é a pressão atmosférica local (kPa).

Para suprir a falta de informações sobre a pressão atmosférica local, a mesma deverá ser calculada em função da altitude ( $z$ ) em metros, através da seguinte equação:

$$P = 101,3 \left(1 - 2,256 \cdot 10^{-5} Z\right)^{5,2568} \quad (9)$$

Uma vez determinado o valor de  $T_{su}$ , os novos valores de  $S$  e  $W$  ajustados (simbolizados por  $S^*$  e  $W^*$  no presente trabalho) serão, portanto, definidos pelas seguintes equações:

$$S^* = \frac{4098 es}{(237,3 + T_{su})^2} \quad (10)$$

$$W^* = \frac{S^*}{S^* + \gamma} \quad (11)$$

sendo  $W^*$  o valor corrigido do fator de ponderação do efeito da radiação sobre a  $ET_o$  para diferentes temperaturas e altitudes.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 1 a 4 apresentam, respectivamente, os valores médios entre a temperatura de bulbo seco ( $T_s$ ) e de bulbo úmido ( $T_u$ ), representados pelo símbolo  $T_{su}$ , em função de 4 níveis de umidade relativa do ar (25, 40, 55 e 70%) e de 7 níveis de altitude local (0, 500, 1000, 1500, 2000, 2500 e 3000 metros). Tais níveis de altitude, embora não muito frequentes na grande maioria das regiões brasileiras, foram assim estabelecidos para possibilitar comparação dos valores de  $S$  corrigidos com aqueles propostos pela FAO, bem como para melhor evidenciar as diferenças observadas nos valores de  $S$  e  $W$  advindos do uso da metodologia em estudo.

Observa-se, pela análise das Tabela 1 a 4, que à medida que a umidade relativa do ar diminui os valores médios entre a temperatura do bulbo seco e a temperatura do bulbo úmido

(Tsu) também diminuem, condicionando uma diferença de quase 15°C em relação a temperatura média do ar ao nível do mar para o menor valor calculado de umidade relativa do ar (UR). Paralelamente ao efeito de UR, verifica-se a contribuição da pressão atmosférica sobre Tsu, que faz com que esta diferença seja mais acentuada ainda à medida que a altitude local aumenta. Tal fato foi constatado em virtude da pressão atmosférica ter sido o elemento meteorológico condicionante das variações observadas sobre o valor do coeficiente psicrométrico, assumindo, porém, menor magnitude. Os níveis de altitude apresentados aqui foram baseados na proposição daqueles abordados por Doorenbos & Kassam (1979) para definir W e a umidade relativa do ar teve seus níveis estabelecidos em função de limites de amplitude que oferecessem variações significativas sobre a variável resposta.

Nas Tabelas 5 a 8 são apresentados os valores corrigidos da tangente a curva de pressão de saturação de vapor d'água à Tsu com vistas a obtenção do fator ajustado de ponderação do efeito da radiação sobre a ETo para diferentes combinações de altitude e temperatura do ar em função da média entre as leituras psicrométricas, da umidade relativa do ar e da altitude local (W\*).

Ao analisar-se os valores de S ajustados (S\*), inseridos nas Tabelas 5 a 8, constata-se que tais valores variam de 22 a 34% em relação aqueles usuais calculados apenas em função da temperatura do ar, quando a umidade relativa do ar for de 25%, ao passo que o referido percentual de variação de S\* cai para a faixa de 9 a 12% quando a umidade relativa do ar assumir valor de 70%. A variação de S\* diminui quando a umidade relativa é igual a 70% porque com o aumento da umidade atmosférica observa-se uma diminuição da depressão psicrométrica do ar, fato que contribui para a obtenção de valores médios entre as temperaturas do psicrômetro mais próximos da temperatura média do ar. Assim, conclui-se que as diferenças entre os valores de S\* em relação a aqueles obtidos pelo método convencional serão mais expressivas quanto menor for o grau de saturação do ar atmosférico. Observa-se ainda que a

contribuição do fator altitude sobre os valores de S\* é praticamente desprezível, uma vez que a variação da variável resposta em função da altitude não excede a 4%, sendo este percentual menor ainda à medida que a umidade relativa do ar aumenta.

De posse desses valores apresentados nas Tabelas 5 a 8, pode-se determinar o valor de W ajustado em função de Tsu para as faixas de umidade relativa do ar e altitude de interesse do usuário, através do emprego da equação 11, procedimento que poderá melhorar as estimativas da evapotranspiração potencial ou de referência (ETo) obtida pelos métodos de Penman (1948), Monteith (1965), Priestley & Taylor (1972), da Radiação Solar e da Advecção Aridez (DOORENBOS & KASSAM, 1979), entre outros, especialmente em regiões áridas e semi-áridas.

É fato que a comprovação da teoria idealizada neste estudo para corrigir as variáveis de entrada S e W da equação de Penman, mediante o confronto de estimativas de ETo obtidas a partir desses parâmetros corrigidos com medidas lisimétricas precisas, constitui contribuição a ser dada por pesquisadores que têm a sua atenção voltada ao planejamento da irrigação em pesquisas futuras, visando maximizar a produtividade agrícola e assegurar a sustentabilidade da agricultura irrigada sob diversas condições climáticas locais.

## 6 CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos, concluiu-se que a metodologia proposta para estimar a média entre as temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido é viável para corrigir S e, conseqüentemente, W da equação de Penman, dadas as diferenças percentuais calculadas em relação a seus valores convencionais. As superestimativas da evapotranspiração potencial ou de referência, advindas do uso freqüente da temperatura média do ar em modelos que consideram os parâmetros S e W da equação de Penman, poderão ser ajustadas através do emprego da

metodologia em estudo, constituindo, portanto, o foco de investigações futuras relacionadas ao

planejamento racional da irrigação das culturas em determinada localidade.

**Tabela 1.** Valores médios entre temperatura de bulbo seco e úmido (Tsu, °C) em função de temperatura do ar (T, °C) e altitude local (m), para umidade relativa (UR) de 25%.

T	ALTITUDES						
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000
5	2,45	2,37	2,29	2,21	2,12	2,04	1,96
6	3,34	3,26	3,18	3,10	3,02	2,93	2,85
7	4,24	4,16	4,08	3,99	3,91	3,83	3,74
8	5,13	5,05	4,97	4,89	4,80	4,72	4,64
9	6,03	5,95	5,86	5,78	5,70	5,61	5,53
10	6,92	6,84	6,76	6,67	6,59	6,51	6,43
11	7,82	7,73	7,65	7,57	7,49	7,40	7,32
12	8,71	8,63	8,54	8,46	8,38	8,30	8,22
13	9,60	9,52	9,44	9,36	9,27	9,19	9,11
14	10,50	10,41	10,33	10,25	10,17	10,09	10,01
15	11,39	11,31	11,23	11,15	11,07	10,99	10,91
16	12,28	12,20	12,12	12,04	11,96	11,89	11,81
17	13,18	13,10	13,02	12,94	12,86	12,79	12,71
18	14,07	13,99	13,92	13,84	13,76	13,69	13,61
19	14,97	14,89	14,81	14,74	14,66	14,59	14,51
20	15,86	15,79	15,71	15,64	15,56	15,49	15,42
21	16,76	16,69	16,61	16,54	16,46	16,39	16,32
22	17,66	17,58	17,51	17,44	17,37	17,30	17,23
23	18,56	18,48	18,41	18,34	18,27	18,20	18,13
24	19,46	19,39	19,31	19,24	19,17	19,11	19,04
25	20,36	20,29	20,22	20,15	20,08	20,01	19,95
26	21,26	21,19	21,12	21,05	20,99	20,92	20,86
27	22,16	22,09	22,03	21,96	21,90	21,83	21,77
28	23,07	23,00	22,93	22,87	22,81	22,74	22,68
29	23,97	23,91	23,84	23,78	23,72	23,66	23,60
30	24,88	24,81	24,75	24,69	24,63	24,57	24,51
31	25,79	25,72	25,66	25,60	25,54	25,48	25,43
32	26,69	26,63	26,57	26,51	26,45	26,40	26,34
33	27,60	27,54	27,48	27,42	27,37	27,31	27,26
34	28,51	28,45	28,39	28,34	28,28	28,23	28,18
35	29,42	29,36	29,31	29,25	29,20	29,15	29,10
36	30,33	30,28	30,22	30,17	30,12	30,07	30,02
37	31,25	31,19	31,14	31,09	31,04	30,99	30,94
38	32,16	32,11	32,06	32,00	31,96	31,91	31,86
39	33,08	33,02	32,97	32,92	32,88	32,83	32,79
40	33,99	33,94	33,89	33,84	33,80	33,75	33,71

**Tabela 2.** Valores médios entre temperatura de bulbo seco e úmido (Tsu, °C) em função de temperatura do ar (T, °C) e altitude local (m), para umidade relativa (UR) de 40%.

T	ALTITUDES						
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000
5	2,96	2,89	2,83	2,76	2,70	2,63	2,56

6	3,88	3,81	3,75	3,68	3,61	3,55	3,48
7	4,79	4,73	4,66	4,59	4,53	4,46	4,39
8	5,71	5,64	5,58	5,51	5,44	5,38	5,31
9	6,62	6,56	6,49	6,42	6,36	6,29	6,23
10	7,54	7,47	7,41	7,34	7,27	7,21	7,14
11	8,45	8,39	8,32	8,25	8,19	8,12	8,06
12	9,37	9,30	9,24	9,17	9,10	9,04	8,97
13	10,28	10,22	10,15	10,08	10,02	9,96	9,89
14	11,20	11,13	11,07	11,00	10,94	10,87	10,81
15	12,11	12,05	11,98	11,92	11,85	11,79	11,73
16	13,03	12,96	12,90	12,83	12,77	12,71	12,65
17	13,94	13,88	13,81	13,75	13,69	13,63	13,57
18	14,86	14,79	14,73	14,67	14,61	14,55	14,49
19	15,77	15,71	15,65	15,59	15,53	15,47	15,41
20	16,69	16,63	16,57	16,51	16,45	16,39	16,33
21	17,61	17,55	17,49	17,43	17,37	17,31	17,26
22	18,53	18,47	18,41	18,35	18,29	18,24	18,18
23	19,45	19,39	19,33	19,27	19,22	19,16	19,11
24	20,37	20,31	20,25	20,19	20,14	20,09	20,03
25	21,29	21,23	21,17	21,12	21,06	21,01	20,96
26	22,21	22,15	22,10	22,04	21,99	21,94	21,89
27	23,13	23,08	23,02	22,97	22,92	22,87	22,82
28	24,05	24,00	23,95	23,90	23,84	23,80	23,75
29	24,98	24,92	24,87	24,82	24,77	24,72	24,68
30	25,90	25,85	25,80	25,75	25,70	25,66	25,61
31	26,83	26,78	26,73	26,68	26,63	26,59	26,54
32	27,75	27,70	27,66	27,61	27,56	27,52	27,48
33	28,68	28,63	28,59	28,54	28,49	28,45	28,41
34	29,61	29,56	29,52	29,47	29,43	29,38	29,34
35	30,54	30,49	30,45	30,40	30,36	30,32	30,28
36	31,47	31,42	31,38	31,34	31,29	31,25	31,22
37	32,40	32,35	32,31	32,27	32,23	32,19	32,15
38	33,33	33,29	33,24	33,20	33,16	33,13	33,09
39	34,26	34,22	34,18	34,14	34,10	34,06	34,03
40	35,19	35,15	35,11	35,07	35,04	35,00	34,97

**Tabela 3.** Valores médios entre temperatura de bulbo seco e úmido (Tsu, °C) em função de temperatura do ar (T, °C) e altitude local (m), para umidade relativa (UR) de 55%.

T	ALTITUDES						
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000
5	3,47	3,42	3,37	3,32	3,27	3,22	3,17

6	4,41	4,36	4,31	4,26	4,21	4,16	4,11
7	5,34	5,29	5,25	5,20	5,15	5,10	5,05
8	6,28	6,23	6,18	6,13	6,08	6,03	5,98
9	7,22	7,17	7,12	7,07	7,02	6,97	6,92
10	8,15	8,10	8,05	8,00	7,95	7,91	7,86
11	9,09	9,04	8,99	8,94	8,89	8,84	8,79
12	10,03	9,98	9,93	9,88	9,83	9,78	9,73
13	10,96	10,91	10,86	10,81	10,76	10,72	10,67
14	11,90	11,85	11,80	11,75	11,70	11,65	11,61
15	12,83	12,78	12,74	12,69	12,64	12,59	12,55
16	13,77	13,72	13,67	13,63	13,58	13,53	13,49
17	14,71	14,66	14,61	14,56	14,52	14,47	14,43
18	15,64	15,60	15,55	15,50	15,46	15,41	15,37
19	16,58	16,53	16,49	16,44	16,40	16,35	16,31
20	17,52	17,47	17,43	17,38	17,34	17,29	17,25
21	18,46	18,41	18,37	18,32	18,28	18,23	18,19
22	19,40	19,35	19,31	19,26	19,22	19,18	19,14
23	20,34	20,29	20,25	20,20	20,16	20,12	20,08
24	21,28	21,23	21,19	21,15	21,10	21,06	21,02
25	22,22	22,17	22,13	22,09	22,05	22,01	21,97
26	23,16	23,11	23,07	23,03	22,99	22,95	22,92
27	24,10	24,06	24,02	23,98	23,94	23,90	23,86
28	25,04	25,00	24,96	24,92	24,88	24,85	24,81
29	25,98	25,94	25,90	25,87	25,83	25,79	25,76
30	26,93	26,89	26,85	26,81	26,78	26,74	26,71
31	27,87	27,83	27,80	27,76	27,72	27,69	27,66
32	28,82	28,78	28,74	28,71	28,67	28,64	28,61
33	29,76	29,72	29,69	29,65	29,62	29,59	29,56
34	30,71	30,67	30,64	30,60	30,57	30,54	30,51
35	31,65	31,62	31,59	31,55	31,52	31,49	31,46
36	32,60	32,57	32,53	32,50	32,47	32,44	32,41
37	33,55	33,52	33,48	33,45	33,42	33,39	33,36
38	34,50	34,46	34,43	34,40	34,37	34,34	34,32
39	35,45	35,41	35,38	35,35	35,33	35,30	35,27
40	36,40	36,36	36,33	36,31	36,28	36,25	36,23

**Tabela 4.** Valores médios entre temperatura de bulbo seco e úmido ( $T_{su}$ , °C) em função de temperatura do ar ( $T$ , °C) e altitude local (m), para umidade relativa (UR) de 70%.

T	ALTITUDES						
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000
5	3,98	3,95	3,91	3,88	3,85	3,82	3,78

6	4,94	4,91	4,87	4,84	4,81	4,77	4,74
7	5,90	5,86	5,83	5,80	5,76	5,73	5,70
8	6,85	6,82	6,79	6,75	6,72	6,69	6,65
9	7,81	7,78	7,75	7,71	7,68	7,65	7,61
10	8,77	8,74	8,70	8,67	8,64	8,60	8,57
11	9,73	9,69	9,66	9,63	9,59	9,56	9,53
12	10,68	10,65	10,62	10,58	10,55	10,52	10,49
13	11,64	11,61	11,58	11,54	11,51	11,48	11,45
14	12,60	12,57	12,53	12,50	12,47	12,44	12,40
15	13,56	13,52	13,49	13,46	13,43	13,40	13,36
16	14,51	14,48	14,45	14,42	14,39	14,35	14,32
17	15,47	15,44	15,41	15,38	15,34	15,31	15,28
18	16,43	16,40	16,37	16,33	16,30	16,27	16,24
19	17,39	17,36	17,33	17,29	17,26	17,23	17,21
20	18,35	18,31	18,28	18,25	18,22	18,20	18,17
21	19,30	19,27	19,24	19,21	19,19	19,16	19,13
22	20,26	20,23	20,20	20,18	20,15	20,12	20,09
23	21,22	21,19	21,16	21,14	21,11	21,08	21,05
24	22,18	22,15	22,13	22,10	22,07	22,04	22,02
25	23,14	23,12	23,09	23,06	23,03	23,01	22,98
26	24,10	24,08	24,05	24,02	24,00	23,97	23,94
27	25,07	25,04	25,01	24,98	24,96	24,93	24,91
28	26,03	26,00	25,97	25,95	25,92	25,90	25,87
29	26,99	26,96	26,94	26,91	26,89	26,86	26,84
30	27,95	27,93	27,90	27,88	27,85	27,83	27,80
31	28,91	28,89	28,86	28,84	28,82	28,79	28,77
32	29,88	29,85	29,83	29,80	29,78	29,76	29,74
33	30,84	30,82	30,79	30,77	30,75	30,73	30,70
34	31,80	31,78	31,76	31,74	31,71	31,69	31,67
35	32,77	32,75	32,72	32,70	32,68	32,66	32,64
36	33,73	33,71	33,69	33,67	33,65	33,63	33,61
37	34,70	34,68	34,66	34,63	34,61	34,60	34,58
38	35,66	35,64	35,62	35,60	35,58	35,56	35,54
39	36,63	36,61	36,59	36,57	36,55	36,53	36,51
40	37,60	37,58	37,56	37,54	37,52	37,50	37,48

**Tabela 5.** Valores de S\* ajustados em função da média entre temperatura de bulbo seco e úmido (Tsu, °C) e da altitude local (m), e valores usuais de S (kPa.°C<sup>-1</sup>), para umidade relativa (UR) de 25%.

Tsu	S* (ALTITUDES)							S usual
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	



5	0,052	0,052	0,051	0,051	0,051	0,051	0,050	0,061
6	0,055	0,055	0,054	0,054	0,054	0,054	0,053	0,065
7	0,058	0,058	0,058	0,057	0,057	0,057	0,056	0,069
8	0,061	0,061	0,061	0,060	0,060	0,060	0,060	0,073
9	0,065	0,065	0,064	0,064	0,064	0,063	0,063	0,078
10	0,068	0,068	0,068	0,067	0,067	0,067	0,066	0,082
11	0,072	0,072	0,072	0,071	0,071	0,071	0,070	0,087
12	0,076	0,076	0,076	0,075	0,075	0,074	0,074	0,093
13	0,080	0,080	0,080	0,079	0,079	0,078	0,078	0,098
14	0,085	0,084	0,084	0,084	0,083	0,083	0,082	0,104
15	0,089	0,089	0,088	0,088	0,088	0,087	0,087	0,110
16	0,094	0,094	0,093	0,093	0,092	0,092	0,091	0,116
17	0,099	0,099	0,098	0,098	0,097	0,097	0,096	0,123
18	0,104	0,104	0,103	0,103	0,102	0,102	0,101	0,130
19	0,110	0,109	0,109	0,108	0,108	0,107	0,107	0,137
20	0,115	0,115	0,114	0,114	0,113	0,113	0,112	0,145
21	0,121	0,121	0,120	0,120	0,119	0,119	0,118	0,153
22	0,127	0,127	0,126	0,126	0,125	0,125	0,124	0,161
23	0,134	0,133	0,133	0,132	0,132	0,131	0,131	0,170
24	0,141	0,140	0,139	0,139	0,138	0,138	0,137	0,179
25	0,148	0,147	0,147	0,146	0,145	0,145	0,144	0,189
26	0,155	0,154	0,154	0,153	0,153	0,152	0,152	0,199
27	0,163	0,162	0,161	0,161	0,160	0,160	0,159	0,209
28	0,171	0,170	0,169	0,169	0,168	0,168	0,167	0,220
29	0,179	0,178	0,178	0,177	0,177	0,176	0,175	0,232
30	0,188	0,187	0,186	0,186	0,185	0,185	0,184	0,243
31	0,197	0,196	0,195	0,195	0,194	0,194	0,193	0,256
32	0,206	0,205	0,205	0,204	0,203	0,203	0,202	0,269
33	0,216	0,215	0,214	0,214	0,213	0,213	0,212	0,282
34	0,226	0,225	0,225	0,224	0,223	0,223	0,222	0,296
35	0,237	0,236	0,235	0,235	0,234	0,233	0,233	0,311
36	0,248	0,247	0,246	0,246	0,245	0,244	0,244	0,326
37	0,259	0,258	0,258	0,257	0,256	0,256	0,255	0,342
38	0,271	0,270	0,269	0,269	0,268	0,268	0,267	0,358
39	0,283	0,283	0,282	0,281	0,281	0,280	0,279	0,375
40	0,296	0,295	0,295	0,294	0,293	0,293	0,292	0,393

**Tabela 6.** Valores de S\* ajustados em função da média entre temperatura de bulbo seco e úmido (Tsu, °C) e da altitude local (m), e valores usuais de S (kPa.°C<sup>-1</sup>), para umidade relativa (UR) de 40%.

Tsu	S* (ALTITUDES)							S usual
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	

5	0,054	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,052	0,061
6	0,057	0,057	0,056	0,056	0,056	0,056	0,055	0,065
7	0,060	0,060	0,060	0,059	0,059	0,059	0,059	0,069
8	0,064	0,063	0,063	0,063	0,063	0,062	0,062	0,073
9	0,067	0,067	0,067	0,066	0,066	0,066	0,066	0,078
10	0,071	0,071	0,071	0,070	0,070	0,070	0,069	0,082
11	0,075	0,075	0,074	0,074	0,074	0,074	0,073	0,087
12	0,079	0,079	0,079	0,078	0,078	0,078	0,077	0,093
13	0,084	0,083	0,083	0,083	0,082	0,082	0,082	0,098
14	0,088	0,088	0,088	0,087	0,087	0,087	0,086	0,104
15	0,093	0,093	0,092	0,092	0,092	0,091	0,091	0,110
16	0,098	0,098	0,097	0,097	0,097	0,096	0,096	0,116
17	0,103	0,103	0,103	0,102	0,102	0,102	0,101	0,123
18	0,109	0,109	0,108	0,108	0,107	0,107	0,107	0,130
19	0,115	0,114	0,114	0,114	0,113	0,113	0,112	0,137
20	0,121	0,120	0,120	0,120	0,119	0,119	0,118	0,145
21	0,127	0,127	0,126	0,126	0,125	0,125	0,125	0,153
22	0,134	0,133	0,133	0,132	0,132	0,132	0,131	0,161
23	0,141	0,140	0,140	0,139	0,139	0,138	0,138	0,170
24	0,148	0,147	0,147	0,146	0,146	0,145	0,145	0,179
25	0,155	0,155	0,154	0,154	0,153	0,153	0,152	0,189
26	0,163	0,163	0,162	0,162	0,161	0,161	0,160	0,199
27	0,171	0,171	0,170	0,170	0,169	0,169	0,168	0,209
28	0,180	0,179	0,179	0,178	0,178	0,177	0,177	0,220
29	0,189	0,188	0,188	0,187	0,187	0,186	0,186	0,232
30	0,198	0,197	0,197	0,196	0,196	0,195	0,195	0,243
31	0,207	0,207	0,206	0,206	0,205	0,205	0,204	0,256
32	0,217	0,217	0,216	0,216	0,215	0,215	0,214	0,269
33	0,228	0,227	0,227	0,226	0,226	0,225	0,225	0,282
34	0,239	0,238	0,238	0,237	0,237	0,236	0,236	0,296
35	0,250	0,249	0,249	0,248	0,248	0,247	0,247	0,311
36	0,262	0,261	0,261	0,260	0,260	0,259	0,259	0,326
37	0,274	0,273	0,273	0,272	0,272	0,271	0,271	0,342
38	0,287	0,286	0,286	0,285	0,284	0,284	0,283	0,358
39	0,300	0,299	0,299	0,298	0,298	0,297	0,297	0,375
40	0,314	0,313	0,313	0,312	0,311	0,311	0,310	0,393

**Tabela 7.** Valores de S\* ajustados em função da média entre temperatura de bulbo seco e úmido (Tsu, °C) e da altitude local (m), e valores usuais de S (kPa.°C<sup>-1</sup>), para umidade relativa (UR) de 55%.

Tsu	S* (ALTITUDES)							S usual
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	

5	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,054	0,061
6	0,059	0,059	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	0,065
7	0,062	0,062	0,062	0,062	0,061	0,061	0,061	0,069
8	0,066	0,066	0,065	0,065	0,065	0,065	0,065	0,073
9	0,070	0,070	0,069	0,069	0,069	0,069	0,068	0,078
10	0,074	0,074	0,073	0,073	0,073	0,073	0,072	0,082
11	0,078	0,078	0,078	0,077	0,077	0,077	0,077	0,087
12	0,082	0,082	0,082	0,082	0,081	0,081	0,081	0,093
13	0,087	0,087	0,087	0,086	0,086	0,086	0,086	0,098
14	0,092	0,092	0,091	0,091	0,091	0,091	0,090	0,104
15	0,097	0,097	0,097	0,096	0,096	0,096	0,095	0,110
16	0,102	0,102	0,102	0,102	0,101	0,101	0,101	0,116
17	0,108	0,108	0,107	0,107	0,107	0,107	0,106	0,123
18	0,114	0,114	0,113	0,113	0,113	0,112	0,112	0,130
19	0,120	0,120	0,119	0,119	0,119	0,118	0,118	0,137
20	0,126	0,126	0,126	0,125	0,125	0,125	0,125	0,145
21	0,133	0,133	0,132	0,132	0,132	0,132	0,131	0,153
22	0,140	0,140	0,139	0,139	0,139	0,138	0,138	0,161
23	0,147	0,147	0,147	0,146	0,146	0,146	0,145	0,170
24	0,155	0,155	0,154	0,154	0,154	0,153	0,153	0,179
25	0,163	0,163	0,162	0,162	0,162	0,161	0,161	0,189
26	0,171	0,171	0,171	0,170	0,170	0,170	0,169	0,199
27	0,180	0,180	0,179	0,179	0,179	0,178	0,178	0,209
28	0,189	0,189	0,188	0,188	0,188	0,187	0,187	0,220
29	0,199	0,198	0,198	0,197	0,197	0,197	0,196	0,232
30	0,208	0,208	0,208	0,207	0,207	0,206	0,206	0,243
31	0,219	0,218	0,218	0,217	0,217	0,217	0,216	0,256
32	0,229	0,229	0,229	0,228	0,228	0,227	0,227	0,269
33	0,241	0,240	0,240	0,239	0,239	0,238	0,238	0,282
34	0,252	0,252	0,251	0,251	0,250	0,250	0,250	0,296
35	0,264	0,264	0,263	0,263	0,262	0,262	0,262	0,311
36	0,277	0,276	0,276	0,275	0,275	0,275	0,274	0,326
37	0,290	0,289	0,289	0,288	0,288	0,288	0,287	0,342
38	0,303	0,303	0,303	0,302	0,302	0,301	0,301	0,358
39	0,318	0,317	0,317	0,316	0,316	0,315	0,315	0,375
40	0,332	0,332	0,331	0,331	0,330	0,330	0,330	0,393

**Tabela 8.** Valores de S\* ajustados em função da média entre temperatura de bulbo seco e úmido (Tsu, °C) e da altitude local (m), e valores usuais de S (kPa.°C<sup>-1</sup>), para umidade relativa (UR) de 70%.

Tsu	S* (ALTITUDES)							S usual
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	

5	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,056	0,061
6	0,061	0,061	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,065
7	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,069
8	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,068	0,067	0,073
9	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,072	0,071	0,078
10	0,077	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076	0,082
11	0,081	0,081	0,081	0,081	0,080	0,080	0,080	0,087
12	0,086	0,086	0,085	0,085	0,085	0,085	0,085	0,093
13	0,091	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,098
14	0,096	0,096	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,104
15	0,101	0,101	0,101	0,101	0,100	0,100	0,100	0,110
16	0,107	0,107	0,106	0,106	0,106	0,106	0,106	0,116
17	0,113	0,113	0,112	0,112	0,112	0,112	0,112	0,123
18	0,119	0,119	0,119	0,118	0,118	0,118	0,118	0,130
19	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,124	0,124	0,137
20	0,132	0,132	0,132	0,132	0,131	0,131	0,131	0,145
21	0,139	0,139	0,139	0,139	0,139	0,138	0,138	0,153
22	0,147	0,147	0,146	0,146	0,146	0,146	0,145	0,161
23	0,155	0,154	0,154	0,154	0,154	0,153	0,153	0,170
24	0,163	0,163	0,162	0,162	0,162	0,162	0,161	0,179
25	0,171	0,171	0,171	0,171	0,170	0,170	0,170	0,189
26	0,180	0,180	0,180	0,179	0,179	0,179	0,179	0,199
27	0,189	0,189	0,189	0,189	0,188	0,188	0,188	0,209
28	0,199	0,199	0,198	0,198	0,198	0,198	0,197	0,220
29	0,209	0,209	0,209	0,208	0,208	0,208	0,208	0,232
30	0,220	0,219	0,219	0,219	0,218	0,218	0,218	0,243
31	0,231	0,230	0,230	0,230	0,229	0,229	0,229	0,256
32	0,242	0,242	0,241	0,241	0,241	0,241	0,240	0,269
33	0,254	0,254	0,253	0,253	0,253	0,252	0,252	0,282
34	0,266	0,266	0,266	0,265	0,265	0,265	0,264	0,296
35	0,279	0,279	0,278	0,278	0,278	0,278	0,277	0,311
36	0,292	0,292	0,292	0,292	0,291	0,291	0,291	0,326
37	0,306	0,306	0,306	0,305	0,305	0,305	0,305	0,342
38	0,321	0,321	0,320	0,320	0,320	0,319	0,319	0,358
39	0,336	0,336	0,335	0,335	0,335	0,334	0,334	0,375
40	0,352	0,351	0,351	0,351	0,350	0,350	0,350	0,393

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMARGO, A.P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no

Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 21, n.2, p. 163-213, 1962.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. **FAO**

- Irrigation and Drainage Paper**, Rome, n. 24, p. 1-179, 1977.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Yield response to water. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, Rome, n. 33, p. 1-193, 1979.
- MAKKINK, G.F. Exzamenno de la formulo de Penman. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 5, n. 2, p. 290-305, 1957.
- MONTEITH, J.L. Evaporation and environment. *Symposia of the society for experimental biology*, Cambridge, v. 19, p. 205-234, 1965.
- OLIVEIRA, A.S. **Estudos comparativos da evaporação potencial estimada por tanques e pelo método de Penman**. 1971. 113 f. Tese (Livre-Docência em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1971.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society, London, Series A*, v. 198, p. 116-140, 1948.
- PENMAN, H.L. Evaporation: an introductory survey. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 4, n. 1, p. 9-29, 1956.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiróz, 1997. 183 p.
- PRIESTLEY, C.H.B.; TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Monthly Weather Review**, London, v. 100, n. 1, p. 81-92, 1972.
- SLATYER, R.O.; McILROY, I.C. **Practical microclimatology**. Canberra: CSIRO, 1961. 328 p.
- SORIANO, B.M.; PEREIRA, A.R. Estimativa da evapotranspiração de referência para a região da Nhecolândia, Pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 123-129, 1993.
- STANHILL, G. The use of the Piche evaporimeter in the calculation of evaporation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society**, New York, v. 88, n. 1, p. 80-82, 1962.
- VILLA NOVA, N.A.; OMETTO, J.C. Adaptação e simplificação do método de Penman às condições climáticas do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 4., 1981, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará/Sociedade Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1981. p. 37-41.
- VISWANADHAM, Y.; SILVA FILHO, V.P.; ANDRÉ, R.G.B. The Priestley-Taylor parameter  $\alpha$  for the Amazon forest. **Forest Ecological Management**, Madison, v. 38, n. 2, p. 211-225, 1991.
- WILSON, R.G.; ROUSE, W.R. Moisture and temperature limits of the equilibrium evapotranspiration model. **Journal of Applied Meteorology**, New York, v. 11, n. 3, p. 436-442, 1972.