

**ESTIMATIVAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL  
PARA O ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

*2<sup>a</sup> edição*



**EMCAPA**

Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária  
Vinculada à Secretaria de Estado da Agricultura

BOLETIM DE PESQUISA Nº 6

ISSN 0101-9260

Maio/1986

**ESTIMATIVAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL  
PARA O ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

**2<sup>a</sup> edição**

José Altino Scardua  
Leandro Roberto Feitoza  
Lúcio Lívio Fróes de Castro



**EMCAPA**

**Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária  
Vinculada à Secretaria de Estado da Agricultura**

EMPRESA CAPIXABA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMCAPA  
Caixa Postal 391  
29.000 - Vitoria (ES)  
Brasil

551.572 SCARDUA, J.A.; FEITOZA, L.R. & CASTRO, L.L.  
S285e F. de. Estimativas da evapotranspiração  
1986 potencial para o Estado do Espírito Santo. 2.ed., Vitoria-ES, EMCAPA, 1986.  
44 p. (EMCAPA - Boletim de Pesquisa, 6).

1. Evapotranspiração - estimativa - Brasil - Espírito Santo. I. Feitoza, L.R. colab. II. Castro, L.L.F.de. colab. III. Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária, Vitoria-ES. IV. Série.

## APRESENTAÇÃO

Procurou-se, com as informações disponíveis, estimar as perdas potenciais de água para a atmosfera, característica do clima de cada local e parâmetro básico em estudos hidrológicos, principalmente os de elaboração de projetos e manejo de sistemas de irrigação e drenagem. Acredita-se, assim, que este trabalho seja uma contribuição aos técnicos que se ocupam do manejo da água, principalmente na agricultura, e indiretamente aos produtores agrícolas.

A DIRETORIA

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO .....	7
INTRODUÇÃO .....	8
MATERIAL E MÉTODOS .....	13
RESULTADOS .....	19
SUMMARY .....	30
LITERATURA CITADA .....	42

# ESTIMATIVAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PARA O ESTADO DO ESPÍRITO SANTO<sup>1</sup>

José Altino Scardua<sup>2</sup>  
Leandro Roberto Feitoza<sup>3</sup>  
Lúcio Lívio Fróes de Castro<sup>3</sup>

## RESUMO

Dada a importância da evapotranspiração, como componente do ciclo hidrológico e fator fundamental no manejo de sistemas irrigados, estimaram-se os valores da evapotranspiração potencial (ETP) mensal, em mm/dia, pelos métodos de Penman e de Thornthwaite, utilizando-se normais climatológicas, para quatro locais do Estado do Espírito Santo que dispunham de medidas dos parâmetros necessários à aplicação da fórmula de Penman.

Os valores da ETP estimados pelos dois métodos foram correlacionados, obtendo-se, para dois períodos distintos do ano, as equações de regressão:

$$ETP_p = 0,907 ETP_h + 0,935 \quad - \text{ julho a janeiro (A)}$$

$$ETP_p = 1,116 ETP_h - 0,087 \quad - \text{ fevereiro a junho (B)}$$

<sup>1</sup> Trabalho subvencionado pela EMCAPA, EMBRAPA e FINEP

<sup>2</sup> Pesquisador M.Sc. - EMCAPA, bolsista CNPq

<sup>3</sup> Pesquisador M.Sc. - EMCAPA

Onde:

$ETP_p$  = evapotranspiração potencial média mensal em mm/dia obtida pelo método de Penman.

$ETT_h$  = evapotranspiração potencial média mensal em mm/dia obtida pelo método de Thornthwaite.

A partir das temperaturas médias mensais, foram obtidas estimativas da ETP, pelo método de Thornthwaite, para 65 outros locais do Estado que, através das equações (A) e (B) foram transformadas em valores de ETP e denominadas de "evapotranspiração potencial ajustada ao método de Penman". Acredita-se que os novos valores obtidos se aproximam mais dos reais, devido à melhor base teórica do método de Penman, quando comparado com o de Thornthwaite.

## INTRODUÇÃO

Devido à importância do processo de transferência de água para a atmosfera na forma de vapor, bem como à sua complexidade, envolvendo características do solo, da planta e da atmosfera, muito esforço tem sido dispendido, por pesquisadores do mundo inteiro, na compreensão e estabelecimento de métodos de estimativa desse processo.

Na agricultura, informações quantitativas da evapotranspiração são de grande importância na avaliação da se verdade, distribuição e freqüência dos déficits hídri-

cos, elaboração de projetos e manejo de sistemas de irrigação e drenagem.

Para o Estado do Espírito Santo, a quantificação da evapotranspiração assume particular importância em virtude de os déficits hídricos ao longo do ano constituírem uma séria limitação à produção e uma permanente fonte de risco agrícola em quase todo o Estado, principalmente em áreas significativas cujas características climáticas se aproximam da semi-aridez.

A medida da evapotranspiração apresenta dificuldades que desencorajam sua execução como prática de rotina. Não existe um método prático, barato e preciso para sua medida no campo e, consequentemente, são raros os dados medidos desse parâmetro. A introdução do conceito de evapotranspiração potencial (ETP) e a compreensão da possibilidade de sua estimativa a partir de dados climáticos levou ao surgimento de um grande número de fórmulas empíricas, baseadas em dados disponíveis nos postos meteorológicos comuns. DOORENBOS & PRUITT (5) relacionam mais de trinta destas fórmulas, as quais têm-se constituído num valioso instrumento nos estudos de manejo de água, principalmente naqueles para fins agrícolas.

Como mostram PRUITT & DOORENBOS (10), os métodos empíricos apresentam discrepâncias em relação aos valores da ETP,

que se acentuam à medida que as condições locais se diferenciam daquelas para as quais foram propostos. Segundo estes autores, os métodos mais simples apresentam as maiores discrepâncias, e, mesmo os métodos de melhor base teórica, como o de Penman, apesar de apresentarem altas correlações com valores medidos, podem dar resultados muito diferentes dos reais, quando aplicados sob certas condições de clima. Apontam como razão de os maiores erros ocorrerem com os métodos mais simples, o fato deles conterem vários coeficientes de regressão, altamente dependentes de parâmetros climáticos não incluídos nas fórmulas, e mostram a necessidade de calibração local dos métodos empíricos.

BERLATO & MOLION (1) chamam a atenção para o fato de que a maioria dos métodos empíricos foi estabelecida em condições de clima temperado e de baixa altitude. Analisando dados de Jensen na comparação de vários métodos empíricos, em dez diferentes condições de clima, com altitudes desde -30m a 2.774m e latitudes desde 38°S a 56°N, os autores concluem que os métodos mais simples têm pior desempenho em condições climáticas extremas, como as de elevada altitude, latitudes equatoriais, de costas marítimas ou de vales. As piores correlações foram encontradas para RUZIZI-Zaire, a 960m de altitude e 2°S de latitude e para SOUTH PARK - Colorado, a 2.774m de altitude e latitude de 39°N.

Quando foram considerados os valores de todos os locais nu  
ma única regressão para cada método, o método de Thornth-  
waite foi o pior dos cinco métodos testados. Referindo-se  
ao melhor desempenho geral do método de Penman em relação  
aos métodos mais simples, os autores afirmam que "essa é  
uma das características dos métodos que se fundamentam em  
princípios físicos inerentes ao processo de evaporação, co-  
mo é o caso do método de Penman ou de outros métodos que  
combinam o balanço de energia com algum parâmetro aerodinâ-  
mico". SCARDUA (13), analisando resultados de desempenho  
das métodos empíricos, obtidos por diversos autores em di-  
ferentes condições de clima, concluiu que as estimativas  
mais precisas da evapotranspiração potencial têm sido obti-  
das através de fórmulas propostas ou modificadas para as  
condições locais, através de correlações com a radiação  
líquida ou global e pelo método de Penman.

Nas condições brasileiras, CAMARGO (3), comparando os  
valores obtidos com os métodos de Thornthwaite, Penman,  
Blaney-Criddle e Blaney-Criddle modificado, com medidas em  
evapotranspirômetros de Thornthwaite, em Campinas, Pindamo-  
nhangaba e Ribeirão Preto, encontrou que o método de Thorn-  
thwaite apresentou a melhor correlação com os dados medi-  
dos. Também as correlações entre os valores da ETP obtidos  
por diferentes métodos, inclusive o de Penman, e medidas

em evapotranspirômetros, em Viçosa-MG, encontradas por Sedyama e Bernardo e apresentadas por BERNARDO (2) mostram que o método de Thornthwaite teve o melhor desempenho. Ainda, segundo CAMARGO & PEREIRA (4), citando Lobato, a fórmula de Thornthwaite apresentou os resultados que melhor se correlacionaram com medidas de evapotranspirômetro no planalto central brasileiro. Entretanto, melhores desempenhos do método de Penman em diferentes lugares do globo, quando comparado com o de Thornthwaite, são mais freqüentes, principalmente em condições de maior rigor experimental.

Segundo PENMAN (9), "as limitações dos métodos empíricos são reconhecidas tanto por seus críticos como por seus autores, mas, enquanto prosseguem as buscas por melhores soluções, eles podem fornecer valores de consumo de água para uso em balanço hídrico e, nas melhores condições, dar valores que são, pelo menos, tão precisos quanto os que podem ser obtidos por medidas diretas no campo, e fazem isso de um modo muito mais fácil". Pode-se acrescentar que possuir informações da demanda de água através de um método empírico, mesmo o mais simples, é melhor do que não possuir nenhuma. Sabe-se, ainda, que fórmulas empíricas mais simples são as mais usadas, não por sua universalidade ou precisão, mas devido à não existência de medidas de super-

fície que permitam o uso de métodos mais consistentes. No Espírito Santo, somente quatro locais dispõem de normais climatológicas que permitem o uso do método de Penman, e nenhum outro local do Estado possui dados meteorológicos por período suficientemente longo para obtenção de normais, mesmo que seja somente para temperatura do ar. Porém, FEITOZA e outros (6) determinaram equações de regressão que permitem estimar as temperaturas médias mensais em função das coordenadas geográficas, para qualquer ponto do Estado, possibilitando assim estimar a ETP para todo o Estado, através de um método que utilize somente dados de temperatura. Este trabalho é uma tentativa de se utilizar os dados climáticos, medidos e estimados, disponíveis no Estado, para as estimativas da evapotranspiração potencial, possíveis de serem utilizadas em estudos de deficiência hídrica e projetos de irrigação e drenagem no território estadual.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para quatro locais do Estado do Espírito Santo que possuem normais de parâmetros climáticos que possibilitam a aplicação do método de Penman, listados na tabela 1, foram calculados os valores da evapotranspiração potencial média mensal, em mm/dia, pelos métodos de Penman e de

Thornthwaite.

Desse modo, valores da ETP, obtidos por esses dois métodos, para os locais da tabela 1, foram correlacionados entre si, considerando-se separadamente os períodos de julho a janeiro e de fevereiro a junho.

TABELA 1 - Locais do Estado do Espírito Santo utilizados para a correlação dos valores da ETP obtidos pelos métodos de Penman e de Thornthwaite.

Locais	Lat. S	Long. W	Alt. (m)
Cachoeiro de Itapemirim	20°51'	40°07'	21
Vitória	20°16'	40°18'	8
Linhares	19°25'	40°03'	30
Conceição da Barra	18°35'	39°44'	3

Foram obtidas as equações de regressão linear para esses períodos nas formas:

$$ETP_p = a ETTh + b \quad (\text{jul.} - \text{jan.})$$

$$ETP_p = a_1 ETTh + b_1 \quad (\text{fev.} - \text{jun.})$$

Onde:

$ETP_p$  = evapotranspiração potencial média mensal em mm/dia, segundo o método de Penman.

$ETT_h$  = evapotranspiração potencial média mensal em mm/dia, obtida pelo método de Thornthwaite.

a, b,  $a_1$  e  $b_1$  = coeficientes de regressão.

Foram selecionados outros 65 locais, bem distribuídos no Estado, para os quais calculou-se a ETP pelo método de Thornthwaite, utilizando-se normais mensais de temperatura, medidas ou estimadas por correlação com as coordenadas geográficas segundo FEITOZA e outros (6). Esses valores da ETP foram ajustados para o método de Penman, através das equações (A) e (B), considerando-se que os valores assim obtidos, que aqui foram denominados de evapotranspiração potencial ajustada ao método de Penman ( $ETP_p$ ), são mais próximos dos valores reais.

Os dados meteorológicos utilizados neste trabalho foram adquiridos do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET.

## 1 Método de Penman

Utilizou-se a fórmula:

$$ETP_p = \frac{\frac{\Delta}{\delta} \cdot \frac{R_n}{59} + Ea}{\frac{\Delta}{\delta} + 1}$$

Onde:

$ETP_p$  = evapotranspiração potencial média mensal em mm/dia.

$\Delta$  = tangente à curva de saturação de vapor d'água, do ar em mmHg/°C, dada por:

$$\Delta = \frac{d E_s}{d T}$$

$$\text{sendo } E_s = 5,302 \text{ e } e^{0,05979T}$$

Onde:

$E_s$  = pressão de saturação de vapor d'água à temperatura média do ar  $T$ , (°C), em mmHg.

$e$  = base dos logarítmos naturais.

Derivando, encontra-se:

$$\Delta = 0,317 \text{ e } e^{0,05979T}$$

$\gamma$  = constante psicrométrica, em mmHg/°C dada por:

$$\gamma = \frac{C_p \cdot P}{0,622 L}$$

Onde:

$C_p$  = calor específico do ar a pressão constante (0,28 cal/g °C);

$P$  = pressão barométrica média, medida no posto, em mmHg;

$L$  = calor latente de vaporização de água (590 cal/g).

$R_n$  = radiação líquida global em  $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{dia}$ .

Não existindo dados medidos de radiação, a  $R_n$  foi estimada pela fórmula:

$$R_n = K_o \left( a + b \frac{n}{N} \right) (1 - r) = \delta T^4 (0,56 - 0,09 \sqrt{E}) \\ (0,1 + 0,9 n/N)$$

Onde:

$K_o$  = radiação extraterrestre em  $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{dia}$ , obtida de tabelas como a de SALATI e outros (12).

$n$  = horas de brilho solar em horas e décimos, medidas por heliógrafos.

$N$  = número máximo teórico de horas de brilho solar, em horas e décimos, valores tabelados - DOORENBOS & PRUITT (5).

$r$  = albedo (0,25 para superfícies vegetadas).

$T$  = constante de Stefan-Boltzman  
 $(1,17 \times 10^{-7} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{dia} \cdot {}^\circ\text{K}^4)$ .

$T$  = temperatura média do ar em  ${}^\circ\text{K}$ .

$E$  = pressão parcial de vapor d'água do ar em mmHg obtida por:

$E = (\text{UR}/100) E_s$ , onde UR é a umidade relativa (%)  
( $E_s$  já definida).

$a$  e  $b$  = coeficientes que variam para cada local, obtidos para os quatro locais considerados segundo a relação de RIETVELD (11), cujos valores são dados na tabela 2.

$E_a$  = poder evaporante do ar, em mm/dia, função da velocidade do vento e do déficit de saturação do vapor d'água do ar em mmHg, obtido pela relação empírica  
 $E_a = 0,35 (1 + U/160) E_s$ , onde  $U$  é a velocidade do vento a 2 m de altura em km/dia.

TABELA 2 - Valores dos coeficientes a e b no balanço de onda curta K (a + b n/N (1 - r)), obtidos em função da insolação relativa n/N, segundo RIETVELD (11).

Locais	a	b
Cachoeiro de Itapemirim	0,22	0,55
Vitória	0,23	0,52
Linhares	0,23	0,52
Conceição da Barra	0,23	0,52

Maiores detalhes de aplicação da fórmula de Penman e da definição das variáveis envolvidas podem ser vistos em SCARDUA (13) e BERLATO & MOLION (1).

## 2 Método de Thornthwaite

A equação de Thornthwaite é:

$$ETT_h^* = 16 \left( \frac{10 T}{I} \right)^a \text{ mm/mês}$$

Onde:

$\text{ETT}_{h^*}$  = evapotranspiração potencial, não corrigida para um mês de 30 dias e de 12 horas cada um, em mm/mês.

T = temperatura média do ar em  $^{\circ}\text{C}$ .

I = índice de calor anual, igual à soma de doze índices mensais ( $i$ ), dado por:

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{onde: } i = \left( \frac{T}{5} \right)^{1,514}$$

a = é a função cúbica de I dada por:

$$a = 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I + 1,79 \times 10^{-2}$$
$$I + 0,49$$

A  $\text{ETT}_{h^*}$  foi ajustada para o número de dias de cada mês e para a duração média do dia (15º dia do mês), obtendo-se o seu valor corrigido.

$$\text{ETT}_h = \text{ETT}_{h^*} \left( \frac{h}{12} \right) \left( \frac{N}{30} \right)$$

Onde:

h = duração do 15º dia de cada mês em horas e décimos.

N = número de dias de cada mês.

## RESULTADOS

Os dados climáticos medidos nos quatro locais listados na tabela 1 encontram-se nas tabelas 3, 4, 5 e 6 e os valores da evapotranspiração potencial média mensal, calculados

TABELA 3 - Normais climatológicas de pressão barométrica(P); temperatura(T); umidade relativa(UR); insolação(n); radiação extraterrestre (K<sub>O</sub>) e velocidade do vento a 2m(V), para Cachoeiro de Itapemirim-ES.

Meses	P (mm Hg)	T (°C)	UR (%)	n (horas e décimos)	N (horas e décimos)	K <sub>O</sub> (cal/cm <sup>2</sup> . dia)	V (km/dia)
Jan.	756	26,1	78	6,0	13,2	1.038	217
Fev.	756	26,4	76	6,7	12,8	990	268
Mar.	757	25,6	79	6,9	12,3	900	230
Abr.	759	23,7	81	6,1	11,7	780	201
Maio	760	21,9	81	5,8	11,2	660	193
Jun.	761	20,6	81	6,3	10,9	600	175
Jul.	763	19,9	80	6,0	11,0	624	190
Ago.	762	20,5	78	6,0	11,5	720	223
Set.	760	21,9	77	4,6	12,0	834	225
Out.	759	23,1	78	5,6	12,6	948	217
Nov.	757	24,0	80	4,8	13,1	1.020	238
Dez.	756	24,8	80	4,9	13,3	1.054	217

TABELA 4 - Normais climatológicas de pressão barométrica(P); temperatura(T); umidade relativa(UR); insolação(n); insolação máxima(N); radiação extraterrestre ( $K_O$ ) e velocidade do vento a 2m(V), para Vitória-ES.

Meses	P (mm Hg)	T (°C)	UR (%)	n	N (horas e décimos)	$K_O$ (cal/cm <sup>2</sup> . dia)	V (km/dia)
Jan.	756	25,8	80	7,62	13,2	1.038	359
Fev.	756	26,1	78	8,16	12,8	990	374
Mar.	757	25,8	79	7,24	12,3	900	364
Abr.	758	24,4	79	6,73	11,7	780	367
Maio	759	23,0	79	6,87	11,2	660	335
Jun.	761	21,9	80	6,72	10,9	600	322
Jul.	762	21,0	79	6,39	11,0	624	337
Ago.	761	21,5	78	7,17	11,5	720	411
Set.	760	22,4	78	5,92	12,0	834	384
Out.	758	23,1	80	5,31	12,6	948	384
Nov.	756	23,8	80	5,19	12,6	1.020	375
Dez.	756	24,8	80	5,70	13,1	1.054	379

TABELA 5 - Normais climatológicas de pressão barométrica(P); temperatura(T); umidade relativa(UR); insolação(n); insolação máxima(N); radiação extraterrestre ( $K_O$ ) e velocidade do vento a 2m(V); para Linhares-ES:

Meses	P (mm Hg)	T (°C)	UR (%)	n (horas e décimos)	N (horas e décimos)	K (cal/cm <sup>2</sup> . dia)	V (km/dia)
Jan.	758	26,1	82	8,87	13,2	1.038	322
Fev.	758	26,4	81	8,45	12,8	990	342
Mar.	758	25,8	84	6,33	12,3	900	365
Abr.	759	24,2	84	7,01	11,7	780	358
Maio	760	23,0	84	7,34	11,2	660	298
Jun.	762	21,8	85	6,87	10,9	600	297
Jul.	763	20,3	86	6,56	11,0	624	257
Ago.	762	21,0	84	6,77	11,5	720	321
Set.	761	21,8	84	5,14	12,0	834	333
Out.	759	23,0	85	4,33	12,6	948	364
Nov.	758	23,7	85	4,44	13,1	1.020	394
Dez.	757	25,2	84	6,23	13,3	1.054	385

TABELA 6 - Normais climatológicas de pressão barométrica(P); temperatura(T); umidade relativa(UR); insolação(n); insolação máxima(N); radiação extraterrestre ( $K_O$ ) e velocidade do vento a 2m(V), para Conceição da Barra-ES.

Meses	P (mm Hg)	T (°C)	UR (%)	n	N (horas e décimos)	$K_O$ (cal/cm <sup>2</sup> . dia)	V (km/dia)
Jan.	759	25,9	83	8,87	13,2	1.026	302
Fev.	759	26,1	83	8,45	12,8	990	266
Mar.	759	25,8	84	6,33	12,3	906	275
Abr.	760	24,6	84	7,01	11,7	792	286
Maio	762	23,1	84	7,34	11,2	684	268
Jun.	763	22,0	86	6,87	10,9	624	247
Jul.	764	21,3	84	6,56	11,0	648	280
Ago.	764	21,6	82	6,77	11,5	738	305
Set.	762	22,6	82	5,14	12,0	846	367
Out.	761	23,6	84	4,33	12,6	948	341
Nov.	759	24,3	85	4,44	13,1	1.008	346
Dez.	758	25,1	85	6,23	13,3	1.026	325

TABELA 7 - Evapotranspiração potencial média mensal, em mm/dia, calculada pelos métodos de Penman (ETP<sub>p</sub>) e de Thornthwaite (ETT<sub>h</sub>).

Meses	Cachoeiro de Itapemirim		Vitória		Linhares		Conceição da Barra	
	ETP <sub>p</sub>	ETT <sub>h</sub>	ETP <sub>p</sub>	ETT <sub>h</sub>	ETP <sub>p</sub>	ETT <sub>h</sub>	ETP <sub>p</sub>	ETT <sub>h</sub>
Jan.	4,74	4,75	5,43	4,59	5,60	4,75	5,39	4,63
Fev.	5,08	4,76	5,62	4,60	5,47	4,76	5,10	4,60
Mar.	4,40	4,20	4,87	4,30	4,36	4,28	4,17	4,27
Abr.	3,33	3,22	3,98	3,47	3,77	3,39	3,71	3,53
Mai	2,58	2,48	3,29	2,80	2,98	2,81	3,04	2,81
Jun.	2,22	2,03	2,79	2,36	2,47	2,34	2,46	2,37
Jul.	2,30	1,86	2,87	2,11	2,27	1,93	2,61	2,18
Ago.	2,90	2,12	3,70	2,37	2,99	2,22	3,21	2,37
Set.	3,29	2,65	4,00	2,78	3,29	2,58	3,64	2,83
Out.	3,94	3,23	4,26	3,19	3,65	3,16	3,73	3,37
Nov.	4,07	3,74	4,57	3,61	4,04	3,58	3,96	3,82
Dez.	4,23	4,16	4,93	4,13	4,86	4,33	4,52	4,26

pelos métodos de Penman ( $ETP_p$ ) e de Thornthwaite ( $ETT_h$ ), estão na tabela 7.

Os gráficos das figuras 1, 2, 3 e 4, construídos a partir dos valores da evapotranspiração potencial da tabela 7, mostram que o método de Thornthwaite subestimou a ETP em relação ao de Penman. Mostram ainda que, no período de julho a janeiro, a relação entre os valores obtidos pelos dois métodos diferem da relação no período de fevereiro a junho.

Idêntico procedimento foi adotado também para os métodos de HOLDRIDGE (7) e de LINACRE (8), porém, foram abandonados já que o de Thornthwaite foi o que melhor se correlacionou com o de Penman.

As correlações estabelecidas entre os valores da evapotranspiração obtidos pelas fórmulas de Penman e de Thornthwaite para esses períodos separadamente e para os quatro locais se traduziram pelas equações:

$$ETP_p = 0,907 ETT_h + 0,935 \quad - \text{ julho a janeiro} \quad (A)$$

$$ETP_p = 1,116 ETT_h - 0,087 \quad - \text{ fevereiro a junho} \quad (B)$$

Onde:

$ETP_p$  = evapotranspiração potencial média mensal em mm/dia ajustada ao método de Penman.

$ETT_h$  = evapotranspiração potencial média mensal em mm/dia obtida pela fórmula de Thornthwaite.

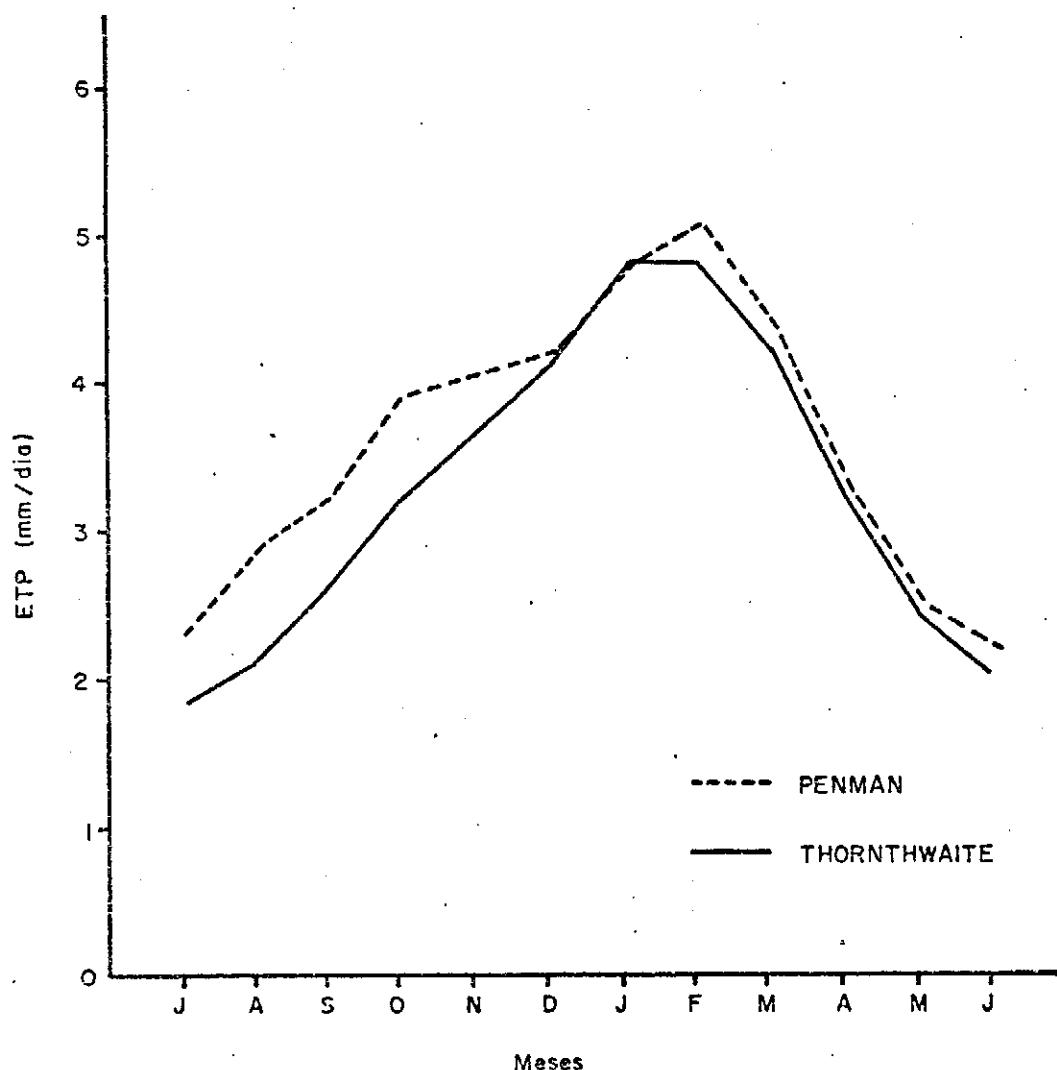


Fig. 1 — Comparação dos valores médios mensais da ETP calculados pelos métodos de Penman e de Thornthwaite em Cachoeiro de Itapemirim.

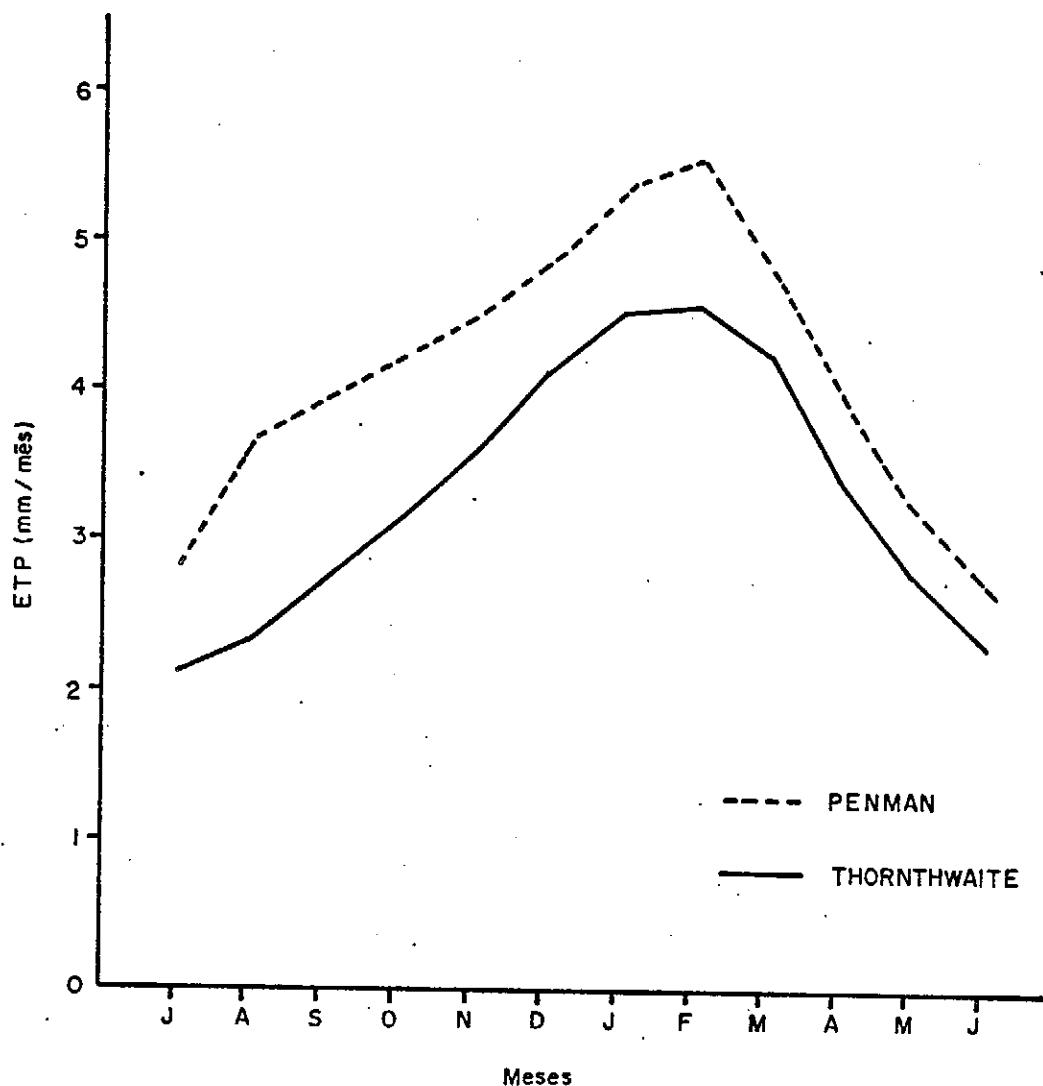


Fig. 2 — Comparação dos valores médios mensais da ETP calculados pelos métodos de Penman e de Thornthwaite em Vitória.

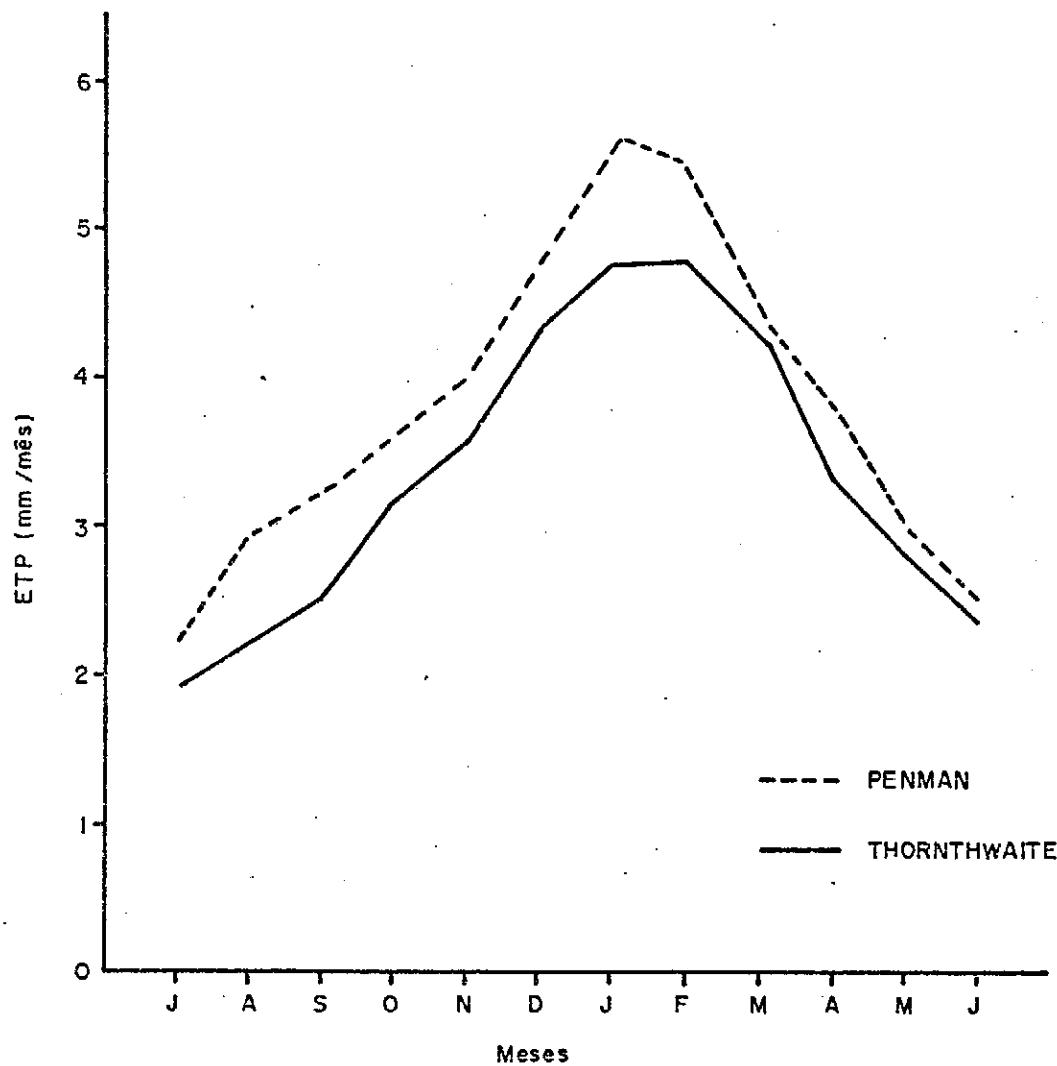


Fig. 3 — Comparação dos valores médios mensais da ETP calculados pelos métodos de Penman e de Thornthwaite em Linhares.

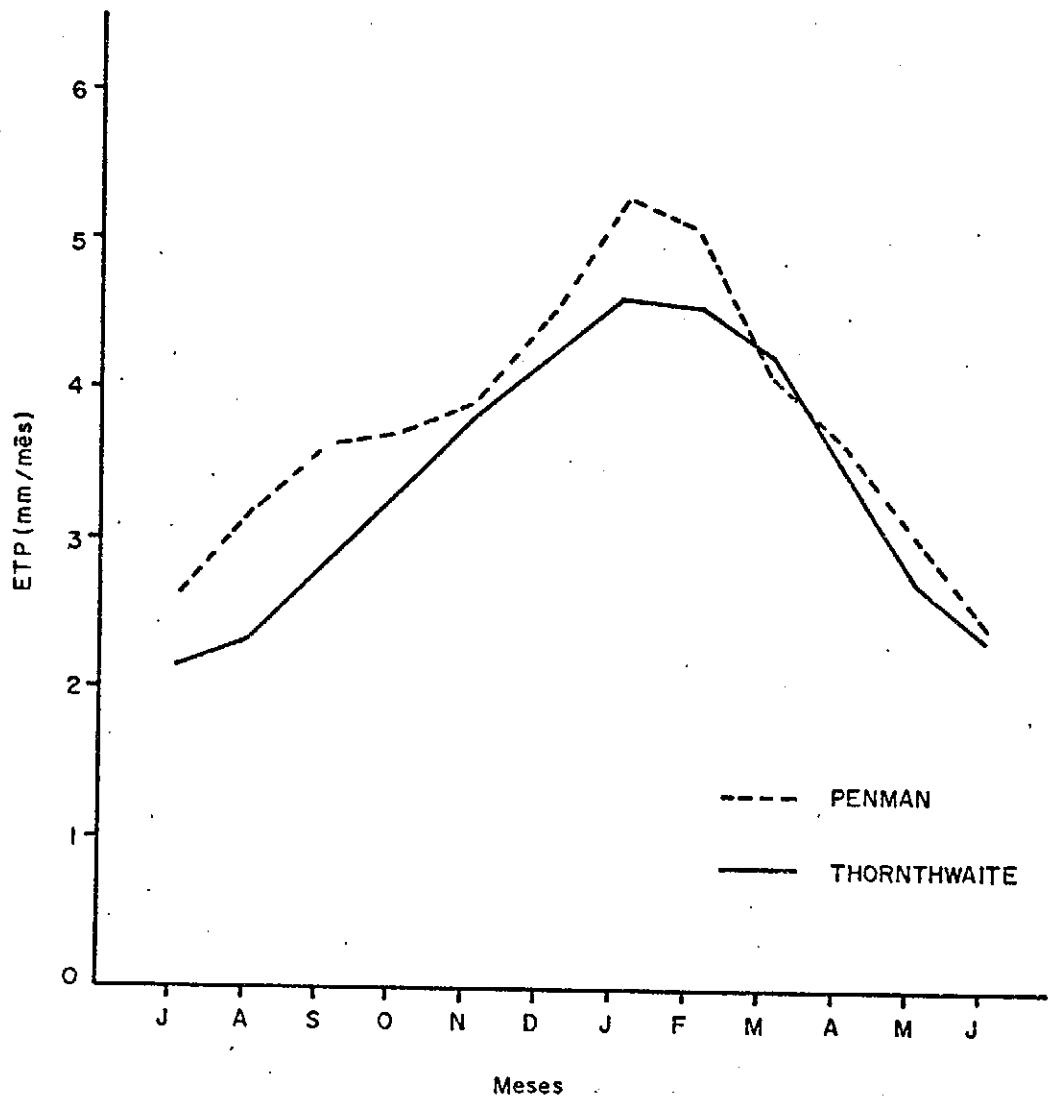


Fig. 4 — Comparação dos valores médios mensais da ETP calculados pelos métodos de Penman e de Thornthwaite em Conceição da Barra.

O coeficiente de variação (CV) e de regressão ( $r^2$ ) foram 8,28% e 0,88%, respectivamente, para a equação (A) e 6,51% e 0,95% para a equação (B).

Na tabela 8 estão os locais do Estado e respectivas coordenadas geográficas, para os quais se calculou, utilizando-se temperaturas médias mensais estimadas, a evapotranspiração potencial pela fórmula de Thornthwaite (ET<sub>Th</sub>), cujos valores foram usados nas equações (A) e (B), obtendo-se a "evapotranspiração potencial ajustada ao método de Penman" (ET<sub>P</sub>).

Os valores da evapotranspiração potencial "ajustada" (ET<sub>P</sub>) para esses locais encontram-se na tabela 9.

Acredita-se que os valores da evapotranspiração potencial encontrados mediante o procedimento adotado se aproximam mais dos reais do que os obtidos pela aplicação simples de um método empírico baseado apenas na temperatura, dada a melhor base teórica e consequente maior universalidade da fórmula de Penman, quando comparada com os métodos empíricos mais simples.

#### SUMMARY

#### ESTIMATION OF POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION TO ESPÍRITO SANTO STATE

Due to the great importance of evapotranspiration as

a component of the hidrological cicle, mainly for agricultural purposes, the monthly potential evapotranspiration (PET) in mm/day, was estimated by the Penman's and Thornthwaite's methods, from normal climatological data, for four sites, in the Espírito Santo State, where the measured parameters made possible the use of the Penman's method.

The PET figures obtained by the two methods were correlated for two different periods in the year and the regression equations obtained were:

$$PET_p = 0.907 PET_t + 0.935 \quad - \text{July to January} \quad (\text{A})$$

$$PET_p = 1.116 PET_t + 0.087 \quad - \text{February to June} \quad (\text{B})$$

where:

$PET_p$  = monthly average potential evapotranspiration ,  
in mm/day, by the Penman's method.

$PET$  = monthly average potential evapotranspiration,  
in mm/day, by the Thorntwaite's method.

From the monthly mean temperatures, the PET was estimated for 65 other sites in the Espírito Santo State and, by using the equations (A) and (B), they were transformed into figures that were called "potential evapotranspiration fitted to the Penman's method". It is believed that the

new values of PET<sub>g</sub> thus obtained are more realistic because of the best theoretical basis of the Penman's method when compared with Thornthwaite's method.

TABELA 8 - Locais do Estado do Espírito Santo e respectivas coordenadas para os quais se determinou a "evapotranspiração potencial ajustada ao método de Penman".

Município	Local	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Alfredo Chaves	Sede	20°38'	40°45'	100
	Matilde	20°36'	40°50'	515
Alegre	Ribe	20°44'	41°029'	127
	Ibitirama	20°32'	41°040'	794
Apiacá	Sede - Boa Vista	21°012'	41°034'	50
	Sede	19°49'	40°017'	58
	Riacho	19°45'	40°03'	5
	Santa Cruz	19°57'	40°09'	5
Aracruz	Sede	20°48'	40°38'	6
	Sede	20°04'	41°007'	300
	Laranja da Terra	19°59'	41°003'	250
Achieta	Sede	20°55'	41°11'	76
	Sede	19°32'	41°01'	70
	Fazenda Alegria	18°31'	40°19'	180
Baixo Guardu				
Boa Esperança				

Continuação

TABELA 8 - Locais do Estado do Espírito Santo e respectivas coordenadas para os quais se determinou a "evapotranspiração potencial ajustada ao método de Penman".

Município	Local	Latitude	Altitude (m)
Barra de São Francisco	Sede	18° 45'	40°53'
Barra de São Francisco	Água Doce	18° 33'	40°59'
Conceição da Barra	Fazenda Virágão	18° 25'	39°43'
Conceição da Barra	Fazenda Klabin	18° 14'	39°54'
Conceição da Barra	Pedro Canário (Morro D'Anta)	18° 18'	39°56'
Conceição da Barra	Sede	18° 35'	39°44'
Conceição do Castelo	Sede	20° 21'	41°15'
Castelo	Sede	20° 36'	41°12'
Cachoeiro de Itapemirim	Sede - Residência Jaciguá	20° 51'	41°07'
Cachoeiro de Itapemirim	Sede	20° 42'	41°01'
Colatina	Novo Brasil	19°13'	40°36'
Colatina	Duas Bocas	20° 16'	40°28'
Cariacica	Sede	20° 22'	40°39'
Domingos Martins	Aracê	20° 23'	41°00'

## Continuação

TABELA 8 - Locais do Estado do Espírito Santo e respectivas coordenadas para os quais se determinou a "evapotranspiração potencial ajustada ao método de Pernari".

Município	Local	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Domingos Martins	Marechal Floriano	20°24'	40°37'	544
Domingos Martins	Perobas	20°17'	40°45'	640
Dores do Rio Preto	Sede	20°41'	41°51'	772
Fundão	Sede	19°56'	40°24'	41
Guaçuí	Sede	20°47'	41°41'	576
Guarapari	Sede	20°41'	41°30'	6
Itaguaçu	Itaimbé	19°39'	40°45'	70
Itarana	Sede	19°52'	40°52'	165
Itapemirim	Barra do Itapemirim	21°01'	40°49'	4
Itapemirim	Paineiras	20°58'	40°58'	40
Iúna	Sede	20°21'	41°32'	615
Iúna	Santa Cruz	20°19'	41°42'	920
Iconha	Sede	20°48'	40°48'	25
Iconha	Duas Barras	20°45'	40°53'	350
Ibiracu	Cavalinho	19°42'	40°24'	50

## Continuação

TABELA 8 - Locais do Estado do Espírito Santo e respectivas coordenadas para os quais se determinou a "evapotranspiração potencial ajustada ao método de Pennman".

Município	Local	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Linhares	Sede	19° 25'	40° 03'	30
Mimoso do Sul	Sede	21° 04'	41° 22'	67
Mimoso do Sul	São José das Torres	21° 04'	41° 14'	120
Mucurici	Sede	18° 05'	40° 35'	290
Muqui	Sede-Colégio Fazenda Monte Alegre	20° 58'	41° 21'	240
Muqui	Sede	20° 57'	41° 21'	600
Muniz Freire	Usina Fortaleza	20° 27'	41° 24'	400
Muniz Freire	Usina Fortaleza	20° 21'	41° 24'	580
Nova Venécia	Sede	18° 43'	40° 25'	80
Pancas	Sede	19° 16'	40° 51'	135
Rio Novo do Sul	Sede	20° 52'	40° 56'	80
São Gabriel da Palha	Sede	19° 01'	40° 34'	120
São Gabriel da Palha	Águia Branca	18° 59'	40° 45'	180
Santa Leopoldina	Sede	20° 06'	40° 32'	160
Santa Leopoldina	Santa Maria de Jetibá	20° 05'	40° 45'	710
Santa Leopoldina	Garrafão	20° 08'	40° 51'	940

## Continuação

TABELA 8 - Locais do Estado do Espírito Santo e respectivas coordenadas para os quais se determinou a "evapotranspiração potencial ajustada ao método de Penman".

Município	Local	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Santa Tereza	Museu de Biologia	19°05'56"	40°03'51"	550
Santa Tereza	São João de Petrópolis (Colégio Agrícola)	19°04'49"	40°04'1"	149
São Mateus	Sede	18°04'31"	39°05'2"	30
São Mateus	Itauninhas	18°02'8"	40°00'7"	90
São Mateus	Barra Seca	18°05'9"	40°00'8"	70
São José do Calçado	Sede	21°00'2"	41°03'9"	150
Serra	Fazenda Fonte Limpa	20°01'2"	40°01'8"	70
Viana	Faz. Experimental de Jucuruaba	20°02'5"	40°03'3"	80
Vitória	Sede	20°01'6"	40°01'8"	8

TABELA 9 - Evapotranspiração potencial média mensal "ajustada ao método de Penman" em mm/dia.

Município	Local	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maiô	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Alfredo Chaves	Sede	5,15	5,06	4,51	3,60	2,77	2,32	2,73	2,96	3,33	3,80	4,30	4,74
Alfredo Chaves	Matilde	4,35	3,99	3,58	2,81	2,12	1,73	2,31	2,54	2,98	3,42	3,76	4,03
Alegre	Ribe	5,11	4,95	4,35	3,32	2,44	1,97	2,50	2,84	3,34	3,87	4,31	4,66
Alegre	Ibitirama	3,99	3,55	3,17	2,54	1,93	1,57	2,19	2,40	2,81	3,21	3,51	3,71
Apiaçá	Sede	5,36	5,17	4,56	3,47	2,50	2,07	2,58	2,89	2,42	4,00	4,43	4,88
Aracruz	Sede	5,06	4,95	4,56	3,67	2,94	2,44	2,82	2,99	3,37	3,82	4,29	4,69
Aracruz	Riacho	5,06	4,95	4,56	3,67	2,94	2,47	2,79	3,00	3,38	3,78	4,29	4,69
Aracruz	Santa Cruz	5,06	5,00	4,60	3,76	2,94	2,47	2,87	2,96	3,37	3,78	4,29	4,69
Anchieta	Sede	5,02	4,95	4,56	3,64	2,88	2,42	2,79	2,98	3,33	3,73	4,18	4,65
Afonso Cláudio	Sede	4,73	4,44	3,98	3,09	2,31	1,89	2,45	2,70	3,21	3,72	4,15	4,43
Afonso Cláudio	Laranjada												
Atílio Vivacqua	Sede	5,12	5,01	4,32	3,42	2,57	2,16	2,63	2,92	3,28	3,73	4,22	4,64
Baixo Guandu	Sede	5,29	5,20	4,56	3,54	2,60	2,11	2,59	2,91	3,50	4,15	4,61	4,93
Boa Esperança	Faz. Alegria	5,45	5,30	4,75	3,75	2,75	2,25	2,69	2,98	3,62	4,39	4,84	5,19
B.de S. Francisco	Sede	5,35	5,18	4,01	3,26	2,17	1,89	2,43	2,89	3,32	4,06	4,48	4,82
B.de S. Francisco	Água Doce	4,88	4,57	4,15	3,28	2,44	2,00	2,52	2,79	3,31	4,03	4,38	4,63
Conc. da Barra	Faz. Virágão	5,06	4,96	4,59	3,86	3,09	2,62	2,91	3,04	3,47	3,94	4,38	4,78
Conc. da Barra	Faz. Klabin	5,12	4,96	4,44	3,70	2,88	2,47	2,80	3,03	3,43	3,96	4,39	4,74
Conc. da Barra	Pedro Canário (Morro D'Anta)	5,07	4,90	4,40	3,66	2,86	2,45	2,79	3,01	3,44	3,93	4,36	4,71

## Continuação

TABELA 9 - Evapotranspiração potencial média mensal "ajustada ao método de Penman" em mm/dia.

Município	Local	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Cenc. da Barra <sup>1</sup>	Sede	5,39	5,10	4,17	3,71	3,04	2,46	2,61	3,21	3,64	3,73	3,96	4,52
Conc. do Castelo	Sede	4,25	3,83	3,44	2,71	2,04	1,69	2,29	2,50	2,95	3,36	3,72	3,94
Castelo	Sede	5,16	5,01	4,42	3,37	2,49	2,06	2,55	2,86	3,37	3,93	4,40	4,75
Cach. de Itapemirim <sup>1</sup>	Sede-Residência	4,74	5,08	4,40	3,33	2,58	2,22	2,30	2,90	3,29	3,94	4,07	4,23
Cach. de Itapemirim	Jaciguá	4,38	4,02	3,61	2,78	2,12	1,74	2,32	2,55	2,99	3,42	3,76	4,06
Colatina	Sede.	5,39	5,23	4,64	3,62	2,62	2,16	2,65	2,92	3,52	4,17	4,69	4,99
Colatina	Novo Brasil	5,12	4,90	4,37	3,41	2,52	2,04	2,55	2,90	3,42	4,03	4,52	4,75
Cariacica	Duas Bocas	4,84	4,58	4,10	3,16	2,38	1,94	2,47	2,70	3,22	3,74	4,18	4,45
Domingos Martins	Sede	4,38	4,03	3,26	2,85	2,15	1,74	2,35	2,56	3,00	3,45	3,79	4,06
Domingos Martins	Arace <sup>2</sup>	3,88	3,43	3,09	2,48	1,85	1,44	2,11	2,30	2,80	3,10	3,38	3,63
Domingos Martins	N. Floriano	4,32	3,96	3,52	2,80	2,00	1,72	2,31	2,51	2,98	3,38	3,75	3,98
Domingos Martins	Pero das	4,07	3,63	3,26	2,52	1,97	1,60	2,21	2,40	2,84	3,25	3,55	3,76
D. do Rio Preto	Sede	4,03	3,61	3,24	2,56	1,96	1,59	2,21	2,41	2,83	3,23	3,54	3,75
Fundão	Sede	5,03	4,89	4,46	3,61	2,85	2,40	2,77	2,97	3,37	3,77	4,12	4,66
Guaçuí	Sede	4,25	3,86	3,44	2,70	2,04	1,80	2,28	2,50	2,95	3,36	3,68	3,94
Guarapari	Sede	5,02	4,95	4,41	3,64	2,92	2,42	2,81	3,01	3,33	3,73	4,23	4,65
Itaguaçu	Itaimbezinho	5,16	4,95	4,41	3,44	2,51	2,07	2,57	2,85	3,44	4,03	4,52	4,79
Itarana	Sede	5,03	4,80	4,29	3,39	2,46	2,02	2,53	2,80	3,35	3,95	4,38	4,68
Itaremirim	B. do Itapemirim	5,06	4,95	4,56	3,67	2,94	2,47	2,82	3,00	3,38	3,78	4,25	4,69
Itapemirim	Paineiras	5,11	5,06	4,56	3,60	2,77	2,32	2,74	2,96	3,33	3,76	4,23	4,70
Iúna	Sede	4,16	3,76	3,35	2,67	2,03	1,65	2,26	2,29	2,91	3,33	3,65	3,86
Iúna	Sta. Cruz	3,86	3,42	3,07	2,45	1,82	1,53	2,11	2,32	2,74	3,02	3,39	3,61

## Continuação

TABELA 9 - Evapotranspiração potencial mensal "ajustada ao método de Penman" em mm/dia.

Município	Local	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Iconha	Sede	5,11	5,00	4,56	3,60	3,10	2,39	2,76	2,96	3,33	3,73	4,23	4,65
Iconha	Duas Barras	4,64	4,34	3,84	3,00	2,26	1,84	2,40	2,65	3,10	3,58	3,96	4,25
Ibiraguá	Cavalinho	5,11	5,00	4,31	3,48	2,65	2,31	2,68	3,94	3,40	3,95	4,31	4,66
Linhares <sup>1</sup>	Sede	5,60	5,47	4,36	3,77	2,98	2,47	2,27	2,99	3,29	3,65	4,04	4,86
Mimoso do Sul	Sede	5,32	5,11	4,51	3,44	2,52	2,04	2,57	2,88	3,41	3,94	4,39	4,85
Mimoso do Sul	S.J.Torres (Posto Caju)	5,13	4,96	4,32	3,45	2,64	2,25	2,68	2,91	3,33	3,81	4,25	4,69
Mucurici	Sede	4,95	4,66	4,19	3,37	2,49	2,04	2,53	2,79	3,40	4,07	4,47	4,69
Nuqui	Sede-Colegio	4,84	4,62	4,09	3,15	2,35	1,92	2,48	2,73	3,22	3,70	4,10	4,45
Nuqui	Faz.M.Alegre	4,23	3,84	3,42	2,69	2,04	1,67	2,26	2,50	2,92	3,32	3,65	3,89
Huniz Freire	Sede	4,56	4,24	3,81	2,99	2,67	1,84	2,41	2,51	2,93	3,33	3,72	4,06
Huniz Freire	Us.Fortaleza	4,33	3,95	3,51	2,79	2,11	1,71	2,30	2,54	2,98	3,43	3,76	4,03
Nova Venécia	Sede	5,31	5,12	4,60	3,64	2,68	2,19	2,66	2,93	3,55	4,29	4,73	5,01
Pancas	Sede	5,12	4,90	4,37	3,41	2,51	2,04	2,54	2,82	3,41	4,06	4,46	4,98
Rio Novo do Sul	Sede	4,98	4,85	4,38	3,46	2,74	2,30	2,72	2,94	3,30	3,69	4,09	4,56
S.G. da Palha	Sede	5,20	4,95	4,46	3,47	2,57	2,08	2,59	2,86	3,46	4,13	4,54	4,84
S.G. da Palha	Águia Branca	5,08	4,86	4,37	3,43	2,54	2,11	2,58	2,87	3,43	4,10	4,50	4,76
Sta Leopoldina	Sede	5,03	4,85	4,28	3,42	2,61	2,22	2,68	2,92	3,31	3,73	4,17	4,57
Sta Leopoldina	S.Ma de Jetibá	4,18	3,75	3,36	2,68	2,03	1,65	2,26	2,46	2,89	3,34	3,62	3,86
Sta Leopoldina	Garrafão	3,84	3,36	3,03	2,42	1,85	1,52	2,14	2,31	2,72	3,11	3,37	3,59
Sta Terezinha	Museu	4,17	3,75	3,37	2,68	2,03	1,63	2,26	2,46	2,90	3,34	3,62	3,85

Continuação

TABELA 9 - Evapotranspiração potencial média mensal "ajustada" ao método de Penman<sup>i</sup> em mm/dia.

Município	Local	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Stª Terezinha	S.J.de Petrópolis (Col.Agrícola)	5,03	4,80	4,29	3,32	2,46	2,00	2,54	2,79	3,36	3,92	4,33	4,62
São Mateus	Sede	5,43	5,28	4,70	3,69	2,70	2,19	2,68	2,92	3,60	4,32	4,75	5,04
São Mateus	Itaúnhicas	5,26	5,01	4,54	3,61	2,66	2,18	2,65	2,89	3,53	4,25	4,68	4,96
São Mateus	Barra Seca	5,26	5,07	4,56	3,57	2,62	2,18	2,63	2,90	3,50	4,18	4,60	4,93
São J. do Calçado	Sede	4,98	4,71	4,18	3,21	2,36	1,92	2,48	2,77	3,25	3,77	4,19	4,56
Serra	Faz.Fonte Limpa	5,11	5,00	4,56	3,67	2,87	2,41	2,78	2,98	3,36	3,79	4,25	4,66
Viana	Faz. Exp. de Jucuruaba	5,15	5,06	4,56	3,64	2,77	2,31	2,73	3,00	3,36	3,83	4,25	4,71
Vitoria <sup>1</sup>	Sede	5,43	5,62	4,87	3,98	3,29	2,79	2,87	3,70	4,00	4,26	4,57	4,93

<sup>i</sup>Valores obtidos pela aplicação direta do método de Penman.

## LITERATURA CITADA

- 1 BERLATO, M.A. & MOLION, C.B.L. Evaporação e evapotranspiração. Porto Alegre-RS, Instituto de Pesquisas Agro-nómicas, 1981. (IPAGRO - Boletim Técnico, 7).
- 2 BERNARDO, S. Relação solo-água-clima e planta. Viçosa, UFV, 1977. 29p. (UFV - Boletim de Extensão, 6).
- 3 CAMARGO, A.P. de. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. Bragantia, 21 (12): 164-213, fev. 1962.
- 4 CAMARGO, A.P. de. & PEREIRA, A.R. A evapotranspiração potencial segundo Thornthwaite. Campinas-SP, Instituto Brasileiro do Café, s.d. 9p. (mimeografado).
- 5 DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. Crop water requirements. Roma, FAO, 1975. 179p. (FAO - Irrigation and Drainage paper, 24).

- 6 FEITOZA, L.R.; SCARDUA, J.A.; SEDIYAMA, G.C.; OLIVEIRA, L.M. & VALLE, S.S. Estimativas das temperaturas médias mensais e anual do Estado do Espírito Santo. Centro Ciênc. Rur., Santa Maria-RS, 9(3): 279-91, 1979.
- 7 HOLDRIDGE, L.R. Simple method for determining potential evapotranspiration from temperature data. Science, 130: 572, 1959.
- 8 LINACRE, E.T. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates using temperature data alone. Agric. Meteor., 18: 409-24, 1977.
- 9 PENMAN, H.L. Evaporation, transpiration and evapotranspiration. In: VEGETATION and Hydrology. Farnham Royal, Comm. Agric. Bureaux. 1963. p.30-50 (Cab-Tech. Com., 53).
- 10 PRUITT, W.O. & DOORENBOS, J. Empirical calibration, a requisite for evapotranspiration formula based on daily or longer climatic data. In: INTERNATIONAL ROUND TABLE CONFERENCE ON EVAPOTRANSPIRATION, Budapest, 1977. Budapest international comission on irrigation and drainage 1977. p: 1-20. (ICID - Question, 3).

- 11 RIETVELD, M.R. A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine. Agric. Meteor., 19: 243 - 52, 1978.
- 12 SALATI, E.; CERVELINE, A.; VILLA NOVA, N.A.; OMETTO, J. C.; SANTOS, J.M. dos & GODOY, C.R.M. Estimativa da radiação solar que atinge uma área horizontal unitária, admitindo-se a ausência da atmosfera. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura/Serviço de Meteorologia, 1967p. (Serviço de Meteorologia - Boletim Técnico, 6).
- 13 SCARDUA, J.A. Ocorrência de dias secos consecutivos na região de Cachoeiro de Itapemirim, Estado do Espírito Santo. Piracicaba, ESALQ/USP, 1979. 76p. Tese de Mestrado.