

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



**EMCAPA**

Empresa Capixaba de Pesquisa Agropecuária

Vinculada à Secretaria do Estado da Agricultura

BOLETIM DE PESQUISA Nº 6

ISSN 0101 - 9260

Abril/1984

ESTIMATIVAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PARA  
O ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

José Altino Scardua  
Leandro Roberto Feitoza  
Lúcio Lívio F. de Castro



EMCAPA

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

EMPRESA CAIXABA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMCAPA  
Caixa Postal 391  
29.000 - Vitoria (ES)  
BRASIL

551.572 SCARDUA, J.A.; FEITOZA, L.R. & CASTRO, L.L.F.  
S 285 e de. Estimativas da evapotranspiração po-  
1984 tencial para o Estado do Espírito Santo.  
Cariacica-ES, EMCAPA, 1984. 42 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 Capixa-  
ba de Pesquisa Agropecuária, Cariacica-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 .....	39
LITERATURA CITADA .....	40

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 F. 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:

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

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

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

<sup>2</sup>Pesquisador MSC - EMCAPA, Bolsista CNPq

<sup>3</sup>Pesquisador MSC - EMCAPA

onde:

ETP<sub>p</sub> = evapotranspiração potencial média mensal em mm/dia  
obtida pelo método de Penman

ETTh = 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 da ETP e denominados 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 a 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

severidade, distribuição e freqüência dos déficits hídricos, 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 constituirem 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 em

píricos 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 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 -30 m a 2.774 m 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 960 m de altitude e 2°S de latitude e para SOUTH PARK - Colorado, a 2.774 m de altitude e latitude de 39°N. Quando foram considerados os valores de todos os locais numa única regressão para cada método, o método de Thornthwaite 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, como é o caso do método de Penman ou de outros métodos que combinam o balanço de energia com algum parâmetro aerodinâmico". SCARDUA (13), analisando resultados de desempenho dos métodos empíricos, obtidos por diversos autores em diferentes condições de clima, concluiu que as estimativas mais precisas da evapotranspiração potencial têm sido obtidas 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, Pindamonhangaba e Ribeirão Preto, encontrou que o

método de Thornthwaite apresentou a melhor correlação com os dados medidos. 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 Sedyiamma 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. Entre tanto, 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 superfície 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, permitindo-se 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 do 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:

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

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

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:

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

Onde:

$\text{ETP}_p$  = evapotranspiração potencial média mensal em mm/dia.

$\Delta$  = tangente à curva de saturação de vapor d'água, do ar em  $\text{mmHg}/^{\circ}\text{C}$ , dada por:

$$\Delta = \frac{d \text{ Es}}{d T}$$

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

Onde:

$E_s$  = pressão de saturação de vapor d'água à temperatura média do ar  $T$ , ( $^{\circ}\text{C}$ ), em  $\text{mm Hg}$ .

$e$  = base dos logaritmos naturais

Derivando, encontra-se:

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

$\gamma$  = constante psicrométrica, em  $\text{mmHg}/^{\circ}\text{C}$  dada por:

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

Onde:

$c_p$  = calor específico do ar a pressão constante ( $0,28 \text{ cal/g. } ^{\circ}\text{C}$ );

$P$  - pressão barométrica média, medida no posto, em  $\text{mmHg}$ ;

$L$  - calor latente de vaporização de água ( $590 \text{ cal/g.}$ )

$R_n$  = 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 extra terrestre 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).

$\tau$  = 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 obtido 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 do 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:

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

Onde:

$ETTh^*$  = 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 de 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 pelos métodos de Penman ( $\text{ETP}_p$ ) e de Thornthwaite ( $\text{ETT}_h$ ), estão na Tabela 7.

TABELA 3 - Normais climatológicas de pressão barométrica(P); Temperatura(T); Umidade Relativa(UR), Insolação(n); Insolação Máxima(N); Radiação Extra Terrestre - direta(Q<sub>O</sub>) e Velocidade do Vento a 2m(V), para Cachoeiro do Itapemirim.

Meses	P (mm Hg)	T (°C)	UR (%)	n (hs e dec)	N (hs e dec)	Q <sub>O</sub> (cal/cm <sup>2</sup> )	V (Km/dia)
Jan	756	26,1	78	6,0	13,2	1038	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
Mai	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	1020	238
Dez	756	24,8	80	4,9	13,3	1054	217

TABELA 4 - Normais climatológicas de pressão barométrica(P); Temperatura(T); Umidade Relativa(UR); Insolação(n); Insolação Máxima(N); Radiação Extra Terrestre (Q<sub>O</sub>) e Velocidade do Vento a 2m(V), para Vitória.

Meses	P (mm Hg)	T (°C)	UR (%)	n (hs.e dec.)	N (hs.e dec.)	Q <sub>O</sub> (cal/cm <sup>2</sup> ) dia	V (Km/dia)
Jan	756	25,8	80	7,62	13,2	1038	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
Mai	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	1020	375
Dez	756	24,8	80	5,70	13,1	1054	379

TABELA 5 - Normais climatológicas de pressão barométrica(P); Temperatura(T); Unidade Relativa(UR); Insolação(n); Insolação Máxima(N); Radiação Extra Terrestre (Q<sub>O</sub>) e Velocidade do Vento a 2m(V), para Linhares.

Meses	P (mm Hg)	T ( C )	UR ( % )	n (hs.e dec.)	N (hs.e dec.)	Q <sub>O</sub> (cal/cm <sup>2</sup> )	V (Km/dia)
Jan	758	26,1	82	8,87	13,2	1038	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
Mai	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	1020	394
Dez	757	25,2	84	6,23	13,3	1054	385

TABELA 6 - Normais climatológicas de pressão barométrica(P); Temperatura(T); Umidade Relativa(UR); Insolação(n); Insolação Máxima(IN); Radiação Extra Terrestre (Qo) e Velocidade do Vento a 2m(V), para Conceição da Barra.

Meses	P (mm Hg)	T (C)	UR (%)	n (hs.e dec.)	N (hs.e dec.)	$Q_o$ (cal/cm <sup>2</sup> )	V dia (km/dia)
Jan	759	25,9	83	8,87	13,2	1026	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
Mai	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	1008	346
Dez	758	25,1	85	6,23	13,3	1026	325

TABELA 7 - Evapotranspiração potencial média mensal, em mm/dia, calculada pelos métodos de Penman ( $ETP_p$ ) e de Thornthwaite ( $ETTh$ ). 24

Meses	Cachoeiro do Itapemirim			Vitória			Linhares			Conceição da Barra	
	$ETP_p$	$ETTh$	$ETP_p$	$ETTh$	$ETP_p$	$ETTh$	$ETP_p$	$ETTh$	$ETP_p$	$ETTh$	
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			

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 junho 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:

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

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

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.

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

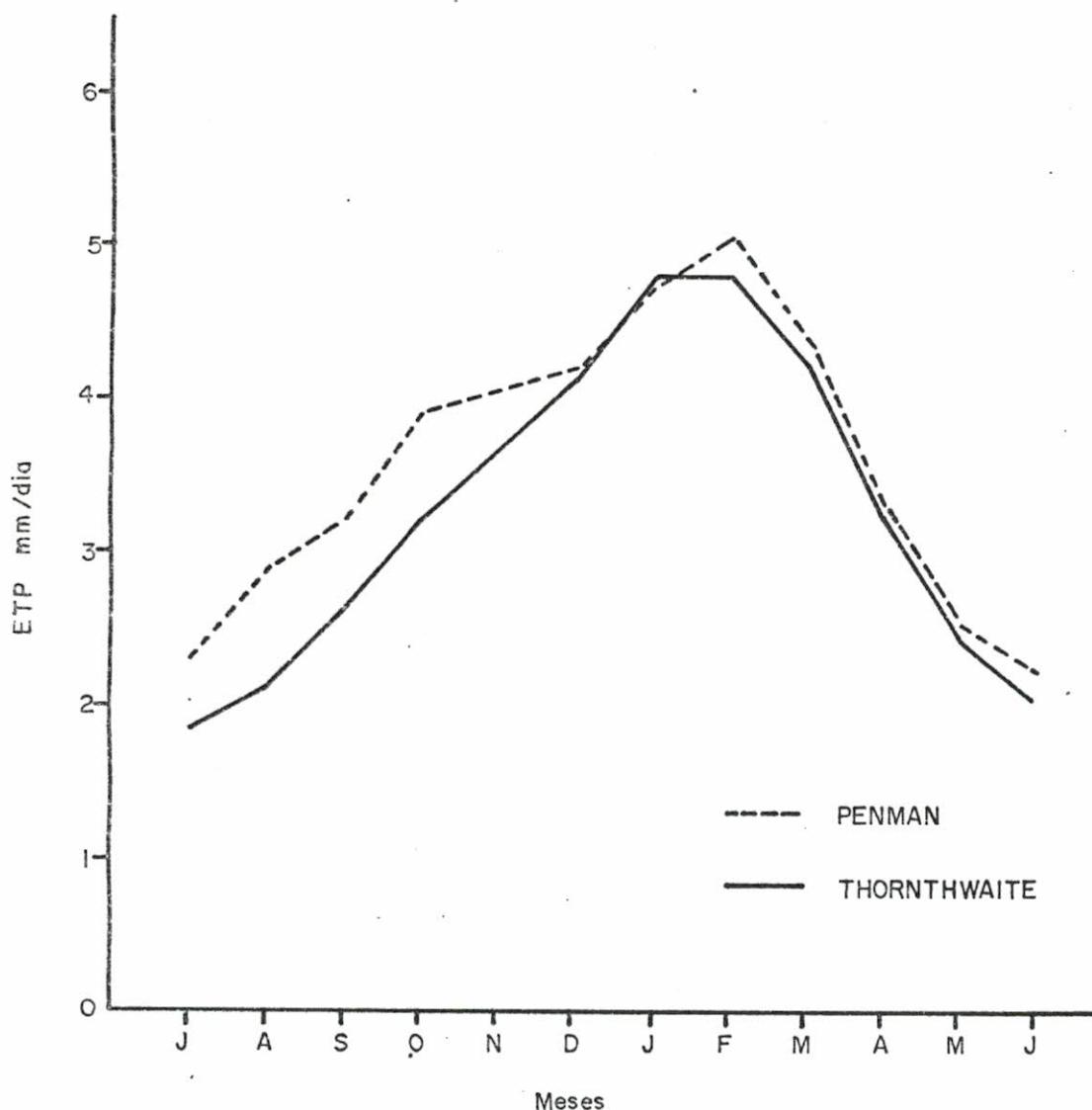


Fig. 1—Comparação dos valores médios mensais da ETP calculados pelos métodos de Penman e de Thornthwaite em Cachoeiro de Itapemirim.

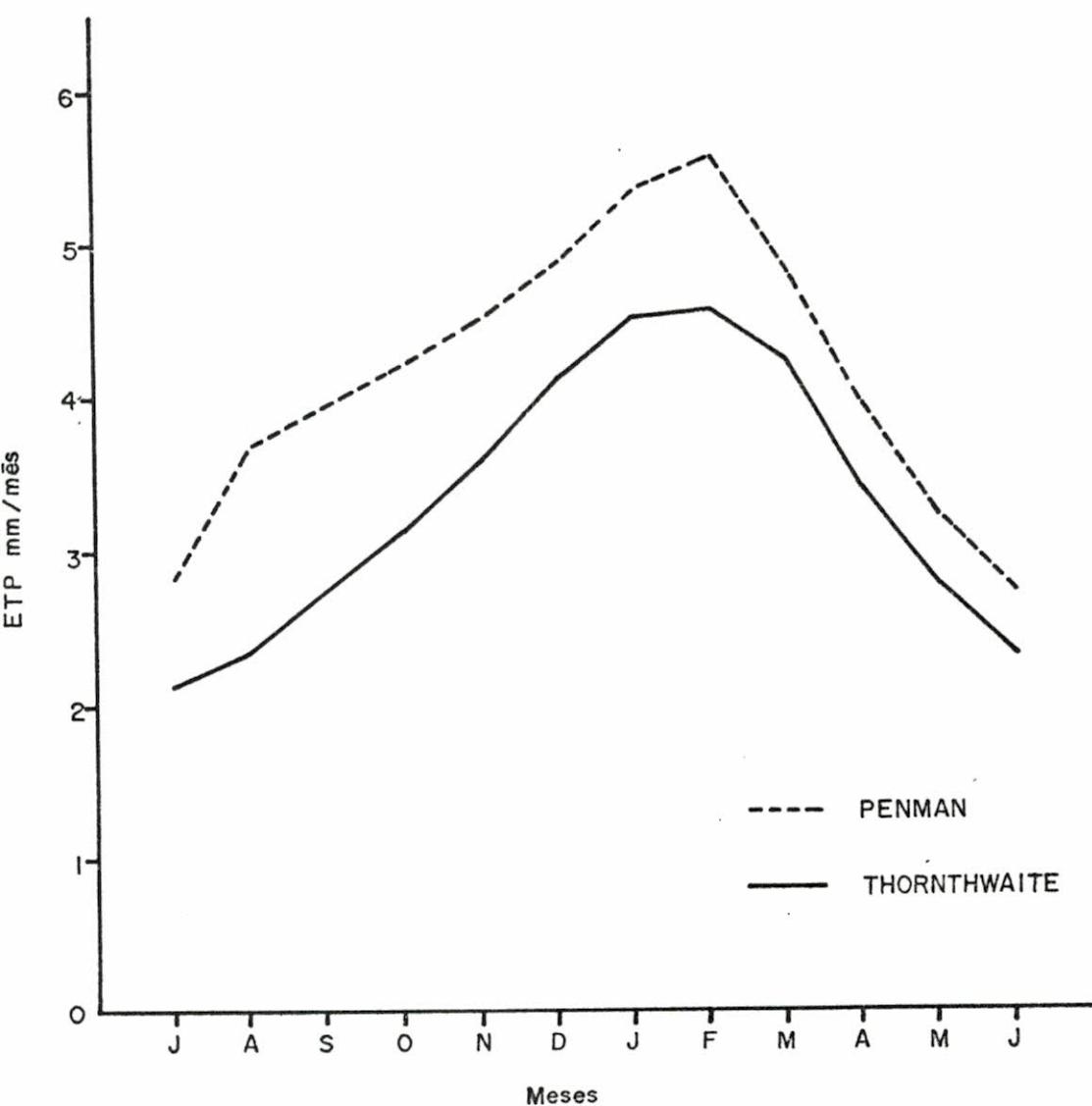


Fig. 2 — Comparação dos valores médios mensais da ETP calculados pelos métodos de Penman e Thornthwaite em Vitória.

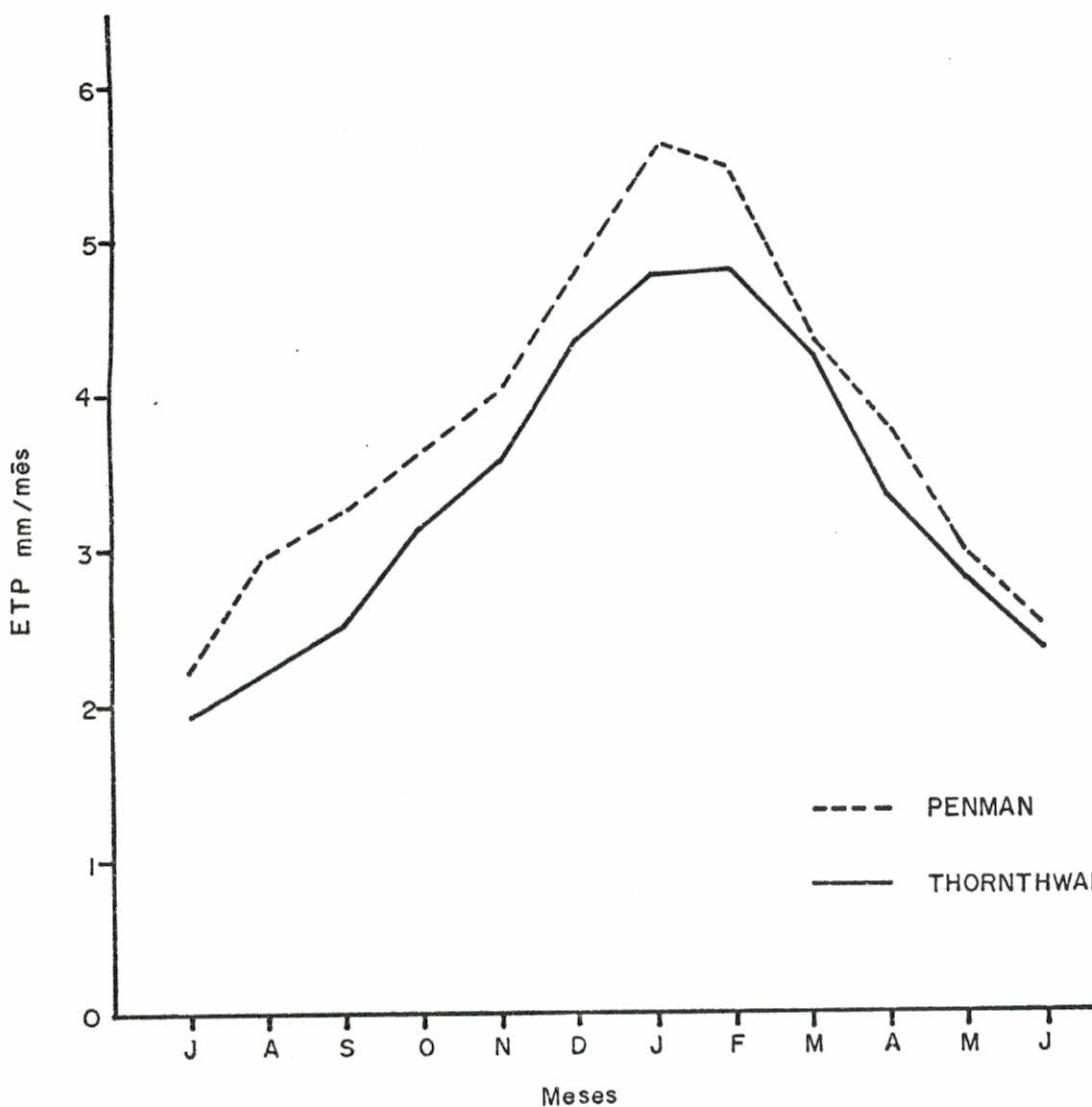


Fig. 3—Comparação dos valores médios mensais da ETP calculados pelos métodos de Penman e Thornthwaite em Linhares.

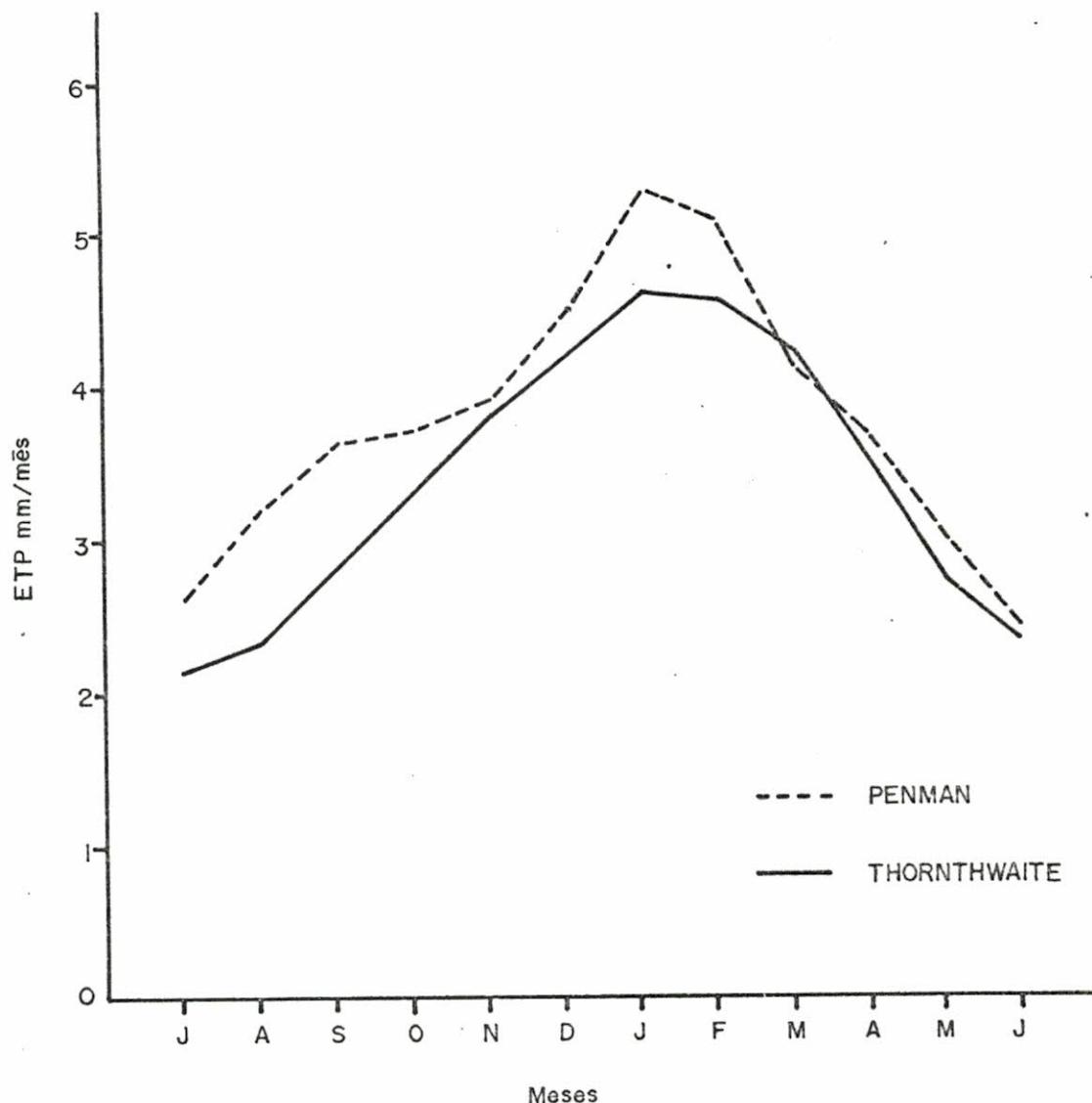


Fig. 4 — Comparação dos valores médios mensais da ETP calculados pelos métodos de Penman e Thornthwaite em Conceição da Barra.

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 evapo-transpiração potencial pela fórmula de Thornthwaite(ETTh), cujos valores foram usados nas equações (A) e (B), obtendo-se a "evapotranspiração potencial ajustada ao método de Penman", ( $ETP_p$ ).

Os valores da evapotranspiração potencial "ajustada" ( $ETP_p$ ) 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 conseqüente maior universalidade da fórmula de Penman, quando comparada com os métodos empíricos mais simples.

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
Alfredo Chaves	Sede	20° 38'	40° 45'	100,
Alfredo Chaves	Matilde	20° 36'	40° 50'	515,
Alegre	Ribe	20° 44'	41° 29'	127,
Alegre	Ibitirama	20° 32'	41° 40'	794,
Apiaçá	Sede - Boa Vista	21° 12'	41° 34'	50,
Aracruz	Sede	19° 49'	40° 17'	58,
Aracruz	Riacho	19° 45'	40° 03'	5,
Aracruz	Santa Cruz	19° 57'	40° 09'	5,
Anchieta	Sede	20° 48'	40° 38'	6,
Afonso Cláudio	Sede	20° 04'	41° 07'	300,
Afonso Cláudio	Laranja da Terra	19° 59'	41° 03'	250,
Atílio Vivacqua	Sede	20° 55'	41° 11'	76,
Baixo Guandú	Sede	19° 32'	41° 01'	70,
Boa Esperança	Fazenda Alegria	18° 31'	40° 19'	180,
Barra de S.Francisco	Sede	18° 45'	40° 53'	192,
Barra de S.Francisco	Água Doce	18° 33'	40° 59'	280,
	Cont.	.....		

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

MUNICÍPIO	LOCAL	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE
Conceição da Barra	Fazenda Viração	18° 25'	39° 43'	10,
Conceição da Barra	Fazenda Klabim	18° 14'	39° 54'	40,
Conceição da Barra	Pedro Canário (Morro D'Anta)	18° 18'	39° 56'	66,
Conceição da Barra	Sede	18° 35'	39° 44'	3,
Conceição do Castelo	Sede	20° 21'	41° 15'	600,
Castelo	Sede	20° 36'	41° 12'	107,
Cachoeiro do Itapemirim	Sede - Residência	20° 51'	41° 07'	21,
Cachoeiro de Itapemirim	Jaciguá	20° 42'	41° 01'	580,
Colatina	Sede	19° 32'	40° 37'	40,
Colatina	Novo Brasil	19° 13'	40° 36'	170,
Cariacica	Duas Bocas	20° 16'	40° 28'	200,
Domingos Martins	Sede	20° 22'	40° 39'	452,
Domingos Martins	Aracê	20° 23'	41° 00'	950,
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,
	Cont.	.....		

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
Fundão	Sede	19° 56'	40° 24'	41,
Guagúi	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,
Ibiragu	Cavalinho	19° 42'	40° 24'	50,
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,
	Cont.	.....		

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
Mucurici	Sede	18° 05'	40° 35'	290,
	Sede - Colégio	20° 58'	41° 21'	240,
	Fazenda Monte Alegre	20° 57'	41° 21'	600,
Muniz Freire	Sede	20° 27'	41° 24'	400,
	Usina Fortaleza	20° 21'	41° 24'	580,
Nova Venécia	Sede	18° 43'	40° 25'	80,
	Sede	19° 16'	40° 51'	135,
Pancas	Sede	20° 52'	40° 56'	80,
Rio Novo do Sul	Sede	19° 01'	40° 34'	120,
São Gabriel da Palha	Sede	18° 59'	40° 45'	180,
	Aguia Branca			
Santa Leopoldina	Sede	20° 06'	40° 32'	160,
	Santa M <sup>a</sup> de Jetibá	20° 05'	40° 45'	710,
	Garrafão	20° 08'	40° 51'	940,
Santa Tereza	Museu de Biologia	19° 56'	40° 36'	550,
	São João de Petrópolis (Colégio Agrícola)	19° 49'	40° 41'	149,
	Cont. ....			

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
São Mateus	Sede	18° 43'	39° 52'	30,
São Mateus	Itauninhas	18° 28'	40° 07'	90,
São Mateus	Barra Seca	18° 59'	40° 08'	70,
São José do Calçado	Sede	21° 02'	41° 39'	150,
Serra	Fazenda Fonte Limpa	20° 12'	40° 18'	70,
Viana	Faz. Experimental de Jucuruaba	20° 25'	40° 33'	80,
Vitória	Sede	20° 16'	40° 18'	8,

TABELA 9 - Evapotranspiração potencial média anual "ajustada ao período de veraneio" em milímetros

Município	Local	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	SEPT	OCT	NOV	DEZ	
Alfredo Chaves	Sede	5,15	5,06	4,51	3,60	2,77	2,32	2,73	2,56	3,33	3,90	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
Alto Pará	Ribeiro	5,11	4,95	4,35	3,32	2,44	1,97	2,50	2,84	3,34	3,97	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	3,72
Apucarana	Sede	5,36	5,17	4,56	3,47	2,50	2,07	2,53	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	Itapachó	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	2,89	2,96	3,37	3,78	4,29	4,69
Archita	Sede	5,02	4,95	4,56	3,64	2,88	2,42	2,79	2,98	3,33	3,73	4,18	4,69
Arforço 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
Atençoso Cláudio	Laranja da Terra	4,67	4,32	3,87	3,05	2,29	1,84	2,42	2,67	3,13	3,68	4,06	4,34
Átilio Virgílio	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
Balneário Giambiá	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
Balneário Esperança	Eucena Alegria	5,30	4,75	3,75	2,75	2,25	2,69	2,98	3,62	4,39	4,84	5,19	5,50
Barra de S. Francisco	Sede	5,35	5,18	4,01	3,26	2,17	1,83	2,43	2,89	3,32	4,06	4,48	4,82
Barra de S. Francisco	Águia Doce	4,88	4,57	4,15	3,28	2,44	2,00	2,52	2,79	3,31	4,03	4,53	5,03
Conceição da Barra	Fazenda Virgem	5,06	4,96	4,59	3,86	3,69	2,62	2,91	3,04	3,47	3,94	4,38	4,76
Conceição da Barra	Fazenda Itababin	5,12	4,96	4,44	3,70	2,89	2,47	2,80	3,03	3,43	3,96	4,39	4,74
Conceição da Barra	Pedro Cañario	5,07	4,90	4,40	3,66	2,86	2,45	2,79	3,01	3,44	3,93	4,36	4,71
Conceição da Barra*	(Morro D'Anta)	5,39	5,10	4,17	3,71	3,04	2,46	2,61	3,21	3,64	3,73	3,96	4,52
Capacitação 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
Cachoeiro do Itapemirim*	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
Cachoeiro do Itapemirim	Jacioga	4,38	4,02	3,61	2,79	2,12	1,74	2,32	2,55	2,99	3,42	3,76	4,06
Cachoeira	Sede	5,39	5,23	4,64	3,62	2,62	2,16	2,65	2,92	3,52	4,17	4,69	5,00
Colatina	Sede	5,12	4,50	4,37	3,41	2,52	2,04	2,55	2,90	3,42	4,03	4,52	4,75
Caratinga	Dias Boas	4,84	4,58	4,10	3,18	2,38	1,94	2,47	2,70	3,22	3,74	4,18	4,45
Caratinga Martins	Sede	4,38	4,03	3,26	2,85	2,15	1,74	2,35	2,56	3,00	3,45	3,79	4,16

\* Valores obtidos pela aplicação direta do método de Pernas.

Cont. ....

TABELA 9 - Evaporação potencial "média mensal" ajustada ao método de Penman em meia-á

MUNICÍPIO	LOCAL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	SEP	OCT	NOV	DEZ	
Coronel Martins	Aracê	3,88	3,43	3,69	2,48	1,85	1,44	2,11	2,50	2,80	3,10	3,33	3,53
Coronel Martins	Marcelo Floriano	4,32	3,96	3,52	2,80	2,00	1,72	2,31	2,51	2,90	3,04	3,17	3,24
Coronel Martins	Perobas	4,07	3,63	3,26	2,52	1,97	1,60	2,21	2,45	2,64	2,75	2,85	2,90
Coronel Martins	Sede	4,03	3,61	3,24	2,56	1,96	1,59	2,21	2,41	2,58	2,64	2,71	2,76
Dores do Rio Preto	Sede	5,03	4,89	4,46	3,61	2,65	2,40	2,77	2,97	3,37	3,77	4,17	4,47
Fazenda São Gabriel	Sede	4,25	3,86	3,44	2,70	2,64	1,80	2,28	2,52	2,95	3,30	3,49	3,54
Guaçáspari	Sede	5,02	4,95	4,41	3,64	2,52	2,42	2,81	3,01	3,35	3,73	4,03	4,15
Itaimbé	Itaimbé	5,16	4,95	4,41	3,44	2,51	2,07	2,57	2,85	3,44	4,03	4,52	4,79
Itaéquá	Sede	5,03	4,80	4,29	3,39	2,45	2,02	2,53	2,80	3,35	3,95	4,39	4,66
Itaraci	Barra do Itapemirim	5,06	4,95	4,56	3,67	2,64	2,47	2,82	3,00	3,38	3,78	4,15	4,33
Itapemirim	Paineiras	5,11	5,06	4,56	3,60	2,77	2,32	2,74	2,96	3,33	3,70	4,13	4,72
Iurá	Sede	4,16	3,76	3,35	2,67	2,03	1,65	2,26	2,29	2,91	3,41	3,65	3,93
Ivotá	Santa Cruz	3,86	3,42	3,07	2,45	1,82	1,53	2,11	2,32	2,74	3,12	3,37	3,54
Ivorá	Sede	5,11	5,00	4,56	3,60	3,10	2,39	2,76	2,96	3,33	3,73	4,23	4,62
Iracá	Iras das Barras	4,64	4,34	3,64	3,00	2,26	1,84	2,40	2,65	3,10	3,33	3,66	4,13
Ibirá	Cavalinho	5,11	5,00	4,31	3,48	2,65	2,31	2,68	3,04	3,43	3,89	4,31	4,65
Ipiranga*	Sede	5,60	5,47	4,36	3,77	2,98	2,49	2,27	2,99	3,39	3,67	4,04	4,59
Minas do Sul	Sede	5,32	5,11	4,51	3,44	2,52	2,04	2,57	2,68	3,41	3,84	4,49	4,85
Minas do Sul	São José das 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	4,62
Maurici	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
Maxi	Sede - Colégio	4,84	4,62	4,09	3,15	2,35	1,92	2,38	2,73	3,22	3,70	4,10	4,45
Maxi	Fazenda Matéia Alegre	4,23	3,84	3,42	2,69	2,04	1,67	2,10	2,59	2,92	3,37	3,63	3,95
Maniz Freire	Sede	4,56	4,24	3,81	2,99	2,67	1,64	2,41	2,54	2,93	3,33	3,72	4,06
Maniz Freire	Urina Fortaleza	4,33	3,95	3,51	2,79	2,11	1,71	2,30	2,54	2,96	3,43	3,76	4,13
Nova Venécia	Sede	5,31	5,12	4,60	3,64	2,68	2,19	2,66	2,93	3,55	4,39	4,73	5,04
Pecém	Sede	5,12	4,90	4,37	3,41	2,51	2,04	2,54	2,82	3,41	4,16	4,56	4,94
Rio Novo do Sul	Sede	4,98	4,85	4,38	3,46	2,74	2,36	2,72	2,94	3,50	3,89	4,29	4,66
São Gabriel da Fazenda	Sede	5,20	4,95	4,46	3,47	2,57	2,08	2,59	2,96	3,46	4,13	4,54	4,94

\* Valores obtidos pela aplicação direta do método de Penman.

TABELA 9 - Evapotranspiração potencial média mensal "ajustada ao método da Penman" em milímetros

MUNICÍPIO	LOCAL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	SET	NOV	DEZ.		
São Gabriel da Palha	Aguia 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
Santa Leopoldina	Sede	5,03	4,85	4,28	3,42	2,61	2,22	2,66	2,92	3,31	3,73	4,17	4,57
Santa Leopoldina	Gaita M <sup>a</sup> 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
Santa 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
Santa 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
Santa Terezinha	São José de Petrópolis (Colégio 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	5,64
São Mateus	Itamirimhas	5,26	4,54	3,61	2,66	2,18	2,65	2,89	3,53	4,25	4,68	4,96	
São Mateus	Baura 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 José 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	Fazenda Fonte Limpá	5,11	5,00	4,56	3,67	2,87	2,41	2,78	2,98	3,36	3,79	4,25	4,66
Vilaça	Faz. Exp. de Jucurutaba	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*	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

\* Valores obtidos pela aplicação direta do método de Penman.

## 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 potencial 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:

$$\text{PET}_p = 0.907 \text{ PET}_t + 0.935 \quad - \text{ July to January} \quad (\text{A})$$

$$\text{PET}_p = 1.116 \text{ PET}_t - 0.087 \quad - \text{ February to June} \quad (\text{B})$$

where:

$\text{PET}_p$  = monthly average potential evapotranspiration, in mm/day, by the Penman's method

$\text{PET}$  = monthly average potential evapotranspiration, in mm/day, by the Thornthwaite's method

From the monthly mean temperaturas, 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>t</sub> thus obtained are more realistic because of the best theoretical basis of the Penman's method when compared with Thornthwaite's method.

#### LITERATURA CITADA

- 1 BERLATO, M.A. & MOLION, C.B.L. Evaporação e evapotranspiração. Porto Alegre-RS, Instituto de Pesquisa Agronômicas, 1981. (IPAGRO - Boletim Técnico, 7).
- 2 BERNARDES, 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 Cien. 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 do Itapemirim, Estado do Espírito Santo. Piracicaba, ESALQ/USP, 1979. 76p.  
Tese de Mestrado.