



**EMBRAPA**

Vinculada ao Ministério da Agricultura  
Centro de Pesquisa Agropecuária  
do Trópico Semi-Árido (CPATSA)  
BR-428 - Km 152  
Rodovia Petrolina/Lagoa Grande  
Fone: (081) 961 - 0122 \*  
Telex (081) 1878  
Cx. Postal, 23  
56.300 - PETROLINA - PE

ISSN 0100-6061

# COMUNICADO TÉCNICO

Nº 31, maio/89, p.1-17

## ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL

Malaquias da Silva Amorim Neto<sup>1</sup>

### INTRODUÇÃO

O conhecimento dos parâmetros climáticos evaporação e evapotranspiração é de fundamental importância para os técnicos que lidam com irrigação, climatologia, hidrologia e recursos hídricos em geral. Haja vista que fornecem informações das perdas de água para a atmosfera pelas superfícies livres d'água e pelos sistemas solo-planta.

Os principais elementos meteorológicos que contribuem para a ocorrência destes fenômenos são a radiação solar global, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Alguns estudos quantificando a importância destes elementos, indicam ser de ordem de 80:6:14 respectivamente. Outros trabalhos demonstram que em condições de "oásis" a advecção poderia contribuir no processo evaporativo com energia maior que a radiação líquida disponível.

Esta publicação tem por objetivo dar algumas informações básicas para estimativa da demanda d'água das culturas por via climatológica, em função da disponibilidade de elementos meteorológicos tanto para o dimensionamento quanto para a operação de sistemas de irrigação. Os métodos aqui utilizados são aqueles estudados por Amorim Neto et al. (1985), comparando os valores estimados com os valores medidos de Evapotranspiração Potencial (ETP) através de evapotranspirômetro tipo Thornthwaite (Thornthwaite 1957) com lençol freático constante.

### DEFINIÇÕES

**Evaporação (E):** Perda d'água para atmosfera na forma de vapor das superfícies livres d'água e do solo.

**Transpiração (T):** Perda d'água para atmosfera através dos estômatos e cutícula das plantas.

<sup>1</sup>Meteorologista, M.Sc. EMBRAPA-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), Caixa Postal 23, CEP 56300 PETROLINA, PE.

CT/31, CPATSA, maio/89, p.2

**Evapotranspiração (ET):** Transferência d'água para atmosfera resultante da evaporação do solo e da transpiração das plantas.

**Evapotranspiração Potencial (ETP):** A evapotranspiração potencial ou evapotranspiração de referência é definida como a evapotranspiração que ocorre em uma superfície vegetada com grama batatais (Paspalum notatum), bem provida de umidade em fase de desenvolvimento vegetativo e com bordadura adequada.

**Evapotranspiração Máxima (ETM):** A evapotranspiração máxima ou demanda ideal, refere-se a perda d'água por uma cultura em condições ótimas de umidade em qualquer estágio de desenvolvimento.

**Evapotranspiração Real (ETR):** Demanda d'água de uma cultura com ou sem restrições de umidade, em qualquer estágio de desenvolvimento.

#### INSTRUMENTOS DE MEDIDA

A medida da evaporação é realizada através de duas classes de instrumentos denominados atmômetros e evaporímetros. Dentre os tipos de atmômetro, o mais utilizado é o "Evaporímetro de Piche", que tem as seguintes características: tubo de vidro normalmente de 22,5 cm de comprimento com uma extremidade fechada, diâmetro interno de 11 mm e diâmetro externo de 14 mm. O tubo é graduado em  $\text{cm}^3$  ou  $\text{mm}^3$  e a altura d'água evaporada é lida diretamente. Na extremidade aberta do tubo é ajustado um disco de papel poroso com 3,2 cm de diâmetro, cuja superfície evaporante é de  $13 \text{ cm}^2$ . Este instrumento é instalado dentro do abrigo meteorológico da estação meteorológica. Com relação aos evaporímetros o mais utilizado é o tanque Classe "A", cujas características são as seguintes: recipiente circular de 1,21 m de diâmetro e 0,254 m de profundidade construído normalmente em chapa galvanizada nº 22. É montado sobre um estrado de madeira de 0,10m x 0,05m x 1,24m nivelado sobre o terreno. O tanque deve ser cheio de água até 5,0cm da borda superior. O nível mínimo de medida permitido é de 7,5cm a partir da borda, ou seja, a cada 2,5 cm de evaporação deve-se reabastecer o tanque. A variação de nível é medida com auxílio de um micrômetro, (ponta de medida tipo gancho) assentado em cima de um poço tranquilizador devidamente nivelado.

Para medida de evapotranspiração os instrumentos utilizados são os lisímetros e evapotranspirômetros. Dentre eles o lisímetro tipo balança, apresenta-se como o mais adequado para medida de evapotranspiração. Este equipamento é composto de tanques cheios de solo, vegetados, suportados por um mecanismo de balança que permite a verificação da variação de peso em qualquer intervalo de tempo. No entanto, a principal desvantagem que este instrumento apresenta é o seu custo de implantação e de operação.

O outro equipamento utilizado na medida de evapotranspiração é o evapotranspirômetro tipo Thornthwaite com lençol freático constante. Este equi-

CT/31, CPATSA, maio/89, p.3

pamento é composto de tanques cheios de solo, vegetados e com um lençol freático constante. O nível do lençol é mantido através de um tanque intermediário constituído de bôia e dreno. As leituras são feitas em um tubo mí limetrado de leitura direta acoplado ao tanque abastecedor.

### MÉTODOS DE ESTIMATIVAS

Para determinação da demanda hídrica das culturas, geralmente usa-se evapotranspiração potencial (ETP), medida ou estimada através de fórmulas.

Estudos realizados por Amorim Neto et al (1985) para validação dos métodos mais usuais para determinação da ETP para as regiões semi-áridas concluiu-se que os mais adequados para serem utilizados em período mínimo de dez dias por ordem de importância são os de Benavides & Lopéz, Linacre, Tanque Classe "A", Penman e Radiação Solar. A descrição destes métodos com exemplo de aplicação é apresentado a seguir.

#### 1 - Método de Benavides & Lopéz

O método de Benavides & Lopéz (1970), relaciona temperatura do ar e umidade relativa do ar com evapotranspiração potencial, tendo a seguinte fórmula:

$$\frac{7,45 T}{234,7 + T}$$

$$ETP = 1,21 \times 10^{-3} \times (1 - 0,01 UR) + 0,21 T - 2,30$$

Onde:

ETP = evapotranspiração potencial (mm/dia)

T = temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )

UR = umidade relativa do ar (%)

Exemplo: Estimar a evapotranspiração potencial para o período de 10 dias, considerando a seguinte situação: temperatura média do ar período  $28,5^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa média do ar no período igual a 57%.

Solução

$$\frac{7,45 T}{234,7 + T}$$

$$ETP = 1,21 \times 10^{-3} \times (1 - 0,01 UR) + 0,21 T - 2,30$$

Onde:

T =  $28,5^{\circ}\text{C}$

UR = 57%

CT/31, CPATSA, maio/89, p.4

$$1^{\text{a}}) \frac{7,45 \text{ T}}{234,7 + \text{T}} = \frac{7,45 \times 28,5}{234,7 + 28,5} = \frac{212,33}{263,20} = 0,81$$

$$2^{\text{a}}) (1 - 0,01 \text{ UR}) = 1 - 0,01 \times 57 = 0,43$$

$$3^{\text{a}}) 0,21 \text{ T} = 0,21 \times 28,5 = 5,99$$

$$\begin{aligned} \text{ETP} &= 1,21 \times 10^{0,81} \times 0,43 + 5,99 - 2,30 \\ \text{ETP} &= 7,05 \text{ mm/dia} \end{aligned}$$

$$\text{Em 10 dias ETP} = 10 \times 7,05 = 70,5 \text{ mm}$$

#### Método de Linacre:

Este método de estimativa de ETP (Linacre 1977), requer as coordenadas geográficas, latitude e altitude, temperatura média do ar e temperatura do ponto de orvalho. A ETP é dada pela seguinte fórmula:

$$\text{ETP} = \frac{\frac{500 \text{ Tm}}{100 - \text{lat}} + 15 (\text{T} - \text{Td})}{80 - \text{T}}, \text{ onde:}$$

ETP = evapotranspiração potencial (mm/dia)

Tm = T + 0,006 h - equivalente ao nível do mar da temperatura do ar, onde:

T = temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )

h = altitude (m)

Td = temperatura do ponto de orvalho ( $^{\circ}\text{C}$ ) - TAB. 1.

lat = latitude em graus.

**Exemplo:** Estimar a ETP para o período de 10 dias utilizando os dados da Estação Meteorológica de Mandacaru no município de Juazeiro, BA, cujas coordenadas geográficas são latitude  $09^{\circ}24' \text{S}$  longitude  $40^{\circ}26' \text{W}$  e altitude 375,5m.

As informações obtidas foram: temperatura média do ar  $25,8^{\circ}\text{C}$ , umidade relativa do ar 74%.

#### Solução

$$\text{ETP} = \frac{\frac{500 \text{ Tm}}{100 - \text{lat}} + 15 (\text{T} - \text{Td})}{80 - \text{T}}, \text{ onde:}$$

$$\text{lat} = 09^{\circ}24' = 9,40$$

$$h = 375,5 \text{ m}$$

$$T = 25,8^{\circ}\text{C}$$

$$\text{UR} = 74\%$$

CT/31, CPATSA, maio/89, p.5

TABELA 1- Determinação da temperatura do ponto de orvalho

t	UMIDADE RELATIVA (%)																			t
	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	06	06
06	69	65	63	60	58	57	55	54	52	51	00	01	02	03	04	05	05	05	06	06
07	68	64	62	59	57	56	54	53	51	00	01	02	03	04	05	06	07	07	07	07
08	67	64	61	58	56	55	53	52	50	00	01	02	03	04	05	06	07	07	08	08
09	66	63	60	58	56	54	52	51	50	00	02	03	04	05	06	07	07	07	09	09
10	65	62	59	57	55	53	51	50	49	00	01	03	04	05	06	07	08	08	09	10
11	65	61	58	56	54	52	50	49	48	00	01	02	04	05	06	07	09	09	10	11
12	64	60	57	55	53	51	50	49	48	00	02	03	05	06	07	09	09	10	10	12
13	63	69	57	54	52	50	49	48	47	00	01	03	04	05	07	08	09	10	11	13
14	62	59	56	53	51	50	49	48	47	01	02	04	05	06	08	09	10	11	12	14
15	61	58	55	52	50	49	48	47	46	00	02	03	05	06	07	08	10	11	12	15
16	61	57	54	52	50	49	48	47	46	01	02	04	06	07	08	09	11	12	13	16
17	60	56	53	51	50	49	48	47	46	01	03	05	07	08	09	10	12	13	15	17
18	59	55	52	50	49	48	47	46	45	00	02	04	06	07	09	10	11	13	15	18
19	58	54	51	50	49	48	47	46	45	01	03	05	07	08	10	11	12	13	15	19
20	57	54	51	50	49	48	47	46	45	02	04	06	08	09	11	12	13	14	15	20
21	57	53	50	49	48	47	46	45	44	00	03	05	07	09	10	12	13	14	15	21
22	56	52	50	49	48	47	46	45	44	01	04	06	08	10	11	13	14	15	16	22
23	55	51	50	49	48	47	46	45	44	02	05	07	09	10	12	13	14	15	16	23
24	54	50	49	48	47	46	45	44	43	00	03	05	08	10	11	13	14	15	16	24
25	53	51	50	49	48	47	46	45	44	01	04	06	09	11	12	14	15	16	17	25
26	53	51	50	49	48	47	46	45	44	02	05	07	09	11	13	15	16	17	18	26
27	52	50	49	48	47	46	45	44	43	02	05	08	10	12	14	15	16	17	18	27
28	51	50	49	48	47	46	45	44	43	03	06	09	11	13	15	17	18	19	20	28
29	50	49	48	47	46	45	44	43	42	00	04	07	10	12	14	16	18	19	20	29
30	50	49	48	47	46	45	44	43	42	00	05	08	11	13	15	17	18	19	20	30
31	51	50	49	48	47	46	45	44	43	01	05	09	11	14	16	18	19	20	21	31
32	52	51	50	49	48	47	46	45	44	02	06	10	12	15	17	19	20	21	22	32
33	53	52	51	50	49	48	47	46	45	03	07	10	13	16	18	20	21	22	23	33
34	54	53	52	51	50	49	48	47	46	04	08	11	14	16	18	20	21	22	23	34
35	53	52	51	50	49	48	47	46	45	05	09	12	15	17	19	21	22	23	24	35
36	55	54	53	52	51	50	49	48	47	05	10	13	16	18	20	22	24	25	26	36
37	56	55	54	53	52	51	50	49	48	06	10	14	17	19	21	23	25	27	28	37
38	57	56	55	54	53	52	51	50	49	07	11	15	17	20	22	24	26	27	28	38
39	58	57	56	55	54	53	52	51	50	08	12	15	18	21	23	25	27	28	29	39
40	59	58	57	56	55	54	53	52	51	09	13	16	19	22	24	26	27	28	29	40
41	60	59	58	57	56	55	54	53	52	09	14	17	20	23	25	27	28	29	40	41
42	61	60	59	58	57	56	55	54	53	10	14	18	21	23	26	28	29	30	41	42

OBS.: Aos valores de  $T_d$  inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$  está adicionado 50 em valor absoluto. (VAREJÃO SILVA, 1979).-

## COMUNICADO TÉCNICO

CT/31, CPATSA, maio/89, p.6

1º)  $T_m = T + 0,006 \text{ h}$

$$T_m = 25,8 + 0,006 \times 375,5 = 28,0$$

2º)  $T_d$  = Obtém-se na Tabela 1, entrando na coluna t com o valor de  $T=25,8^{\circ}\text{C}$  arredondando para  $26^{\circ}\text{C}$  e a  $UR=74\%$  aproximadamente para  $75\%$ , então:  
 $T_d = 21,0^{\circ}\text{C}$ .

3º)  $500 T_m / 100 - \text{lat} = 500 \times 28,0 / 100 - 9,4 = 14.000 / 90,6 = 154,53$

4º)  $(T - T_d) = 25,8 - 21,0 = 4,8$

$$ETP = \frac{154,53 + 15 \times 4,8}{80 - 25,8} = \frac{226,53}{54,2} = 4,18$$

$ETP = 4,18 \text{ mm/dia}$

Em 10 dias  $ETP = 4,18 \times 10 = 41,8 \text{ mm.}$

### Método do Tanque Classe "A":

A evapotranspiração potencial estimada em função do Tanque Classe "A" é expressa por:

$$ETP = K_p \times ECA, \text{ onde:}$$

$ETP$  = evapotranspiração potencial (mm/periódico)

$K_p$  = "coeficiente de tanque", função da velocidade média do vento a 2,0m, umidade relativa média do ar e tipo de exposição do tanque (TAB. 2).

$ECA$  = evaporação no Tanque Classe "A" (mm/periódico)

Exemplo: Calcular a ETP para período de 10 dias considerando-se a  $ECA=59,8$  mm/periódico umidade relativa média do período 71% e velocidade média do vento a 2,0 m; 142,7 km/dia. O tanque Classe "A" onde foi obtido ECA está colocado em uma área gramada com 10m de bordadura.

### Solução

$$ETP = K_p \cdot ECA$$

$ECA = 59,8 \text{ mm}$

$UR = 71\%$

$Vv = 142,7 \text{ km/dia}$

Bordadura = 10 m (solo gramado).

1º) Na Tabela 2 com  $UR=71\%$ ,  $Vv= 142,7 \text{ Km/dia}$  e bordadura de 10 m o  $K_p = 0,85$ .

$$ETP = 0,85 \times 59,8 \text{ mm}$$

$$ETP = 50,8 \text{ mm/10 dias}$$

CT/31, CPATSA, maio/89, p.7

TABELA 2- Coeficiente de tanque ( $K_p$ ) para Tanque Classe A para diferentes coberturas vegetais e Níveis de Umidade Relativa Média e Vento em 24 horas (FAO, 1979).

VENTO Km/dia	TANQUE COLOCADO EM ÁREA CULTIVADA						TANQUE COLOCADO EM ÁREA NÃO CULTIVADA					
	COM VEGETAÇÃO BAIXA			TAMANHO DA BORDADURA (SOLO NU)			TAMANHO DA BORDADURA (SOLO NU)			UMID. REL.		
	TAMANHO DA BORDADURA (SOLO NU)	UMID.	REL.	MÉDIA	ALTA	MÉDIA	BAIXA	MÉDIA	ALTA	UMID.	REL.	MÉDIA
Leve <175	1	0,55	0,65	0,75	0,75	0,85	1	0,70	0,80	0,80	0,70	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	0,85	0,90	10	0,60	0,70	0,70	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	0,85	0,90	100	0,55	0,65	0,65	0,65	0,75
	1.000	0,75	0,85	0,85	0,85	0,90	1.000	0,50	0,60	0,60	0,60	0,70
Moderado 175 - 425	1	0,50	0,60	0,65	0,65	0,75	1	0,65	0,75	0,75	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	0,75	0,80	10	0,55	0,65	0,65	0,65	0,70
	100	0,60	0,75	0,80	0,80	0,85	100	0,50	0,60	0,60	0,60	0,65
	1.000	0,70	0,80	0,85	0,85	0,90	1.000	0,45	0,55	0,55	0,55	0,60
Forte 425-700	1	0,45	0,50	0,60	0,60	0,65	1	0,60	0,65	0,65	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	0,65	0,70	10	0,50	0,55	0,55	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,70	0,70	0,75	100	0,45	0,50	0,50	0,50	0,60
	1.000	0,65	0,70	0,75	0,75	0,80	1.000	0,40	0,45	0,45	0,45	0,55
Muito Forte > 700	1	0,40	0,45	0,50	0,50	0,55	1	0,50	0,60	0,60	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	0,60	0,65	10	0,45	0,50	0,50	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	0,65	0,70	100	0,40	0,45	0,45	0,45	0,50
	1.000	0,55	0,60	0,65	0,65	0,70	1.000	0,35	0,40	0,40	0,45	0,45

CT/31, CPATSA, maio/89, p.8

**Método de Penman**

A estimativa da ETP pelo método de Penman (1948), é dada pela seguinte fórmula:

$$ETP = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} H + Ea}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}, \text{ sendo:}$$

$$H = RA \left( 0,24 + 0,58 \frac{n}{N} \right) (1 - a) - \sigma Ta^4 (0,56 - 0,09 \sqrt{e}) \\ (0,1 + 0,9 \frac{n}{N})$$

$$Ea = 0,35 \left( 1 + \frac{V}{160} \right) (e_s - e), \text{ onde os termos significam:}$$

$\Delta/\gamma$  = fator adimensional dependente da temperatura média do ar no período (TAB. 3)

H = balanço de energia radiante (mm/periódio)

Ea = poder evaporante do ar à sombra (mm/periódio)

RA = radiação extra-terrestre, função do mês e latitude (TAB. 4)

$n/N$  = razão de insolação média do período, sendo N o número máximo possível de horas de brilho solar obtido em função de latitude e mês (TAB. 5)

a = poder refletor ( $a=0,25$ )

$\sigma$  = constante de Stefan Boltzman ( $0,807 \times 10^{-10} \text{ cal.cm}^{-2} \text{ mm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{k}^{-4}$ )

Ta = temperatura média do ar no período considerado ( ${}^{\circ}\text{k}$ )

e = valor médio da pressão de vapor (mm/periódio)

$e_s$  = tensão de saturação à temperatura média do ar no período (mm de Hg) (TAB. 6)

V = velocidade média do vento a 2,0 m do período (km/dia)

**Exemplo:** Estimar a evapotranspiração potencial para o período de 10 dias utilizando as informações meteorológicas da Estação de Mandacaru, cujas coordenadas geográficas são: latitude  $09^{\circ}24' S$  longitude  $40^{\circ}26' W$  e altitude 375,5 m. Os dados obtidos foram: temperatura média do ar  $25,9^{\circ}\text{C}$ , insolação 4,3 h, umidade relativa do ar 74% e velocidade do vento a 2,0 m 123,6 Km/dia. Essas informações foram obtidas no mês de fevereiro.

CT/31, CPATSA, maio/89, p.9

## Solução

$$\text{ETP} = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} H + E_a}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}$$

lat=  $09^{\circ}24'S$ t =  $25,9^{\circ}\text{C}$ 

n = 4,3 h

UR = 74%

V = 123,6 km/dia

mês= fevereiro

1º)  $\Delta/\gamma$ , obtém-se na Tabela 3, arredondando-se  $T=25,9^{\circ}\text{C}$  para  $26^{\circ}\text{C}$ , logo  
 $\Delta/\gamma = 3,0$

2º)  $H = RA (0,24 + 0,58 n/N) (1-a) - \sigma Ta^4 (0,56 - 0,09 \sqrt{e}) (0,1+0,9 n/N)$

2.1- RA, obtém-se na Tabela 4 em função do mês (fevereiro) e latitude ( $09^{\circ}09'S$ ) interpolando-se logo  $RA=16,2$ .

2.2-  $(0,24+0,58 n/N) = 0,24 + 0,58 \times 4,3/12,3 = 0,44$   
 N=12,3 foi obtido na Tabela 5 em função da latitude e mês

2.3-  $(1 - a) = 1 - 0,25 = 0,75$

2.4-  $\sigma Ta^4$ , onde  $Ta = T + 273,15 = 25,9 + 273,15 = 299,05$   
 $\sigma Ta^4 = 0,807 \times 10^{-10} \times 299,05^4 = 0,65$

2.5-  $(0,56 - 0,09 \sqrt{e})$ . onde  $e = UR \times e_s/100$   $e = 74 \times 25,06/100 = 18,54$   
 $e_s = 25,06$  foi obtido na Tabela 6, em função de T.  
 $0,56 - 0,09 \sqrt{e} = 0,56 - 0,09 \sqrt{18,54} = 0,17$ .

2.6-  $(0,1 + 0,9 n/N) = 0,1 + 0,9 \times 4,3/12,3 = 0,41$   
 N= idem 2.2-  
 $H = 16,2 \times 0,44 \times 0,75 - 0,65 \times 0,17 \times 0,41$   
 $H = 5,35 - 0,05 = 5,30$ .

3º)  $E_a = 0,35 (1 + V/160) (e_s - e)$

3.1-  $(1 + V/160) = 1 + 123,6/160 = 1,77$

3.2-  $(e_s - e) = 25,06 - 18,54 = 6,52$

Os valores de  $e_s$  e  $e$  são obtidos em 2.5

$E_a = 0,35 \times 1,77 \times 6,52 = 4,04$ .

$\text{ETP} = 3,0 \times 5,30 + 4,04/3,0 + 1 = 4,99 \text{ mm/dia}$

Em 10 dias,  $\text{ETP} = 10 \times 4,99 = 49,9 \text{ mm}$ .

CT/31, CPATSA, maio/89, p.10

TABELA 3- Valores de  $\Delta/\gamma$  entre 1 e 40°C (villa Nova, 1967).

t	$\Delta/\gamma$	t	$\Delta/\gamma$
1	0,6	21	2,2
2	0,8	22	2,4
3	0,8	23	2,6
4	0,8	24	2,6
5	1,0	25	2,8
6	1,0	26	3,0
7	1,2	27	3,2
8	1,2	28	3,2
9	1,2	29	3,6
10	1,2	30	3,8
11	1,4	31	4,0
12	1,4	32	4,2
13	1,6	33	4,2
14	1,6	34	4,4
15	1,6	35	4,6
16	1,8	36	5,2
17	1,8	37	5,2
18	2,0	38	5,4
19	2,0	39	5,6
20	2,0	40	5,8

CT/31, CPATSA, maio/89, p.11

TABELA 4- Valores de  $R_A$  (radiação extra-terrestre) em mm de evaporação equivalente por dia (FAO, 1979).

LATITUDE S	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
40°	17,9	15,7	12,5	9,2	6,6	5,3	5,9	7,9	11,0	14,2	16,9	18,3
38	17,9	15,8	12,8	9,6	7,1	5,8	6,3	8,3	11,4	14,4	17,0	18,3
36	17,9	16,0	13,2	10,1	7,5	6,3	6,8	8,8	11,7	14,6	17,0	18,2
34	17,8	16,1	13,5	10,5	8,0	6,8	7,2	9,2	12,0	14,9	17,1	18,2
32	17,8	16,2	13,8	10,9	8,5	7,3	7,7	9,6	12,4	15,1	17,2	18,1
30	17,8	16,4	14,0	11,3	8,9	7,8	8,1	10,1	12,7	15,3	17,3	18,1
28	17,7	16,4	14,3	11,6	9,3	8,2	8,6	10,4	13,0	15,4	17,2	17,9
26	17,6	16,4	14,4	12,0	9,7	8,7	9,1	10,9	13,2	15,5	17,2	17,8
24	17,5	16,5	14,6	12,3	10,2	9,1	9,5	11,2	13,4	15,6	17,1	17,7
22	17,4	16,5	14,8	12,6	10,6	9,6	10,0	11,6	13,7	15,7	17,0	17,5
20	17,3	16,5	15,0	13,0	11,0	10,0	10,4	12,0	13,9	15,8	17,0	17,4
18	17,1	16,5	15,1	13,2	11,4	10,4	10,8	12,3	14,1	15,8	16,8	17,1
16	16,9	16,4	15,2	13,5	11,7	10,8	11,2	12,6	14,3	15,8	16,7	16,8
14	16,7	16,4	15,3	13,7	12,1	11,2	11,6	12,9	14,5	15,8	16,5	16,6
12	16,6	16,3	15,4	14,0	12,5	11,6	12,0	13,2	14,7	15,8	16,4	16,5
10	16,4	16,3	15,5	14,2	12,8	12,0	12,4	13,5	14,8	15,9	16,2	16,2
8	16,1	16,1	15,5	14,4	13,1	12,4	12,7	13,7	14,9	15,8	16,0	16,0
6	15,8	16,0	15,6	14,7	13,4	12,8	13,1	14,0	15,0	15,7	15,8	15,7
4	15,5	15,8	15,6	14,9	13,8	13,2	13,4	14,3	15,1	15,6	15,5	15,4
2	15,3	15,7	15,7	15,1	14,1	13,5	13,7	14,5	15,2	15,5	15,3	15,1
0	15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8

## COMUNICADO TÉCNICO

CT/31, CPATSA, maio/89, p.12

TABELA 5- Valor médio mensal do número máximo possível de brilho solar, nos 12 meses do ano, nas latitudes de 0 a 35°S.

LAT. SUL	JAN.	FEV.	MAR.	ABR.	MAI.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OUT.	NOV.	DEZ.
0	12,1	11,9	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
1	12,1	12,0	12,1	12,1	12,0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,2	12,1
2	12,1	12,0	12,1	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,1	12,2	12,1
3	12,2	12,1	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,1	12,2	12,2
4	12,3	12,1	12,1	12,0	11,9	11,9	12,0	12,0	12,0	12,1	12,3	12,3
5	12,3	12,1	12,1	12,0	11,9	11,9	11,9	12,0	12,2	12,2	12,3	12,3
6	12,3	12,2	12,1	12,0	11,8	11,8	11,8	11,9	12,0	12,2	12,4	12,4
7	12,4	12,2	12,1	12,0	11,8	11,8	11,8	11,9	12,0	12,2	12,4	12,5
8	12,5	12,3	12,1	11,9	11,8	11,7	11,7	11,8	12,0	12,3	12,5	12,5
9	12,5	12,3	12,1	11,9	11,7	11,6	11,6	11,8	12,0	12,3	12,5	12,6
10	12,5	12,4	12,1	11,9	11,7	11,6	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7
11	12,6	12,4	12,1	11,8	11,6	11,5	11,6	11,7	12,0	12,3	12,6	12,8
12	12,7	12,4	12,1	11,8	11,6	11,4	11,5	11,7	12,0	12,3	12,7	12,8
13	12,8	12,5	12,2	11,8	11,5	11,4	11,4	11,6	12,0	12,4	12,7	12,9
14	12,8	12,5	12,2	11,8	11,5	11,3	11,3	11,6	12,0	12,4	12,8	13,8
15	12,9	12,6	12,2	11,8	11,4	11,3	11,3	11,6	12,0	12,4	12,8	13,0
16	13,0	12,6	12,2	11,7	11,4	11,2	11,2	11,6	12,0	12,4	12,8	13,1
17	13,1	12,6	12,2	11,7	11,3	11,2	11,1	11,5	12,0	12,5	12,9	13,1
18	13,2	12,7	12,2	11,7	11,3	11,1	11,1	11,5	12,0	12,5	13,0	13,2
19	13,2	12,7	12,2	11,7	11,2	11,0	11,1	11,5	12,0	12,5	13,0	13,2
20	13,3	12,7	12,2	11,6	11,1	11,0	11,0	11,5	12,0	12,5	13,1	13,3
21	13,3	12,8	12,2	11,6	11,1	10,9	10,9	11,4	12,0	12,6	13,1	13,4
22	13,4	12,8	12,2	11,6	11,1	10,8	10,9	11,4	12,0	12,6	13,2	13,5
23	13,5	12,9	12,2	11,6	11,0	10,8	10,8	11,4	12,0	12,6	13,2	13,5
24	13,5	12,9	12,2	11,5	10,9	10,7	10,8	11,4	12,0	12,7	13,3	13,6
25	13,6	12,9	12,2	11,5	10,9	10,6	10,8	11,3	12,0	12,7	13,3	13,7
26	13,7	12,9	12,3	11,5	10,9	10,5	10,8	11,3	12,0	12,8	13,4	13,7
27	13,7	13,0	12,3	11,5	10,8	10,4	10,7	11,3	12,0	12,8	13,4	13,8
28	13,8	13,0	12,3	11,4	10,8	10,0	10,6	11,2	12,0	12,9	13,5	13,9
29	13,9	13,1	12,3	11,4	10,7	10,3	10,5	11,2	12,0	12,9	13,6	14,0
30	13,9	13,1	12,3	11,4	10,7	10,2	10,4	11,1	12,0	13,0	13,7	14,0
31	14,0	13,1	12,3	11,4	10,6	10,1	10,4	11,1	12,0	13,0	13,8	14,1
32	14,1	13,2	12,3	11,4	10,6	10,1	10,3	11,1	12,0	13,0	13,8	14,2
33	14,2	13,2	12,3	11,3	10,5	10,0	10,2	11,0	12,0	13,1	13,9	14,3
34	14,2	13,2	12,3	11,3	10,4	9,9	10,2	11,0	12,0	13,1	14,0	14,4
35	14,3	13,3	12,3	11,3	10,4	9,8	10,1	10,9	12,0	13,2	14,0	14,5

CT/31, CPATSA, maio/89, p.13

TABELA 6- Tensão máxima do vapor, sobre água, em milímetro de Hg.

(t)	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	4.58	4.61	4.65	4.68	4.72	4.75	4.79	4.82	4.86	4.89
1	4.93	4.96	5.00	5.03	5.07	5.11	5.14	5.18	5.22	5.26
2	5.29	5.33	5.37	5.41	5.45	5.49	5.53	5.57	5.61	5.65
3	5.69	5.73	5.77	5.81	5.85	5.89	5.93	5.97	6.02	6.06
4	6.10	6.14	6.19	6.23	6.27	6.32	6.36	6.41	6.45	6.50
5	6.54	6.59	6.64	6.68	6.73	6.78	6.82	6.87	6.92	6.97
6	7.01	7.06	7.11	7.16	7.21	7.26	7.31	7.36	7.41	7.46
7	7.51	7.57	7.62	7.67	7.72	7.78	7.83	7.88	7.94	7.99
8	8.05	8.10	8.16	8.21	8.27	8.32	8.38	8.44	8.49	8.55
9	8.61	8.67	8.73	8.79	8.85	8.91	8.97	9.03	9.09	9.15
10	9.21	9.27	9.33	9.40	9.46	9.52	9.59	9.65	9.71	9.78
11	9.84	9.91	9.98	10.04	10.11	10.18	10.24	10.31	10.38	10.45
12	10.52	10.59	10.65	10.73	10.80	10.87	10.94	11.01	11.09	11.16
13	11.23	11.31	11.38	11.45	11.53	11.60	11.68	11.76	11.83	11.91
14	11.99	12.07	12.14	12.22	12.30	12.38	12.46	12.54	12.62	12.71
15	12.79	12.87	12.95	13.04	13.12	13.21	13.29	13.38	13.46	13.55
16	13.63	13.72	13.81	13.90	13.99	14.08	14.17	14.26	14.35	14.44
17	14.53	14.62	14.72	14.81	14.90	15.00	15.09	15.19	15.28	15.38
18	15.48	15.58	15.67	15.77	15.87	15.97	16.07	16.17	16.27	16.37
19	16.48	16.58	16.69	16.79	16.89	17.00	17.11	17.21	17.32	17.43
20	17.54	17.64	17.75	17.86	17.97	18.09	18.20	18.31	18.42	18.54
21	18.65	18.77	18.88	19.00	19.11	19.23	19.35	19.47	19.59	19.71
22	19.83	19.95	20.07	20.17	20.32	20.44	20.57	20.69	20.82	20.94
23	21.07	21.20	21.32	21.45	21.58	21.71	21.85	21.98	22.11	22.24
24	22.38	22.51	22.65	22.79	22.92	23.06	23.20	23.34	23.48	23.62
25	23.76	23.90	24.04	24.18	24.33	24.47	24.62	24.76	24.91	25.06
26	25.21	25.36	25.51	25.66	25.81	25.96	26.12	26.27	26.43	26.58
27	26.74	26.90	27.06	27.21	27.37	27.54	27.70	27.86	28.02	28.19
28	28.35	28.51	28.68	28.85	29.02	29.18	29.35	29.53	29.70	29.87
29	30.04	30.22	30.39	30.57	30.75	30.92	31.10	31.28	31.46	31.64
30	31.82	32.01	32.19	32.38	32.56	32.75	32.93	33.12	33.31	33.50
31	33.70	33.89	34.08	34.28	34.47	34.67	34.86	35.06	35.26	35.46
32	35.66	35.87	36.07	36.27	36.48	36.68	36.89	37.10	37.31	37.52
33	37.73	37.94	38.16	38.37	38.58	38.80	39.02	39.24	39.46	39.68
34	39.90	40.12	40.34	40.57	40.80	41.02	41.25	41.48	41.71	41.94
35	42.18	42.41	42.64	42.88	43.12	43.46	43.60	43.84	44.08	44.32
36	44.56	44.81	45.05	45.30	45.55	45.80	46.05	46.30	46.56	46.81
37	47.07	47.32	47.58	47.84	48.10	48.36	48.63	48.89	49.16	49.42
38	49.69	69.96	50.24	50.50	50.77	51.05	51.32	51.60	51.88	52.16
39	52.44	52.73	53.01	53.29	53.58	53.87	54.16	64.45	54.74	55.03

CT/31, CPATSA, maio/89, p.14

### Método da radiação solar

A estimativa de evapotranspiração potencial pelo método da radiação solar, consiste na resolução das equações:

$$ETP = C \cdot W \cdot RS$$

$$RS = RA (0,24 + 0,58 n/N), \text{ onde:}$$

$$ETP = \text{evapotranspiração potencial (mm/periód)} \text{ (mm/periód)}$$

C = fator de ajuste dependente da velocidade do vento e umidade relativa do ar no período, obtido graficamente (FIG. 1)

W = fator de ajuste dependente da temperatura média do ar e altitude (TAB. 7).

RS = radiação de ondas curtas estimada ao nível do solo (mm/periód)

RA = radiação extra-terrestre, função do mês e latitude (Tabela 4)

n/N = razão de insolação média do período, sendo N o número máximo possível de horas de brilho solar obtido em função da latitude e mês (Tabela 5).

Exemplo: Determine a evapotranspiração potencial para Estação Meteorológica de Mandacaru, cuja latitude é de  $09^{\circ}24' S$  e altitude 375,5 m, os dados observados são do mês de dezembro. Considere que neste período a velocidade do vento a 2,0 m foi de 1,8 m/s, a umidade relativa 62%, insolação de 6,2 h e temperatura média do ar  $28,1^{\circ}C$ .

### Solução

$$ETP = C \cdot W \cdot RS$$

$$\text{lat} = 09^{\circ}24'S$$

$$\text{altitude} = 375,5 \text{ m}$$

$$\text{mês} = \text{dezembro}$$

$$V = 1,8 \text{ m/s}$$

$$UR = 62\%$$

$$n = 6,2 \text{ h}$$

$$T = 28,1^{\circ}C$$

1º)  $W = 0,78$ , valor obtido na Tabela 7 usando-se a temperatura do ar ( $28,1^{\circ}C$ ) e altitude (375,5 m).

$$2º) RS = RA (0,24 + 0,58 n/N)$$

2.1-  $RA = 16,1$ , obtido na Tabela 4 em função do mês (dezembro) e latitude ( $09^{\circ}24'S$ ), interpolando-se.

$$2.2- (0,24 + 0,58 n/N) = 0,24 + 0,58 \frac{6,2}{12,6} = 0,53.$$

$N = 12,6$  foi obtido na Tabela 5 em função da latitude e mês.

$$RS = 16,1 \times 0,53 = 8,46.$$

$$3º) W \cdot RS = 0,78 \times 8,46 = 6,60.$$

$$ETP = C \times 6,60$$

No gráfico III da Figura 1 com os valores de  $WRS=6,60$ , velocidade do vento 1,8 m/s e umidade relativa do ar 62%, obtém-se:  $ETP = 5,5 \text{ mm/dia}$ .

CT/31, CPATSA, maio/89, p.15

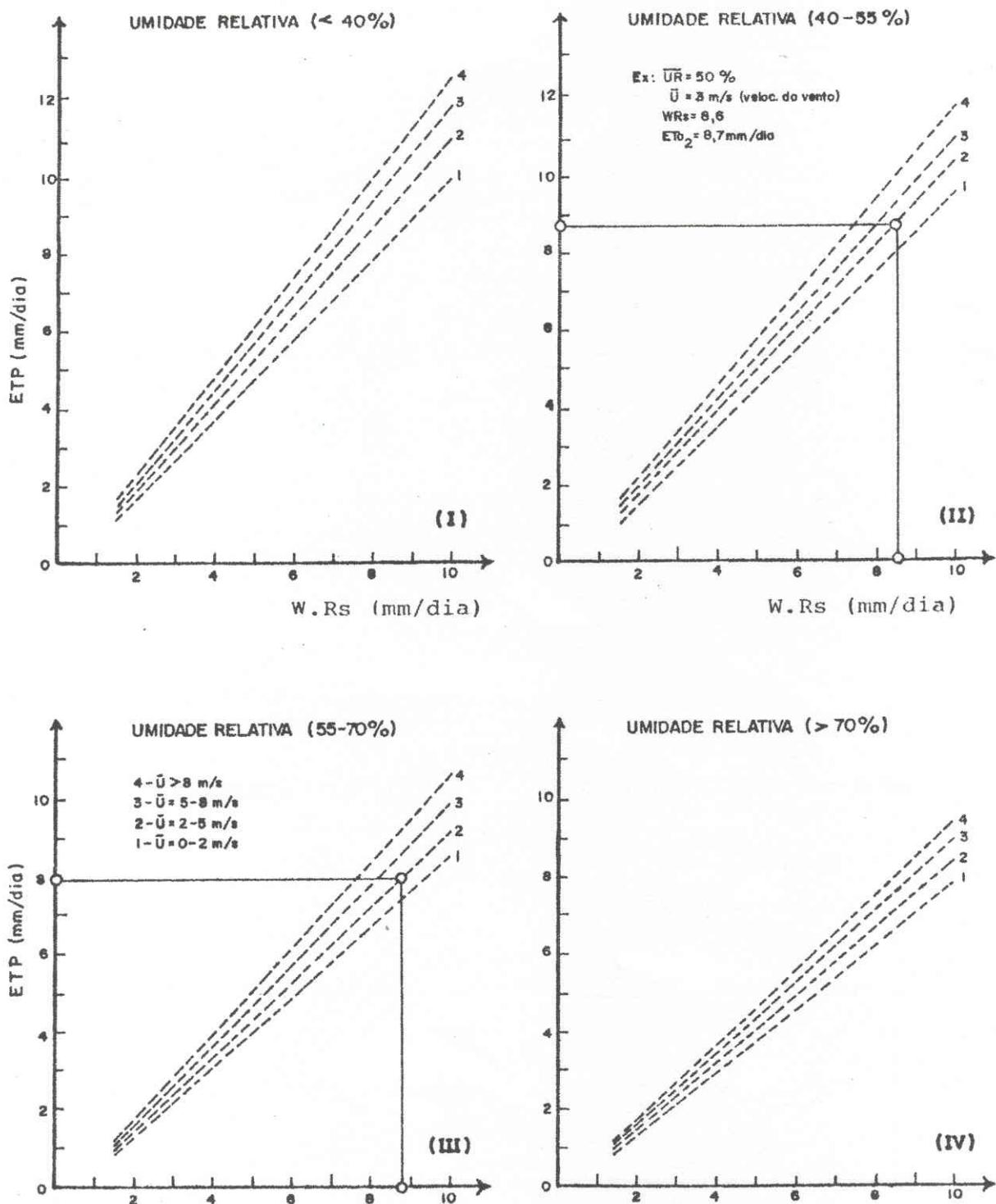


FIG. 1. Estimativa de ETP em função do produto wRs para diferentes níveis de Umidade Relativa (%) e Velocidade Média do Vento (m/s). (FAO, 1979).

CT/31, CPATSA, maio/89, p.16

TABELA 7- Valores do fator de ponderação (W) para o efeito da radiação solar  $ET_0$  a diferentes temperaturas e altitudes (FAO, 1979).

TEMPERATURA °C	W A ALTITUDE (m)				
	0	500	1.000	2.000	3.000
2	0,43	0,45	0,46	0,49	0,52
4	0,46	0,48	0,49	0,52	0,55
6	0,49	0,51	0,52	0,55	0,58
8	0,52	0,54	0,55	0,58	0,61
10	0,55	0,57	0,58	0,61	0,64
12	0,58	0,60	0,61	0,64	0,66
14	0,61	0,62	0,64	0,66	0,69
16	0,64	0,65	0,66	0,69	0,71
18	0,66	0,67	0,69	0,71	0,72
20	0,69	0,70	0,71	0,73	0,75
22	0,71	0,72	0,73	0,75	0,77
24	0,73	0,74	0,75	0,77	0,79
26	0,75	0,76	0,77	0,79	0,81
28	0,77	0,78	0,79	0,81	0,82
30	0,78	0,79	0,80	0,82	0,84
32	0,80	0,81	0,82	0,84	0,85
34	0,82	0,82	0,83	0,85	0,86
36	0,83	0,84	0,85	0,86	0,88
38	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88
40	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM NETO, M. da S.; OLIVEIRA, C.A.V. & SILVA, D. da S. Avaliação de diferentes métodos para estimativa de evapotranspiração potencial em regiões semi-áridas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 4., Londrina, 1985. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Agrometeorologia/IAPAR, 1986. p.211-229.

BENAVIDES, J.G. & LOPÉZ, D. Fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial adaptada al trópico (15° N-15°S), Agronomía Tropical, Maracay, Venezuela, 20(5):335-45, 1970.

DOOREMBOS, J. & KASSAM, A.H. Yield, response to water. I: Irrigation Yield drainage. Roma, Itália, FAO, 1979. p.193. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 33).

COMUNICADO TÉCNICO

CT/31, CPATSA, maio/89, p.17

LINACRE, E.T. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. *Agric. Meteorol.*, 18:409-24, 1977.

PENNAN, H.L. Natural evaporation from Open Water, bare soil and grass. *Proc. Roy Soc. of London, Ser.*, A(193):120-45, 1948.

THORNTHWAITE, C.W. Instruction and table for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publ. Climatology*, 10(3):155-311, 1957.

VAREJÃO-SILVA, M.A. Instrumentos meteorológicos convencionais para estações de superfície - 1<sup>a</sup> parte. Campina Grande, UFPB-CCT/EDITEL, 1979. (Paraíba. Universidade CCT. Coleção Politécnica, Didática, 1).

VILLA NOVA, N.A. A Estimativa da Evaporação Potencial no Estado de São Paulo. Piracicaba, ESALQ-USP. 1967. 66. Tese Doutorado.

Tiragem: 1000 exemplares  
Impressão: CPATSA  
Petrolina, 1989