

EVAPOTRANSPIRAÇÃO MÁXIMA E COEFICIENTES DE
CULTURA DA ERVILHA (*Pisum sativum* L.)

CLAUDINEI A. MINCHIO¹ E CLOVIS ALBERTO VOLPE²

RESUMO - No presente trabalho determinou-se, com a utilização de lisímetros de drenagem (Thornthwaite modificado), a evapotranspiração máxima de duas cultivares de ervilha (*Pisum sativum* L.) em suas diferentes fases de desenvolvimento. Esses valores obtidos foram relacionados com a evapotranspiração potencial, estimada através do método do tanque Classe A, determinando-se assim os coeficientes de cultura. Estimou-se ainda a evapotranspiração potencial com o emprego dos métodos de Penman; Thornthwaite, Makking, Radiação Solar e Saldo de Radiação.

THE MAXIMUM EVAPOTRANSPIRATION AND CROP
COEFFICIENTS FROM PEA (*Pisum sativum* L.)

SUMMARY - The objective of this work was to determine, using drainage lysimeters, the maximum evapotranspiration of two cultivars of pea (*Pisum sativum* L.). The measures values were related to the potential evapotranspiration obtained from the Class A (USWB) method, obtaining the crop coefficients. The potential evapotranspiration were too estimated from Penman, Thornthwaite, Makking, Solar Radiation and Net Radiation.

¹Graduando em Agronomia, estagiário do Departamento de Ciências Exatas da FCAV-UNESP. 14870 - Jaboticabal - SP.

²Professor do Departamento de Ciências Exatas da FCAV-UNES. 14870 - Jaboticabal - SP.

INTRODUÇÃO

O consumo de água pela cultura da ervilha durante o ciclo varia com uma série de fatores. Para uma cultura crescendo sem restrição de água o fator mais importante é a condição meteorológica reinante durante a estação de crescimento. A resistência estomática, a refletância e a rugosidade aerodinâmica da superfície também podem influir significativamente na evapotranspiração (PRUITT *et alii*, 1972).

Normalmente a necessidade de água das culturas é determinada através da razão entre a evapotranspiração máxima da cultura e a evapotranspiração potencial ou de referência, sendo esta razão conhecida por coeficiente de cultura k_c (DOORENBOS & PRUITT, 1975). O coeficiente de cultura varia de cultura para cultura e com o estágio de crescimento das plantas, sendo o mesmo função do método de estimativa da evapotranspiração potencial, utilizada para a sua definição. A evapotranspiração máxima é normalmente determinada através de lisímetros e a evapotranspiração potencial é estimada através de métodos meteorológicos (STANHILL, 1961; TAN & FULTON, 1980; BERLATO & MOLION, 1981).

VOLPE (1986) determinou o consumo de água e os coeficientes de cultura para as cultivares de ervilha Kritter e Caprice através de lisímetros de drenagem profunda e estimando a evapotranspiração potencial através do método do tanque Classe A. Observou, então, que o consumo de água da cultivar Kritter foi de 333,1 mm e o da Caprice de 261,4 mm. Isso se deve ao ciclo maior da cultivar Kritter (88 dias) em relação a cultivar Caprice (70 dias). O consumo médio diário da Kritter foi de $3,8 \text{ mm.dia}^{-1}$ e o da Caprice de $3,7 \text{ mm.dia}^{-1}$. Os valores médios dos coeficientes de cultura (k_c) obtidos para os diferentes períodos de crescimento das culturas, desde a semeadura até a colheita de grãos secos, foram mais elevados que aqueles sugeridos pela FAO.

Neste trabalho, determinou-se a relação entre a evapotranspiração máxima das cultivares Mikado e Trioфин e a evapotranspiração potencial estimada através do tanque Classe A, assim como comparou-se a estimativa da evapotranspiração potencial através dos métodos de Thornthwaite, Makking, Penman, Radiação Solar, tanque Classe A e Saldo de Radiação.

Os valores de k_c obtidos para as cultivares Mikado e Trioфин foram comparados com aqueles apresentados por DOORENBOS & KASSAM (1979).

MATERIAL E MÉTODO

O experimento foi realizado em área experimental adjacente à Estação Meteorológica do Campus de Jaboticabal, SP (21°15'22" S; 48°18'58" W; 595 m).

A evapotranspiração máxima (ETM) foi determinada através de 12 lisímetros de drenagem (tipo Thorthwaite modificado) de 1 m² de superfície e 1,5m de profundidade, sendo que seis lisímetros foram utilizados com a cultivar Mikado e os outros seis com a cultivar Trioфин. A semeadura foi realizada em 24/4/86 no espaçamento de 0,20 x 0,05 m, dando uma densidade populacional aproximada de um milhão de plantas por hectare. A área total do experimento foi de 800 m². As leituras de drenagem eram feitas diariamente às 7:00 horas da manhã.

A evapotranspiração potencial foi estimada através dos seguintes métodos meteorológicos:

a) Método do Tanque Classe A

Este método consiste em multiplicar o valor da evaporação média do período do tanque Classe A (ECA) pelo valor do coeficiente de tanque (k_p) correspondente, que depende do tamanho da bordadura na qual o tanque está exposto, da umidade relativa e da velocidade do vento a 2 m de altura. Os valores dos coeficientes de tanque foram obtidos de DOORENBOS & PRUITT (1975).

b) Método de Penman

Este método combina os efeitos do balanço de energia com o fator aerodinâmico. É a seguinte a expressão:

$$ET_o = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} \frac{Q^*}{59} + E_a}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}$$

onde ET_o é a evapotranspiração potencial (mm/dia); Q^* é o saldo de radiação; Δ é a tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água; γ é a constante psicrométrica e E_a o poder evaporante do ar (termo aerodinâmico). O poder evaporante do ar é dado por:

$$E_a = 0,35 (1 + 0,54 u) (e_s - e)$$

onde e_s e e são, respectivamente, a pressão de saturação e a pressão atual do vapor d'água (mm.Hg), u a velocidade do vento (m/s) a 2 m de altura aci

ma da superfície.

Os saldos de radiação foram obtidos através da regressão linear entre K_t e Q^* (ANDRÉ & VOLPE).

c) Método de Thornthwaite

A expressão utilizada foi a seguinte:

$$ET_o = 16 \left(10 \frac{t}{I}\right)^a$$

sendo ET_o a evapotranspiração potencial em mm/dia; t a temperatura média do ar ($^{\circ}C$); I é o índice de calor dado por:

$$I = \sum_1^{12} i$$

onde:

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514}$$

a é uma função cúbica de I da forma:

$$a = 0,675 \cdot 10^{-6} I^3 - 0,77 \cdot 10^{-4} I^2 - 1,792 \cdot 10^{-2} I - 0,49239$$

d) Método de Makking

Por esse método a evapotranspiração potencial (ET_o) ($mm \cdot dia^{-1}$) é estimada através da expressão:

$$ET_o = 0,61 K_t \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} - 0,12$$

onde K_t é a radiação solar global expressa em equivalentes $mm \cdot dia^{-1}$ de evaporação.

e) Método de Radiação Solar

Este método relaciona a evapotranspiração com a radiação solar em diferentes condições de vento, temperatura e umidade.

A relação é a seguinte:

$$ET_o = a + bw K_t$$

onde w é um fator peso que depende da temperatura média do ar e da altitude do local; a e b são coeficientes de regressão linear entre ET_o e K_t . Os valores de a , b e w foram retirados de DOORENBOS & PRUITT (1975).

f) Saldo de Radiação

A ETo foi também estimada convertendo o saldo de radiação em equivalentes mm.dia⁻¹ de evaporação.

As observações de temperatura, umidade relativa, insolação, vento, radiação solar global, evaporação do tanque Classe A e precipitação foram realizadas na Estação Meteorológica.

Os coeficientes de cultura (k_c) foram determinados através da relação entre a evapotranspiração máxima e a evapotranspiração potencial, nas diferentes fases fenológicas da cultura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a evapotranspiração potencial média diária obtida pelos diferentes métodos de estimativas para 9 períodos que variaram de 9 a 15 dias. A representação gráfica é mostrada na Figura 1.

Observa-se através desses dados que os métodos de estimativa tiveram desempenho diferentes para as condições em que foram aplicados, ou seja, para períodos de 9 a 15 dias e para as estações outono-primavera. Os maiores valores foram encontrados quando se utilizou o método do tanque Classe A e o método do saldo de radiação. O primeiro que é baseado na evaporação do tanque Classe A integra os efeitos da radiação, vento, temperatura e umidade na evaporação de uma específica superfície de água livre. O segundo é bastante empírico pois se fundamenta apenas na energia requerida para a evaporação sem considerar os aspectos aerodinâmicos.

Os métodos de Penman e da radiação solar tiveram comportamento quase que semelhantes. Os menores valores foram encontrados quando se utilizou o método de Makking, exceto, principalmente, nos últimos períodos quando os menores valores foram encontrados com o método de Thornthwaite. O método de Penman tem bastante base física uma vez que combina o balanço de energia com o fator aerodinâmico. O método da radiação solar é essencialmente uma adaptação da fórmula de Makking e é sugerida para áreas onde não se mede a velocidade do vento e a umidade do ar. O método de Makking também é fundamentado na radiação solar e é utilizado quando se tem medidas da umidade do ar. A equação de Thornthwaite expressa a evapotranspiração potencial como uma função exponencial da temperatura média mensal e é indicado para um período mínimo de um mês.

A Tabela 2 mostra os dados médios diários de evapotranspiração potencial obtidos pelo método do tanque Classe A, de evapotranspiração máxima

TABELA 1 - Evapotranspiração potencial média diária (mm.dia⁻¹) estimada por vários métodos para nove períodos (1986).

Período	Nº de Dias	Evapotranspiração Potencial (mm.dia ⁻¹)					Tanque Classe A	Saldo de Radiação
		Thornthwaite	Makking	Penman	Radiação Solar	Tanque Classe A		
I- 24/4 - 06/5	13	2,5	2,4	3,0	2,9	4,6	4,1.	
II- 07/5 - 16/5	10	2,5	1,5	1,5	1,6	2,5	2,1	
III- 17/5 - 25/5	9	2,6	2,0	2,3	2,1	3,2	3,0	
IV- 26/5 - 05/6	11	1,6	2,0	2,3	2,3	3,4	3,3	
V- .06/6 - 17/6	12	2,0	1,8	2,1	2,1	3,4	2,9	
VI- 18/6 - 28/6	11	1,8	1,9	2,3	2,3	3,6	3,2	
VII- 29/6 - 09/7	11	1,5	1,9	2,2	2,2	3,7	3,1	
VIII- 10/7 - 24/7	15	1,6	1,8	2,1	2,1	3,7	2,9	
IX- 25/7 - 02/8	9	1,6	2,2	2,7	2,3	3,0	3,8	

TABELA 2. - Dados médios diários de evapotranspiração potencial (ETP) obtidos pelo método do tanque Classe A, de evapotranspiração máxima das cultivares Mikado e Triofin para nove períodos dentro do ciclo de crescimento (1986).

Período	Nº de Dias	ETP (mm.dia ⁻¹)	ETP (mm) (mm)	ETM (mm.dia ⁻¹)		ETM (mm.período ⁻¹)	
				Mikado	Triofin	Mikado	Triofin
I- 24/4 - 06/5	13	4,6	59,8	2,5	2,7	32,5	35,1
II- 07/5 - 16/5	10	2,5	25,0	1,2	1,4	12,0	14,0
III- 17/5 - 25/5	9	3,2	28,8	2,2	2,9	19,8	26,1
IV- 26/5 - 05/6	11	3,4	37,4	3,0	3,3	33,0	36,3
V- 06/6 - 17/6	12	3,4	40,8	2,7	3,0	32,4	36,0
VI- 18/6 - 28/6	11	3,6	39,6	4,9	4,5	53,9	49,5
VII- 29/6 - 09/7	11	3,7	40,7	6,2	6,1	68,2	67,1
VIII- 10/7 - 24/7	15	3,7	55,5	4,8	4,5	72,0	67,5
IX- 25/7 - 02/8	9	3,0	27,0	2,2	2,2	19,8	19,8
Ciclo	101	3,5	354,6	3,3	3,4	343,6	351,4

e do consumo de água das cultivares Mikado e Trioфин para nove períodos dentro do ciclo de crescimento.

Nota-se, através dessa Tabela, que o consumo de água da cultivar Mikado foi de 343,6 mm (3,3 mm.dia⁻¹) e o da Trioфин de 351,4 mm (3,5 mm.dia⁻¹). A evapotranspiração potencial acumulada durante o ciclo das cultivares foi de 354,6 mm (3,5 mm.dia⁻¹).

Na Tabela 3 encontram-se os dados relativos à razão entre a evapotranspiração máxima e a evapotranspiração potencial (k_c) dentro dos períodos considerados assim como os valores médios de k_c para as diferentes fases fenológicas. Observa-se que os valores encontrados para as cultivares Mikado e Trioфин diferem também dos valores recomendados pela FAO (DOORENBOS & KASSAM, 1979). Para a cultivar Mikado, o k_c variou de 0,51 no estabelecimento da cultura à 1,52 durante o florescimento. Para a cultivar Trioфин, para essas mesmas fases a variação foi de 0,58 a 1,45.

CONCLUSÕES

Nas condições em que foi realizado o experimento, outono-inverno e para períodos de 9 a 15 dias, os métodos de estimativa da evapotranspiração potencial tiveram comportamentos diferentes. Os maiores valores de evapotranspiração potencial foram encontrados quando utilizou-se o método do tanque Classe A e o método do saldo de radiação. Os métodos de Penman e da radiação solar tiveram comportamentos quase que semelhantes. Os menores valores foram encontrados quando se utilizou os métodos de Makking e Thornthwaite.

O consumo de água da cultivar Mikado foi de 343,6 mm (3,3 mm.dia⁻¹) e o da Trioфин de 351,4 mm (3,5 mm.dia⁻¹), sendo a evapotranspiração potencial acumulada durante o ciclo das cultivares de 354,6 mm (3,5 mm.dia⁻¹).

Os coeficientes de cultura obtidos através do método do tanque Classe A foram superiores aqueles sugeridos pela FAO.

REFERÊNCIAS

- ANDRÉ, R.G.B. & VOLPE, C.A. Estimativa do saldo de radiação em Jaboticabal, SP. (a ser publicado na Revista de Geografia).
- BERLATO, M.A. & MOLION, L.C.B. Evaporação e Evapotranspiração. Porto Alegre, IPAGRO, 1981. 96 p.

TABELA 3 - Coeficientes de cultura, obtidos através da evapotranspiração potencial estimada pelo método do tanque Classe A, de duas cultivares de ervilha (1986).

Período	ETP (mm.dia ⁻¹)	ETM (mm.dia ⁻¹)		k _c		fase fenológica	k _c médio	
		Mikado	Triofin	Mikado	Triofin		Mikado	Triofin
I- 24/4 - 06/5	4,6	2,5	2,7	0,54	0,59	estabelecimento	0,51	0,58
II- 07/5 - 16/5	2,5	1,2	1,4	0,48	0,56			
III- 17/5 - 25/5	3,2	2,2	2,9	0,69	0,91	desenvolvimento		
IV- 26/5 - 05/6	3,4	3,0	3,3	0,88	0,97	vegetativo	0,79	0,92
V- 06/6 - 17/6	3,4	2,7	3,0	0,79	0,88			
VI- 18/6 - 28/6	3,6	4,9	4,5	1,36	1,25			
VII- 29/6 - 09/7	3,7	6,2	6,1	1,68	1,65	florescimento	1,52	1,45
VIII- 10/7 - 24/7	3,7	4,8	4,5	1,30	1,22	desenvolvimento de vagens e grãos	1,30	1,22
IX- 25/7 - 02/8	3,0	2,2	2,2	0,80	0,73	maturação	0,80	0,73
Ciclo	3,5	3,3	3,4	-	-	ciclo	0,98	0,98

- DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. Yield response to water. Irrigation and Drainage, Paper 33. Roma, FAO, 1979. 193 p.
- DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. Crop water requirements. Irrigation and Drainage, Paper 24. Roma, FAO, 1975. 180 p.
- PRUITT, W.O.; LOURENCE, F.J.; VON DETTINGEN, S. Water use by crops as affected by climate and plant factors. *California Agriculture*, 26(10):10-14, 1972.
- STANHILL, G. A comparison of methods of calculating potential evapotranspiration from climate data. *Israel Journal Agricultural Research*, 11(3-4): 159-171, 1961.
- TAN, C.S. & FULTON, J.M. Ratio between evapotranspiration of irrigated crops from floating lysimeters and class A pan evaporation. *Can. J. Plant Sci.*, 60:197-201, 1980.
- VOLPE, C.A. Coeficientes de cultura (k_c) da ervilha (*Pisum sativum* L.). *Ciência Agronômica*, Jaboticabal, 1(1):9, 1986.

- Thornthwaite
- Makking
- x - - - Penman
- △ Radiação Solar
- Tanque Classe A
- - - - Saldo de Radiação

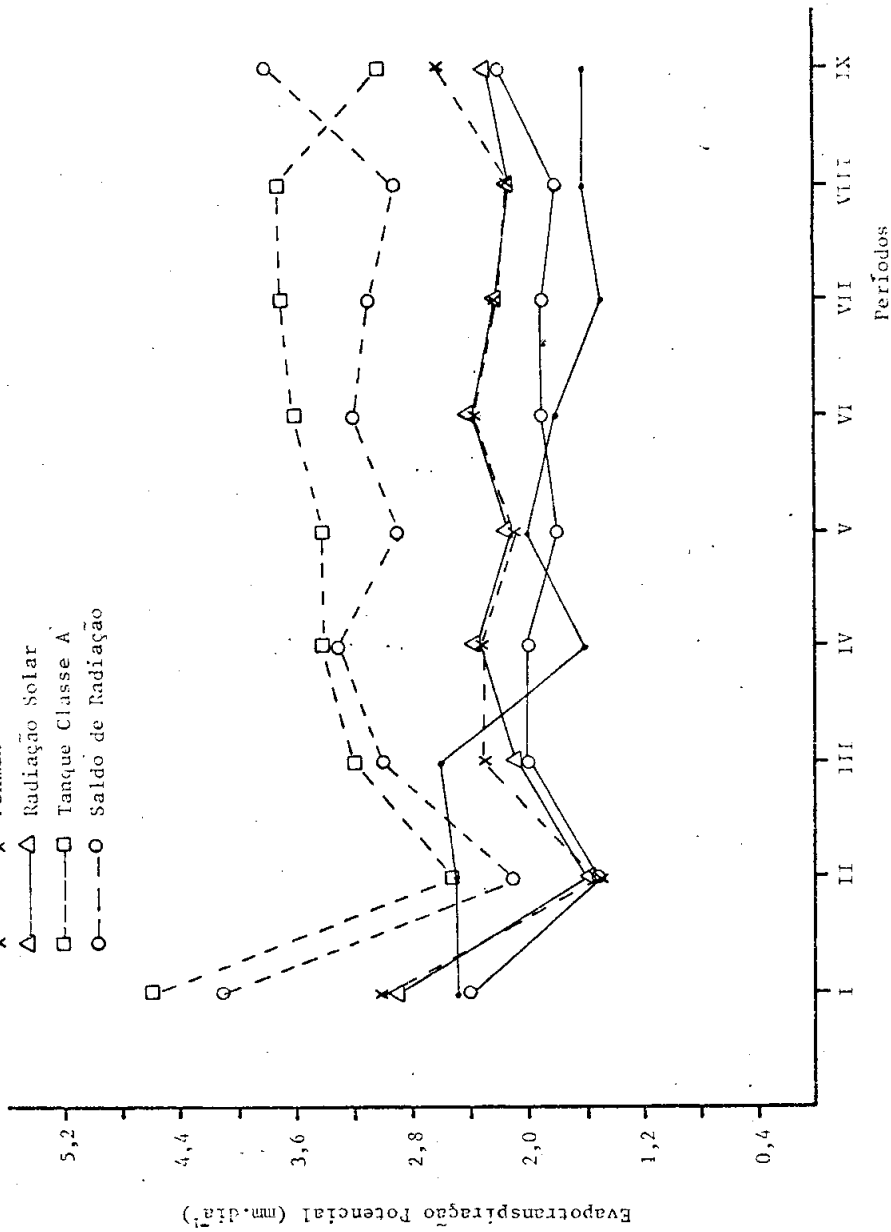


FIGURA 1 - Evapotranspiração potencial média diária estimada por diferentes métodos para nove períodos.