

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO ATRAVÉS DE
FÓRMULAS RELACIONADAS À TEMPERATURA
MÉDIA DO AR ATMOSFÉRICO *

E.J. SCALOPPI **

N.A. VILLA NOVA ***

E. SALATI ***

RESUMO

As fórmulas de Thornthwaite e Blaney-Criddle foram empregadas para estimativa da evapotranspiração de uma cultura de batata (*Solanum tuberosum* L.) submetida a três regimes de umidade do solo.

Os valores de evapotranspiração determinados pelo método do balanço de água mostraram elevada correlação com aqueles obtidos pelos dois métodos climatológicos empíricos, no período de maior crescimento vegetativo. A fórmula de Blaney-Criddle apresentou os coeficientes de correlação mais elevados e forneceu coeficientes de uso contínuo mensais e estacionais muito próximos daqueles observados em outras regiões. A fórmula de Thornthwaite, por sua vez, sub

* Entregue para publicação em 21/09/1978

** Departamento de Engenharia Rural, Fac. de Ciências Agrônomicas de Botucatu, SP.

*** Departamento de Física e Meteorologia, E.S.A. "Luiz de Queiroz", USP.

estimou acentuadamente os valores determinados durante todo o ciclo de crescimento, o que não pode ser explicado apenas em termos do atraso térmico. A imprecisão dos resultados observados nas condições do presente trabalho parece envolver a natureza dos parâmetros e constantes que definem a equação. No período inicial de crescimento os coeficientes de correlação foram pouco significativos, principalmente quando era utilizada a fórmula de Thornthwaite.

INTRODUÇÃO

A finalidade precípua da irrigação é impedir que as plantas cultivadas sofram deficits de água. Segundo VISSER (1964), a disponibilidade de água para uma cultura pode melhor ser definida, pelo intervalo no qual o clima permitirá à planta, manter uma razão de transpiração igual a razão de absorção de água pelas raízes. Enquanto a absorção de água pela planta for mantida à mesma razão de perda, não haverá deficit. Entretanto, havendo um atraso na absorção em relação às perdas, surgirão deficits que podem reduzir, irreversivelmente, a produção potencial das culturas (VAADIA *et al.*, 1961; KRAMER, 1963).

A razão de perda d'água de superfícies naturais vegetadas ou, razão de evapotranspiração, constitui um dado de determinação imprescindível em estudos hidrológicos e projetos de irrigação. TANNER (1967) descreve numerosos métodos para determinação deste processo de transferência de vapor d'água, dividindo-os em três classes:

- a. métodos de balanço de água;
- b. determinações micrometeorológicas;
- c. métodos empíricos.

A despeito das dificuldades práticas e instru-

mentais dos métodos de determinação direta ou indireta (SALOPPI, 1972), existem inúmeras fórmulas empíricas relacionando a evapotranspiração e determinados parâmetros meteorológicos. Nem sempre, porém, os parâmetros escolhidos nestas equações refletem o potencial de energia disponível ao processo evaporativo e, raramente, tais relações incluem fatores do solo ou da planta, que podem ser decisivos em determinadas condições (LEMON *et al.*, 1957; FRITSCHEN & Van BAVEL, 1964; GAVANDE & TAYLOR, 1967). Entretanto, são métodos simples que utilizam dados climatológicos facilmente determináveis, o que pode explicar seu uso generalizado para a estimativa da evapotranspiração. Entre os métodos empíricos, aqueles baseados na temperatura média do ar têm sido preferencialmente empregados.

THORNTHWAITTE (1948) propôs uma fórmula para estimar a evapotranspiração mensal, baseada na elevada correlação observada entre os dados mensais de evapotranspiração, ajustados para as variações no comprimento do dia, e a temperatura média, determinados em vários locais. MARLATT *et al.* (1961) encontraram estimativas razoáveis da evapotranspiração de uma cultura de feijão, empregando o método de Thornthwaite, até a remoção de 25 mm de água do solo. CAMARGO (1961) obteve valores mensais estimados muito próximos dos valores medidos em evapotranspirômetros tipo "Thornthwaite modificado", para uma superfície coberta de grama Batatais. DECKER (1962) encontrou valores aproximados entre a evapotranspiração medida e a estimada pelo método de Thornthwaite, para uma cultura de milho.

A fórmula empírica desenvolvida por BLANEY & CRIDDLE (1950) relaciona dados de uso consuntivo, ou evapotranspiração, com a temperatura média do ar e a porcentagem mensal de horas possíveis de insolação em relação ao total anual, através de coeficientes específicos para a cultura, estágio de crescimento e estação de cultivo. Existem, atual-

mente, determinações de coeficientes de uso consuntivo em vários locais para inúmeras culturas (BLANEY, 1955; SCHLEUSENER *et al.*, 1961; SOMMERHALDER, 1962; BLANEY & CRIDDLE, 1966; BLANEY & HANSON, 1965; ERIE *et al.*, 1968).

Neste trabalho, os autores pretenderam comparar as estimativas de evapotranspiração obtidas pelo método de Thornthwaite com os valores medidos pelo método do balanço de água, em uma cultura de batata (*Solanum tuberosum* L.) submetida a três regimes de umidade do solo e, estabelecer as correlações e os respectivos coeficientes de uso consuntivo requeridos pela fórmula de Blaney-Criddle.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido na Estação Experimental de Botucatu, Estado de São Paulo, situada a 22°52'55" de latitude sul e 48°26'22" de longitude oeste, a uma altitude média de 800 m. O relevo é normal e ondulado.

O solo pertence à classe textural argila e apresenta uma massa específica aparente média de 1,15 g.cm⁻³ nos 60 cm superficiais. O teor de água médio nos 60 cm superficiais do perfil após redução substancial na drenagem interna atingiu 0,338 cm³/cm³.

A partir de tubérculos-sementes certificados, instalou-se uma cultura de batata em 24 de junho de 1971, empregando-se a cultivar Aracy (IAC-2) e seguindo um delineamento experimental de blocos ao acaso, com três tratamentos e doze repetições. Cada parcela constituiu-se de três linhas de plantio com 4,0 m de comprimento e espaçadas de 0,80 m, sendo que, apenas a linha central foi efetivamente considerada para efeito de cálculos. Os tratamentos basearam-se em regimes de umidade do solo pro-

porcionados à cultura através de irrigação, nos quais, o potencial matricial da água do solo era permitido atingir os valores anotados na Tabela 1. Para aplicação de água adotou-se o método de sulcos em nível com os bordos fechados.

Tabela 1 - Níveis mínimos médios de umidade do solo em 40 cm de profundidade (trat. de irrigação).

Trat.	Potencial matricial (bares)	teor de água do solo (cm^3/cm^3)	% de água disponível
1	-2,00	0,262	25
2	-0,80	0,286	50
3	-0,35	0,299	75

A evapotranspiração ocorrida em um determinado período foi calculada pelo método do balanço de água (SLATYER, 1967), a partir de determinações gravimétricas do teor de água do solo, cuja amostragem baseou-se nos resultados de ALIMARAS & GARDNER (1956). Para minimizar possíveis efeitos do fluxo não saturado de água nas determinações da evapotranspiração, as amostras de solo estenderam-se até 0,60 m de profundidade, enquanto que a quantidade de água aplicada em cada irrigação foi calculada para não ultrapassar 0,40 m no perfil.

Os dados de temperatura média diária foram obtidos no Posto Meteorológico do Departamento de Física de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu, localizado a 700 m da área experimental.

A estimativa da evapotranspiração pela fórmula de Thornthwaite foi obtida através da resolução gráfica da equação geral (CAMARGO, 1960) ajustada

para um determinado período, utilizando-se a equação proposta por PELTON *et al.* (1960):

$$EP = EP^* (h/12) (n/30)$$

onde EP é a evapotranspiração ajustada para o período; EP*, a evapotranspiração mensal não ajustada (valor obtido no nomograma considerando-se uma temperatura média anual de 20,6°C); h, o número de horas possíveis de luz solar, médio diário para o período (dados interpolados de Smithsonian Meteorological Tables, 6a. ed. 1951, Tabela 171); n, o número de dias correspondentes ao período.

O fator de uso consuntivo (f) da fórmula de Blaney-Criddle, para um determinado período, foi obtido procedendo como ERIE *et al.* (1968):

$$f = p (n/N) (0,457 t + 8,13)$$

sendo p, a porcentagem média diária do número de horas possíveis de luz solar em relação ao total anual (dados interpolados e calculados de Smithsonian Meteorological Tables, 1951, por CAMARGO, 1961); N, o número de dias do mês em questão; t, a temperatura média do ar atmosférico em °C.

Os tratamentos foram individualizados 27 dias após o plantio.

RESULTADOS

Os dados de evapotranspiração e aqueles obtidos pelas fórmulas de Thornthwaite e Blaney-Criddle estão representados na Figura 1.

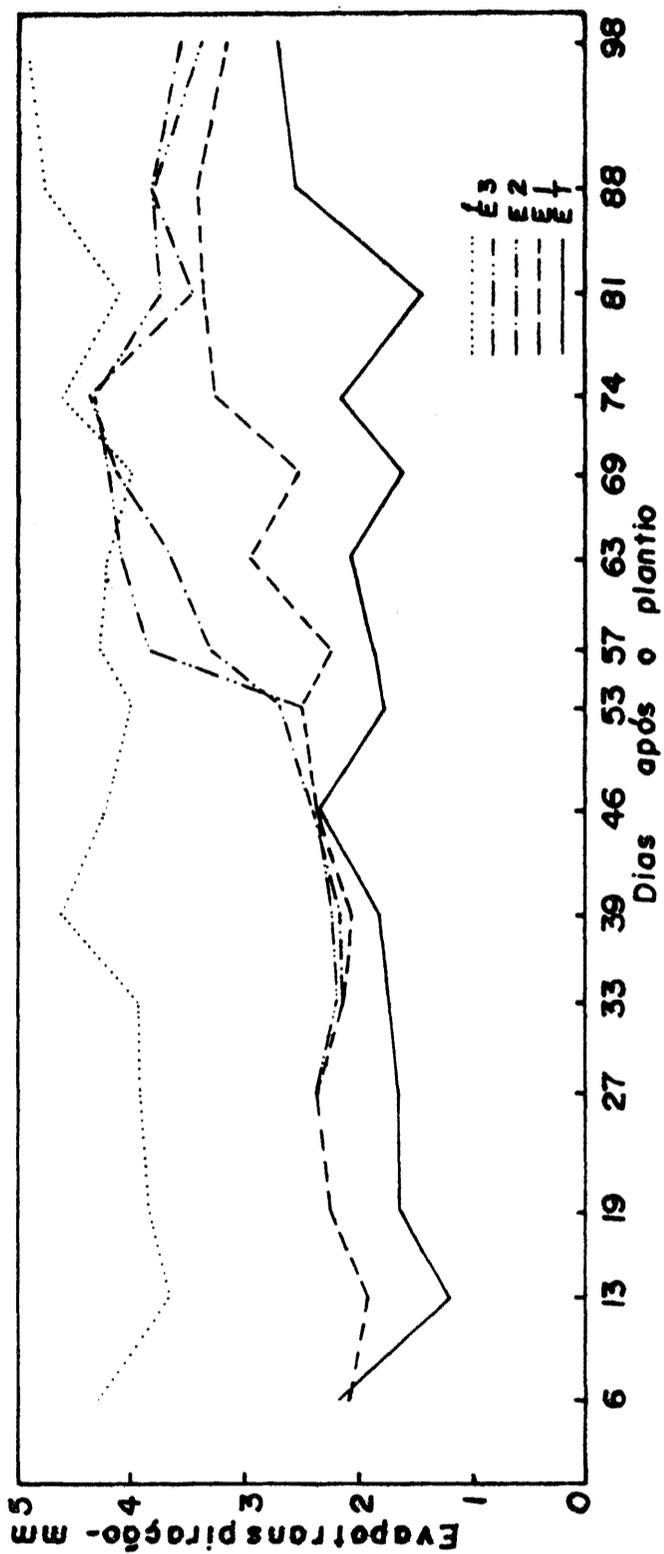


Fig.1 Valores médios diários de evapotranspiração medida e calculada pelas equações de Thornthwaite (ET) e Blaney-Criddle(f), nos diferentes períodos do ciclo de crescimento da cultura.

Analisando-se os resultados, pode-se observar variações na intensidade de evapotranspiração, tanto mais acentuadas quanto mais elevados os níveis de umidade do solo proporcionados à cultura. Para fins práticos podem ser identificados três períodos distintos com relação às perdas de água por evapotranspiração. O primeiro inclui o período inicial de crescimento estendendo-se, aproximadamente, até aos 50 dias após o plantio, com uma intensidade média de 2,2 mm diários. Após este período nota-se um aumento acentuado na razão de evapotranspiração, quando são atingidos valores médios de 4,0 mm por dia nos tratamentos mais frequentemente irrigados. De acordo com de LIS *et al.* (1964) este período de elevada exigência em água pela cultura estaria associado à formação e desenvolvimento dos tubérculos. Reduzindo o teor de água do solo a níveis correspondentes a um potencial matricial médio de -2,0 bares, observou-se uma diminuição nas perdas evaporativas de água (2,9 mm por dia). A este nível de potencial, as forças de retenção de água do solo estariam mais evidenciadas e, conseqüentemente, contribuiriam para reduzir a condutividade hidráulica do solo, o que poderia limitar o fornecimento de água às raízes e à superfície de evaporação (EAGLEMAN & DECKER, 1965), além de promover, em conseqüência, certas alterações morfológicas e fisiológicas nas plantas (VAADIA *et al.*, 1961; KRAMER, 1963) que reduziriam a intensidade de evapotranspiração. Cerca de 80 dias após o plantio a evapotranspiração declinou, mesmo nos tratamentos onde o teor de água do solo era mantido a níveis mais elevados, assumindo um valor médio diário de 3,6 mm, até aos 98 dias, quando as plantas apresentavam visíveis sintomas de maturação. Neste ponto, BOOCK (1963) recomenda suspender a irrigação, não havendo maior interesse em se determinar a evapotranspiração.

A fórmula de Thornthwaite subestimou os valores de evapotranspiração determinados nos três tratamentos durante todo o ciclo de crescimento consi

derado. Os desvios acentuaram-se no período de maior exigência em água pela cultura, nos tratamentos com regimes mais adequados de umidade do solo. Apesar da discrepância entre os valores medidos e os estimados, os dados mostraram coeficientes de correlação significativos (Tabela 2) principalmente, em condições tão próximas quanto possíveis daquelas preconizadas na definição de evapotranspiração potencial. Nos estudos de correlação, os dados relativos ao estágio final do ciclo de crescimento foram considerados em conjunto com aqueles pertencentes ao 2º estágio.

Os fatores de uso consuntivo obtidos empregando-se a fórmula de Blaney-Criddle, geralmente, excederam os valores de evapotranspiração determinados nos três tratamentos e, de maneira acentuada, no período inicial de crescimento. Entretanto, foram encontrados elevados coeficientes de correlação, principalmente nos períodos caracterizados por uma razão de evapotranspiração mais elevada.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Conforme propõe RIJTEMA (1966), os principais fatores meteorológicos que determinam a razão de evapotranspiração são a quantidade de energia disponível para vaporização da água e o fluxo de vapor das camadas de ar próximas à superfície de evaporação para as camadas superiores da atmosfera. A temperatura média do ar, por sua vez, não constitui uma medida adequada da energia disponível ao processo evaporativo (PELTON *et al.*, 1960). Estes autores atribuem ao atraso térmico, como sendo o principal erro envolvido nas estimativas para curtos períodos. Admitem que tanto a evapotranspiração como a temperatura são dependentes da radiação líquida, que apresenta uma pequena variabilidade em períodos mais longos. Consequentemente, estas variáveis periódicas, que estão razoavelmente em fase, serão correlacionadas, mesmo que não sejam

Tabela 2 - Fatores de conversão e coeficientes de correlação (r) entre a evapotranspiração (E), estimativa pela fórmula de Thornthwaite (ET) e fator de uso consuntivo (f) da fórmula de Blaney-Criddle.

Trat.	Estádio cresc.	E média mm.dia ⁻¹	ET média mm.dia ⁻¹	E/ET	r	f médio mm.dia ⁻¹	E/f	r
1	1º	2,21	1,78	1,24	0,690*	4,04	0,54	0,876**
	2º	2,91	1,77	1,63	0,866**	4,21	0,69	0,953**
	3º	3,25	2,61	1,24		4,84	0,67	
	ciclo	2,60	1,92	1,34	0,806**	4,23	0,61	0,889**
2	1º	2,26	1,78	1,26	0,568	4,04	0,55	0,665*
	2º	3,78	1,77	2,12	0,883**	4,21	0,89	0,946**
	3º	3,67	2,61	1,40		4,84	0,75	
	ciclo	2,94	1,92	1,52	0,712**	4,23	0,69	0,746**
3	1º	2,24	1,78	1,25	0,411	4,04	0,55	0,469
	2º	4,03	1,77	2,26	0,844*	4,21	0,95	0,928**
	3º	3,56	2,61	1,36		4,84	0,73	
	ciclo	2,98	1,92	1,54	0,622**	4,23	0,70	0,658**

fisicamente relacionadas. Isto poderia explicar a elevada correlação observada quando as condições aproximaram-se, tanto quanto possíveis, daquelas preconizadas na definição de evapotranspiração potencial (THORNTHWAITE, 1948) ou uso consuntivo (BLANEY & CRIDDLE, 1950) para as quais as fórmulas foram originalmente propostas.

A limitação de água imposta às plantas do tratamento menos irrigado proporcionou uma redução na intensidade de evapotranspiração, porém, apresentou ainda elevados coeficientes de correlação com os dados obtidos pelas duas fórmulas empregadas o que, aparentemente, contraria os resultados esperados pois, as estimativas prevêm condições de umidade do solo próximas à capacidade de campo. Parece provável que o intervalo de umidade do solo proporcionado ao tratamento menos irrigado, o qual era permitido atingir níveis de potencial matricial correspondentes a $-2,0$ bares, não foi amplo o suficiente para provocar uma limitação mais pronunciada de água ao processo evaporativo.

Com o objetivo de evidenciar a precisão das estimativas da evapotranspiração, relacionaram-se os dados obtidos pelo método do balanço de água nos tratamentos mais e menos irrigados (3 e 1, respectivamente) com aqueles calculados pelas equações de Thornthwaite e Blaney-Criddle. Os resultados, anotados na Figura 2, permitem concluir que o método de Thornthwaite subestimou os valores medidos, principalmente nos períodos caracterizados por uma elevada razão de evapotranspiração, como pode ser observado no tratamento 3.

A fórmula de Blaney-Criddle, por sua vez, admite um coeficiente de uso consuntivo mensal, que no presente trabalho alcançou os índices constantes na Tabela 3.

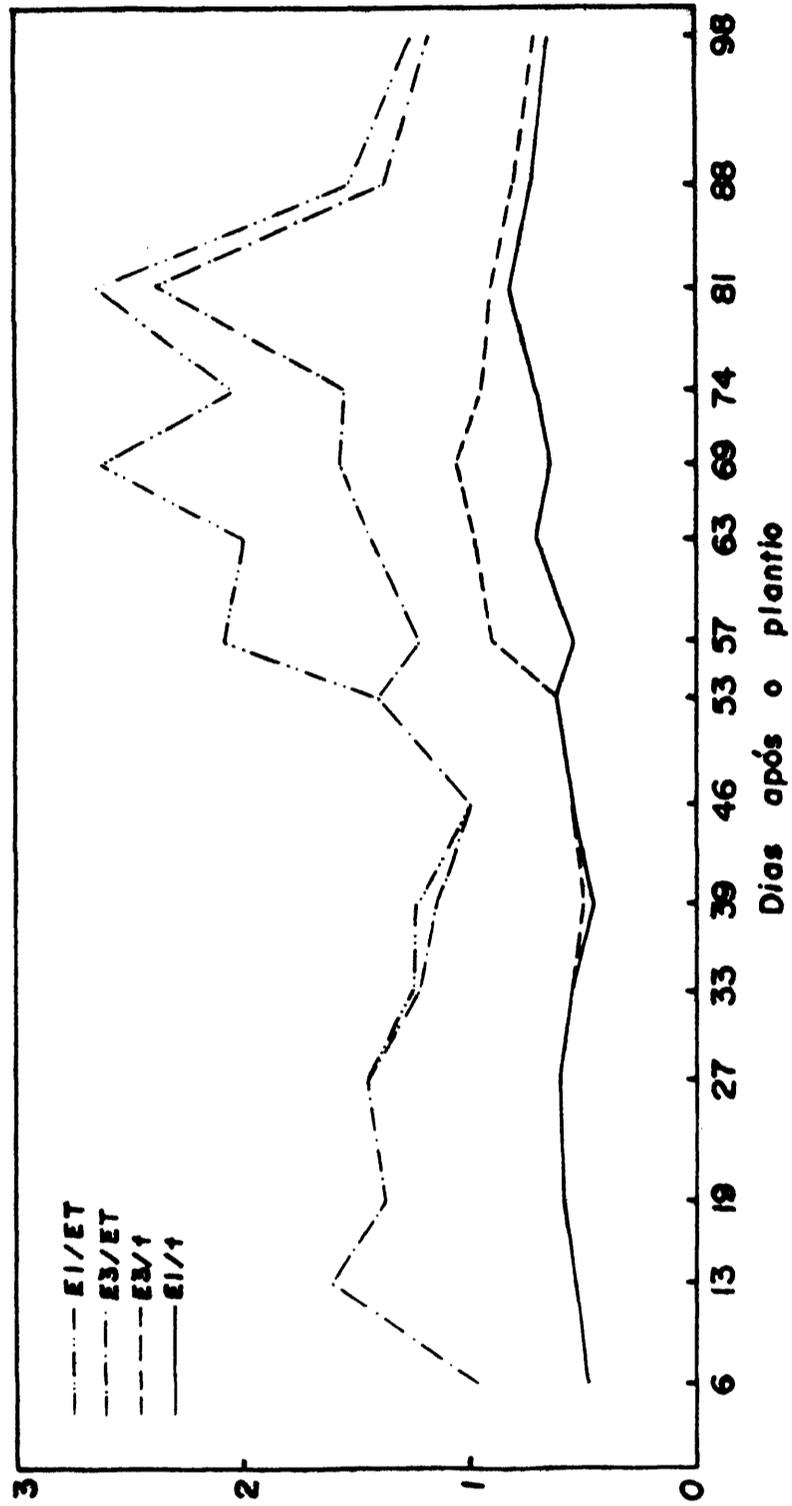


Fig.2 Relações entre a evapotranspiração medida (E) e calculada pelas equações de Thornthwaite(ET) e Blaney-Criddle(f) nos tratamentos 3 e 1 (mais e menos irrigado, respectivamente), nos diferentes períodos do ciclo de crescimento da cultura.

Tabela 3 - Valores dos coeficientes de uso consuntivo mensais (k) e estacionais (K) requeridos pela fórmula de Blaney-Criddle.

Tratamento	k				K
1	0,55	0,55	0,69	0,68	0,61
2	0,55	0,62	0,88	0,76	0,69
3	0,55	0,64	0,93	0,75	0,70

Os valores dos coeficientes obtidos nos tratamentos 1 e 2 podem ser considerados menos variáveis, porém próximos daqueles apresentados por outros autores, para o Novo México (BLANEY & HANSON, 1965), Califórnia, Utah e Dakota do Norte (BLANEY & CRIDDLE, 1966). Entretanto, a amplitude de variação observada durante o ciclo de crescimento é bem menos pronunciada que aquela estabelecida por ERIE *et al.* (1968) nas condições climáticas do Arizona, onde os coeficientes assumiram valores de 0,66, 0,63, 1,72 e 1,19.

A variabilidade das relações entre a evapotranspiração e o fator de uso consuntivo da fórmula de Blaney-Criddle mostrou-se menos pronunciada que aquela apresentada pela fórmula de Thornthwaite independente do regime de umidade do solo. Porém, DECKER (1962) empregando o método de Thornthwaite, encontrou estimativas precisas da evapotranspiração de uma cultura de milho para períodos mais longos, nas condições climáticas do Missouri. Verificou que quando o teor de água do solo superficial era mais elevado, havia uma menor variabilidade das estimativas em relação aos valores medidos. Esta observação não parece tão evidente no presente trabalho.

Os dados médios diários de radiação solar, anotados num actinógrafo Ota, e temperatura do ar,

nos diferentes períodos do ciclo de crescimento da cultura, estão representados na Figura 3. O coeficiente de correlação entre estes parâmetros meteorológicos não apresentou significância estatística ($r = 0,41$).

As constantes variações da intensidade de radiação solar e da temperatura média entre os períodos, dificultam a identificação de um atraso térmico que, de acordo com PELTON *et al.* (1960) seria o principal erro envolvido nas estimativas para curtos períodos. Entretanto, a fórmula de Thornthwaite subestimou os valores medidos durante todo o ciclo de crescimento, com um valor médio de 1,93 mm por dia. Por outro lado, a radiação solar média no mesmo período foi equivalente a 8,32 mm de água evaporada.

Em períodos de alguns dias, SLATYER (1967) admite que apenas os fluxos de calor sensível (H) e calor latente (LE) por convecção para o ar atmosférico sejam significativos no balanço de energia em uma superfície evaporante. Considera também, que a relação de Bowen ($\beta = H/LE$) num solo vegetado e bem suprido com água, normalmente é menor que 0,20 o que, em outras palavras significa que, grosseiramente, 80% da energia líquida é utilizada na evapotranspiração. TANNER (1960) encontrou que a energia utilizada na evapotranspiração de uma cultura de milho adequadamente irrigada atingiu 78% da radiação líquida diária.

Desprezando as contribuições e perdas de energia na superfície devido a reirradiação (ondas longas) e assumindo um albedo de 0,27 (FRITSCHEN, 1967) no período de maior desenvolvimento vegetativo das plantas, a radiação líquida estimada seria igual a 6,3 mm de evaporação equivalente, dos quais uma elevada proporção deve ter sido utilizada na evapotranspiração, ao menos no tratamento caracterizado por níveis mais elevados de umidade do solo. Isto equivaleria a uma intensidade de evapo-

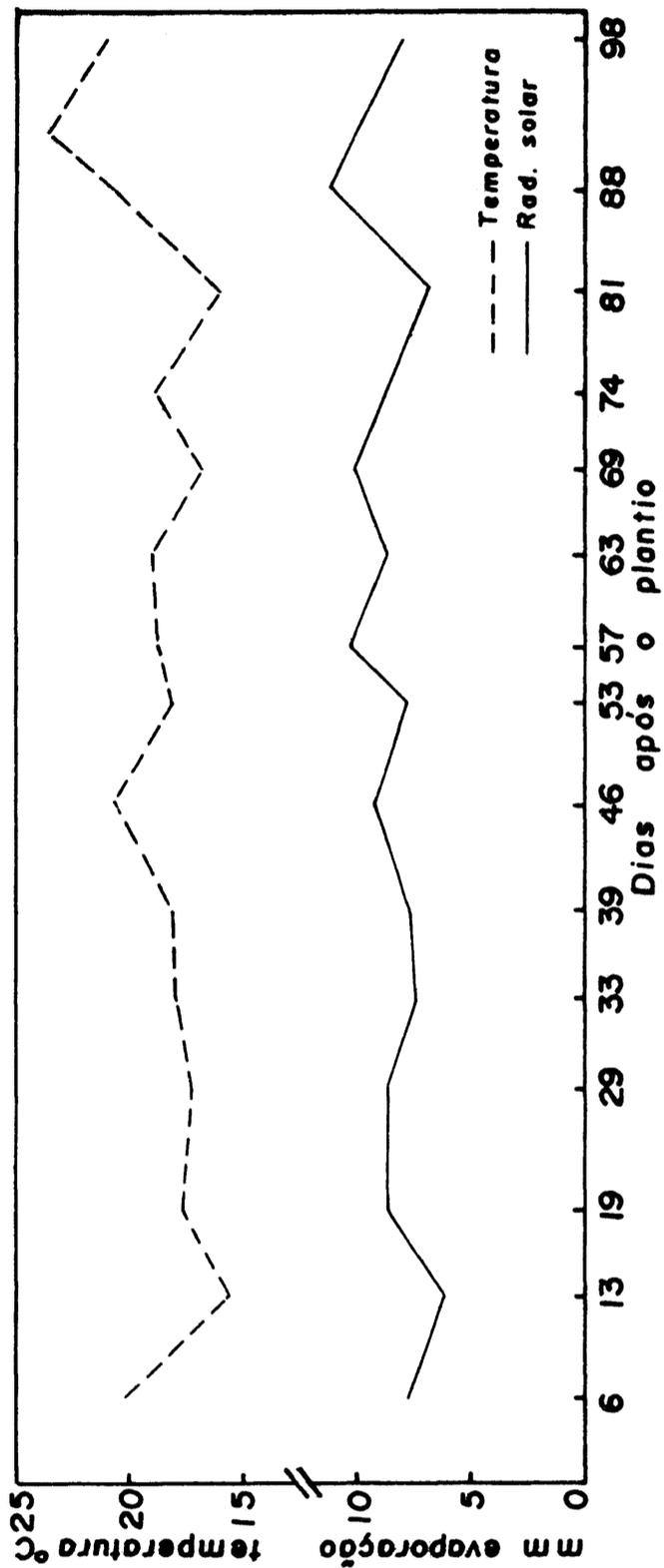


Fig.3 Valores médios diários da radiação solar (mm de evaporação equivalente) e temperatura do ar (°C) nos diferentes períodos do ciclo de crescimento da cultura.

transpiração média de 5,0 mm diários, se a cultura cobrisse totalmente a superfície do solo.

De acordo com TANNER (1960) a radiação líquida que atinge a superfície do solo em uma cultura em linhas, mesmo quando completamente desenvolvida, pode representar uma grande proporção da radiação líquida total sobre a vegetação. Assim, estando a superfície mais seca, a evaporação do solo será reduzida, diminuindo portanto a intensidade de evapotranspiração em relação a uma cultura que cobre totalmente a superfície. Nesta condição, a vegetação deverá interceptar maiores proporções da radiação incidente.

Admitindo que 60-80% da energia líquida na superfície de evaporação tenha sido utilizada na evapotranspiração, esta deveria assumir um valor médio de 3,8 a 5,0 mm diários. A evapotranspiração do tratamento mais irrigado, no mesmo período, atingiu um valor médio de 4,0 mm por dia enquanto que a fórmula de Thornthwaite acusou 1,8 mm diários o que representa, aproximadamente, 45% do valor determinado. Em condições de evapotranspiração potencial os desvios deveriam ser mais acentuados.

Parece provável que o erro envolvido nas estimativas da evapotranspiração pela fórmula de Thornthwaite, no presente trabalho, não podem ser justificados apenas pelo atraso térmico. A grandeza que caracteriza os desvios permite concluir que os parâmetros e constantes incluídos na equação mereceriam uma revisão para que sua aplicação possa ser recomendada em condições semelhantes. O próprio THORNTHWAITTE (1948) reconhece insatisfatório o desenvolvimento matemático de sua equação empírica e admite a falta de fundamento teórico. Porém, CAMARGO (1961) encontrou estimativas mensais muito próximas dos valores de evapotranspiração potencial determinados em evapotranspirômetros tipo "Thornthwaite modificado", vegetados com grama Ba-

tatais. As diferenças com os resultados aqui apresentados podem ser atribuídas, em parte, à maior exigência em água revelada pela cultura de batata, principalmente no estágio de maior desenvolvimento vegetativo das plantas e, as temperaturas relativamente mais baixas, aqui registradas durante o período experimental. A necessidade de incluir fatores de conversão inseguros nos dados obtidos através de equações baseadas na temperatura média do ar, favorece a aplicação de outros métodos empíricos, que utilizam parâmetros de determinação mais restrita, porém, melhor correlacionados com a evapotranspiração. As relações que incluem a radiação líquida ou a radiação solar que, segundo TANNER (1968) constituem os principais parâmetros meteorológicos envolvidos no processo evaporativo, bem como aquelas baseadas nos dados de tanques de evaporação, parecem ter base física satisfatória para se situarem como os melhores métodos empíricos.

SUMMARY

EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATE USING MEAN AIR TEMPERATURE FORMULAE

Thornthwaite and Blaney-Criddle's methods were used to estimate the evapotranspiration rate in a potato field-crop under three soil moisture regimes.

The evapotranspiration data obtained by the soil-water balance method were well correlated with those obtained by the two empirical methods, mainly from the stage of tuber growth to maturity. Blaney-Criddle's consumptive use factors supplied the higher correlation coefficient and presented monthly consumptive use coefficients very approximate to those observed in another sites, whereas Thornthwaite's formula markedly underestimated the measured values during all length of the growing season. This fact could not be justified by the thermal lag. The lack of precision of the estimates observed in the present field-test

seems to involve the parameters and constants of the Thornthwaite's formula.

At plant emergence and in the first phase of stolon formation, the correlation coefficients were lower than for the other stages, mainly when Thornthwaite's formula was used.

LITERATURA CITADA

- ALIMARAS, R.R.; GARDNER, C.O., 1956. Soil sampling for moisture determinations on irrigations experiments. Agron. J. 48(1): 15-17.
- BLANEY, H.F., 1955. Climate as an index of irrigation needs. Yb. Agric. U. S. Dep. Agric.: Weter. 341-345.
- BLANEY, H.F.; CRIDDLE, W.D., 1950. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. Tech. Publs. Soil Conserv. Serv. 96, 48 p.
- BLANEY, H.F.; CRIDDLE, W.D., 1966. Determining consumptive use for water planing development. Wat. Resour. Center, Univ. Calif., 35 p.
- BLANEY, H.F.; HANSON, E.G., 1965. Consumptive use and water requirements in New Mexico. Tech. Report New Mexico State Enginner 32, Santa Fe, 82 p.
- BOOCK, O.J., 1963. Instruções para a cultura da batatinha. Bolm. téc. Inst. agron. Est. Campinas 128, 68 p.
- CAMARGO, A.P., 1960. O balanço hídrico no Estado de São Paulo. Bolm. téc. Inst. agron. Est. Campinas 116, 15 p.
- CAMARGO, A.P., 1961. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. Tese de doutoramento apresentada à E.S.A. "Luiz de Queiroz" da Univ. São Paulo, 49 p. mimeogr.

- DECKER, W.L., 1962. Precision of estimates of evapotranspiration in Missouri climate. *Agron. J.* 54(6): 529-531.
- EAGLEMAN, J.R.; DECKER, W.L., 1965. The role of soil moisture in evapotranspiration. *Agron. J.* 57(6): 626-629.
- ERIE, L.J.; FRENCH, O.F.; HARRIS, K., 1968. Consumptive use of water by crops in Arizona. *Tech. Bull. Ariz. agric. Exp. Stn.* 1969, Univ. Nebr., 46 p.
- FRITSCHEN, L.J., 1967. Net and solar radiations over irrigated field crops. *Agric. Met.* 4: 55-62.
- FRITSCHEN, L.J., BAVEL, C.H.M. Van, 1964. Energy balance as affected by height and maturity of Sudangrass. *Agron. J.* 56(2): 201-204.
- GAVANDE, S.A.; TAYLOR, S.A., 1967. Influence of soil water potential and atmospheric evaporative demand on transpiration and the energy status of water in plants. *Agron. J.* 59(1): 4 - 7.
- KRAMER, P.J., 1963. Tension of moisture and plant growth. *Agron. J.* 55(1): 31-35.
- LEMON, E.R.; GLASER, A.H.; SATTERWHITE, L.E., 1957. Some aspects of the relationship of soil, plant and meteorological factors to evapotranspiration. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 21(5): 464-468.
- LIS, B.R. de; PONCE, I.; TIZIO, R., 1964. Studies on water requirements of horticultural crops. I. Influence of drought at different growth stages of potato on tuber's yield. *Agron. J.* 56(5): 377-381.
- MARLATT, W.E.; HAVENS, A.V.; WILLITS, N.A.; BRILL, G.D., 1961. A comparison of computed and measured soil moisture under snap beans. *J. geophys. Res.* 66(2): 535-541.

- PELTON, W.L.; KING, K.M.; TANNER, C.B., 1960. An evaluation of the Thornthwaite and mean temperature methods for determining potential evapotranspiration. *Agron. J.* 52 (5): 387-395.
- RIJTEMA, P.E., 1966. Derive meteorological data: transpiration. *Miscell Repr. Inst. Land Wat. Manag. Res.* 67, Wageningen, p. 55-72.
- SCALOPPI, E.J., 1972. Métodos climatológicos para avaliar a evapotranspiração. Dissertação apresentada à E.S.A. "Luiz de Queiroz" da Univ. São Paulo, 80 p. mimeogr.
- SCHLEUSENER, P.E.; NEMETHY, J.J.; SHULL, H.H.; WILLIAMS, G. E., 1961. Pasture irrigation requirements calculated from climatological data. *Trans. Am. Soc. agric. Engrs.* 4(1): 6-7, 11.
- SLATYER, R.O., 1967. *Plant-water relationship.* New York, Academic press, 366 p.
- SOMMERHALDER, B.R., 1962. Design criteria for irrigation corn. *Agric. Engng* 43: 336-339, 348.
- TANNER, C.B., 1960. Energy balance approach to evapotranspiration from crops. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 24(1): 1-8.
- TANNER, C.B., 1967. Measurement of evapotranspiration. *Agronomy* 11: 534-574.
- TANNER, C.B., 1968. Evaporation of water from plants and soil. In Kozlowski, T.T. ed. *Water deficits and plant growth (vol.1).* New York, Academic press, p. 73-106.
- VAADIA, Y.; RANEY, F.C.; HAGAN, R.M., 1961. Plant water deficits and physiological processes. *A Rev. Pl. Physiol.* 12: 265-292.
- VISSER, W.E., 1964. Moisture requirements of crops and rate of moisture depletion of the soil. *Tech. Bull. Inst. Land Wat. Manag. Res.* 32, Wageningen, 21 p.