

Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 179-185, 1998.

Recebido para publicação em 11/05/98. Aprovado em 20/07/98.

ISSN 0104-1347

**MODELO DE RITCHIE PARA DETERMINAÇÕES DA TRANSPIRAÇÃO DO FEIJOEIRO  
(*Phaseolus vulgaris* L.) E DA EVAPORAÇÃO DIRETA DA  
ÁGUA DO SOLO**

**THE RITCHIE MODEL TO DETERMINE THE TRANSPIRATION OF DRY BEAN CROP  
(*Phaseolus vulgaris* L.) AND DIRECT EVAPORATION OF THE SOIL WATER**

Lineu Neiva Rodrigues<sup>1</sup>, Gilberto Chohaku Sedyama<sup>2</sup>, Olívio José Soccol<sup>3</sup> e Everardo Chartuni Mantovani<sup>4</sup>

**RESUMO**

Avaliou-se a influência da textura do solo e do turno de rega (TR) na evaporação direta da água do solo (E) e na transpiração da cultura do feijoeiro (T), estimadas pelo modelo de RITCHIE (1972). A influência da textura do solo foi analisada por meio dos parâmetros U e  $\alpha$ . Para avaliar o efeito do turno de rega utilizaram-se os dados apresentados por RODRIGUES (1996). Observou-se que a E é menor em solos arenosos do que em solos argilosos e que a transpiração se comporta de forma inversa. Constatou-se que quanto maior o turno de rega, isto é quanto menor a frequência de irrigação, menor será o tempo de permanência do modelo na fase 1 de secamento do solo, o que determina menor E e, portanto, maior T. Diminuição no valor da E não provoca uma redução equivalente na evapotranspiração, uma vez que T aumenta.

**Palavras-chave:** modelo de Ritchie, transpiração, evaporação.

---

<sup>1</sup> Est. de Doutorado, Bolsista do CNPq, Dep. de Eng. Agrícola, UFV. 36570-000 Viçosa, MG.

<sup>2</sup> Prof. Titular, Bolsista do CNPq, Dep. de Eng. Agrícola, UFV. 36570-000 Viçosa, MG.

<sup>3</sup> Prof. Assistente, Dep. de Engenharia Rural, Faculdade de Agronomia, UDESC. Lages, SC.

<sup>4</sup> Prof. Adjunto, Bolsista do CNPq, Dep. de Eng. Agrícola, UFV. 36570-000 Viçosa, MG.

## SUMMARY

The influence of the soil texture and the irrigation frequency on direct evaporation of the soil water (E) and transpiration rate of the dry bean crop (T) was evaluated by the Ritchie's model. The influence of the soil texture was evaluated by means of U and  $\alpha$  parameters. The databases presented by RODRIGUES (1996) were used to test the influence of the irrigation frequency. It was observed that the E component was smaller in sandy soils than in clay soils, and that the transpiration rates behaved in an inverse way. It was observed that the lower irrigation frequency, the less the model timing on phase 1 of the soil drying process, resulting in both lower values of E and higher values of T. Reduction on the value of E did not provide an equivalent reduction on the evapotranspiration rate, because T component has increased.

**Key words:** Ritchie model, transpiration, evaporation.

## INTRODUÇÃO

A estimativa da quantidade de água necessária na irrigação é essencial para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação. Nos últimos anos, diversas metodologias foram propostas para essa finalidade. Dentre elas, têm-se destacado aquelas que se baseiam na utilização da evapotranspiração (ET) para quantificação da irrigação necessária. A ET constitui a transferência de água na forma de vapor do sistema solo-planta para a atmosfera, sendo do solo para a atmosfera denominada evaporação e da planta para a atmosfera transpiração.

Apesar da similaridade física dos dois processos, a evaporação da água do solo (E) não é idêntica a transpiração (T), pois, mesmo com total abertura estomática, a resistência à difusão do vapor da água é maior nas folhas do que na água livre (CHANG, 1968).

A evaporação direta é um processo puramente físico que ocorre, basicamente, nas camadas superficiais do solo. Assim, para que a água localizada nas camadas mais profundas do solo evapore, ela deve deslocar-se para a superfície; esse movimento, além de ser dependente da textura e da umidade do perfil do solo, é muito lento.

A transpiração é um processo mais complicado do que a E, uma vez que envolve tanto a fisiologia da planta como a física do fluxo de água no solo. A transpiração, por sua vez, não se limita às camadas superficiais do solo, posto que envolve a região do solo abrangida pelo sistema radicular da cultura.

Portanto, um volume de água muito maior está disponível para ser utilizado na transpiração do que na evaporação e, como consequência, a duração da fase de evaporação que depende basicamente da demanda atmosférica é maior na transpiração do que na evaporação. Em virtude da maior dificuldade em estimar a transpiração, em certos casos ela têm sido calculada como a diferença entre a evapotranspiração e a evaporação direta.

Para muitas finalidades, o simples conhecimento do valor da ET é suficiente. No entanto, na modelagem de crescimento de planta e na estimativa do consumo de água, torna-se necessário conhecer a magnitude de cada componente (E e T). Medidas desses parâmetros são, também, necessárias para o aprimoramento de práticas de manejo de irrigação.

Pruitt et al. (1984), citados por VILALLOBOS & FERERES (1990), comentaram que o conhecimento da interação frequência e método de irrigação com a E e a T é uma questão de grande interesse para a agricultura irrigada. Goldberg et al. (1976), também citados por VILALLOBOS & FERERES (1990), relataram que, desde o desenvolvimento dos métodos de irrigação localizada e subirrigação, tem-se sugerido o controle da ET pela redução da E.

KLOCKE et al. (1990) relataram que a evaporação direta da água do solo representou 30% da evapotranspiração durante um ano de produção da cultura do milho irrigada. No entanto, esse valor não deve ser tomado como padrão para todas as regiões, uma vez que a E é dependente, basicamente, da textura do solo, da frequência de irrigação e da porcentagem de cobertura do solo. Todavia, para se utilizar eficientemente a água, deve haver, também, um controle adequado da evaporação direta, uma vez que a água evaporada da superfície do solo não contribui diretamente para a produção.

Existem diversas metodologias que podem ser utilizadas na estimativa da evaporação direta da água do solo ou da transpiração. Microlisímetros e modelos que separam a E da T têm sido bastante utilizados; diferentes tipos de microlisímetros foram propostos para essa finalidade (BOAST & ROBERTSON, 1982; SHAWCROFT & GARDNER, 1983). No entanto, a validade da metodologia do microlisímetro depende do grau de alteração que esses equipamentos causam ao solo.

Apesar da relativa facilidade na aplicação da metodologia dos microlisímetros, a utilização dos modelos que separam E da T é mais prática, principalmente quando se deseja avaliar a influência de determinado fator (clima, solo ou planta) nos valores de E ou T. Diversos modelos funcionais que separam a E da T podem ser encontrados na literatura (RITCHIE, 1972; HANKS, 1974; KANEMASU et al., 1976; TANNER & JURY, 1976).

O modelo proposto por RITCHIE (1972) e modificado por RITCHIE & JOHNSON (1990) e JONES & RITCHIE (1990) assume que E é limitada pela fração da radiação líquida que atinge a superfície do solo até que certa quantia de água tenha sido evaporada. A partir daí, então, E passa a ser limitada pelo solo e é calculada por uma fórmula empírica em função do tempo. A T, por sua vez, é função do índice de área foliar (IAF) e da expressão proposta por PRIESTLEY & TAYLOR (1972).

Pelo exposto, nota-se que um melhor entendimento do efeito do turno de rega (frequência de irrigação) e do tipo de solo na evaporação direta e na transpiração pode auxiliar no manejo da irrigação visando maximizar a utilização da água.

Assim, o presente trabalho teve por objetivo analisar o comportamento da evaporação direta da água do solo e da transpiração da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob dois turnos de rega e três texturas de solo, utilizando-se para isso o modelo proposto por RITCHIE (1972) e modificado por RITCHIE & JOHNSON (1990) e JONES & RITCHIE (1990).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Evaporação direta da água do solo

O secamento do solo pode ser descrito como um processo de três fases ou estádios (PHILIP, 1957; PHILIP, 1967; IDSO et al., 1974). Segundo esses autores, a primeira fase é caracterizada, geralmente, por uma evaporação relativamente elevada e controlada pelas condições atmosféricas. A segunda fase de secamento inicia-se a partir do instante em que a água do solo não puder mais ser transmitida à superfície do solo a uma velocidade suficiente para satisfazer a demanda atmosférica. Nessa fase, a taxa de evaporação diminui, inicia-se um processo de secamento da superfície do solo e o fluxo se processa tanto na fase líquida como na fase de vapor. A terceira fase tem sido caracterizado por uma taxa de evaporação reduzida e constante.

RITCHIE (1972) apresentou uma descrição matemática simples para o processo da E, considerando as duas primeiras fases de secamento descritas por PHILIP (1957) e dois parâmetros para representá-las (U e  $\alpha$ ). O parâmetro U representa a quantidade de água que evapora na fase 1, e  $\alpha$  é uma constante relativa à difusividade da água na superfície do solo durante a segunda fase de secamento.

Durante o primeiro estágio de secamento do solo, a evaporação direta ( $E_1$ ) pode ser calculada pela equação 1 ou pela equação 2, conforme o valor do índice de área foliar, ou seja:

$$E_1 = ET_{MAX} (1 - 0,43 IAF), \quad \text{se } IAF < 1 \quad (1)$$

$$E_1 = \frac{ET_{MAX}}{1,1} e^{-0,4 IAF}, \quad \text{se } IAF \geq 1 \quad (2)$$

em que  $E_1$  é a evaporação da água do solo durante o primeiro estágio de secamento, mm dia<sup>-1</sup>;  $ET_{MAX}$  a evapotranspiração máxima, mm dia<sup>-1</sup>; e IAF o índice de área foliar, adimensional.

A  $ET_{MAX}$  é calculada com base no conceito de evaporação de equilíbrio (EEQ) desenvolvido por SLATYER & McILROY (1961) e utilizado por PRIESTLEY & TAYLOR (1972).

Durante o segundo estágio de secamento do solo, considera-se que a evaporação direta ( $E_2$ ) abaixo da cobertura vegetal seja igual àquela que ocorre em solo descoberto, uma vez que nesse estágio de secamento  $E$  é mais dependente das propriedades físico-hídricas do solo do que da demanda atmosférica (RITCHIE & JOHNSON, 1990). Nesse caso,  $E$  depende do tempo transcorrido desde a troca de fase, que por sua vez é função do parâmetro  $U$  (RODRIGUES et al., 1997). Nesse estágio, a evaporação direta ( $E_2$ ) foi calculada pela equação 3 ou 4:

$$\sum E_2 = \alpha t^{0,5} \quad (3)$$

$$E_2 = \alpha t^{0,5} - \alpha (t - 1)^{0,5} \quad (4)$$

em que  $E_2$  é a evaporação da água do solo durante o segundo estágio de secamento, mm dia<sup>-1</sup>;  $\alpha$  a constante que caracteriza o segundo estágio de secamento do solo, mm dia<sup>-0,5</sup> e  $t$  o tempo transcorrido desde o início do segundo estágio de secamento, dia.

Uma vez que a água não foi fator limitante ao processo da transpiração, ela foi calculada em função da  $ET_{MAX}$  e do estágio de desenvolvimento da cultura expresso pelo IAF, utilizando-se para isto a equação 5 ou 6:

$$T = ET_{MAX} (1 - e^{-IAF}), \quad \text{se } IAF \leq 3 \quad (5)$$

$$T = ET_{MAX}, \quad \text{se } IAF > 3 \quad (6)$$

$$\text{Se } E + T > ET_{MAX} \quad T = ET_{MAX} - E \quad (7)$$

**Tabela 1.** Valores dos parâmetros U e  $\alpha$  utilizados na simulação da evaporação direta e da transpiração para três texturas de solo.

Textura	U (mm)	$\alpha$ (mm dia <sup>-0.5</sup> )	Fonte
Grossa	6,04	3,86	RODRIGUES, 1996
Média	10,60	4,50	BURMAN & POCHOP, 1994
Fina	13,20	5,50	BURMAN & POCHOP, 1994

### **Base de dados necessários à execução do modelo**

Utilizaram-se os dados apresentados por RODRIGUES (1996), os quais foram obtidos no campo experimental da Universidade Federal de Viçosa, no Município de Viçosa, MG, cujas coordenadas geográficas são: latitude: 20°45'S, longitude: 42°51'W e altitude: 651m.

A área experimental foi dividida em duas parcelas, sendo uma irrigada com turno de rega de cinco dias e, a outra de 10 dias. O solo da área é classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico, fase terraço, com camada superficial de textura franco-arenosa.

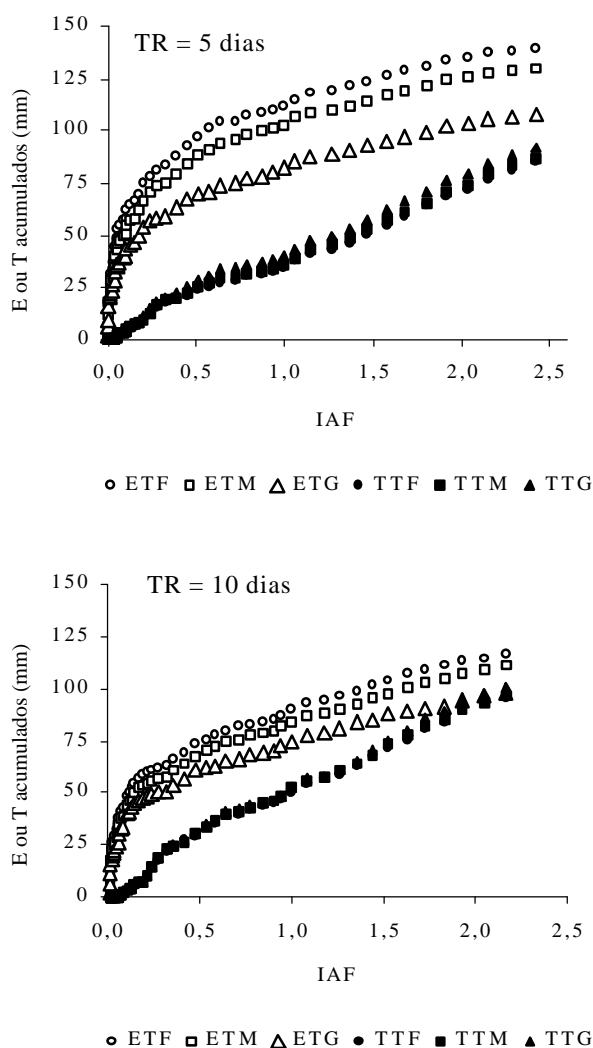
O experimento foi conduzido no período de agosto a novembro de 1994, utilizando-se o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade Carioquinha. A área foliar da cultura foi determinada uma vez por semana até a cobertura completa do solo (final do desenvolvimento vegetativo), conforme o procedimento descrito por RODRIGUES et al. (1997).

Os elementos meteorológicos necessários à execução do modelo, ou seja, temperatura máxima, temperatura mínima e insolação, foram coletados em estação agrometeorológica convencional instalada na área experimental.

A influência da textura do solo na evaporação direta e na transpiração foi avaliada por meio dos parâmetros U e  $\alpha$ . Os valores dos parâmetros utilizados na simulação são apresentados no Tabela 1.

Para estimativa dos componentes E e T pelo modelo de RITCHIE (1972), utilizou-se o programa computacional desenvolvido por RODRIGUES & MANTOVANI (1995).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**



**Figura 1.** Valores acumulados da evaporação direta (E) e da transpiração (T), em função do índice de área foliar (IAF), para solos de texturas fina (TF), média (TM) e grossa (TG), para os turnos de rega (TR) de 5 e 10 dias. Os resultados obtidos são relativos a um período de 47 dias, isto é, de 15 dias após a semeadura ( $IAF \cong 0,06$ ) até a cobertura completa do solo,  $IAF \cong 3,1$  e  $IAF \cong 2,3$ , para a cultura nas parcelas irrigadas com turno de rega de 5 e 10 dias, respectivamente.

Na Figura 1 apresentam-se os valores acumulados da evaporação direta e da transpiração para as três texturas de solo analisadas e para os turnos de rega de 5 e 10 dias em função do IAF. Em ambos os casos, observa-se tendência de crescimento do valor da transpiração e de decréscimo do valor da evaporação à medida que o IAF aumenta. Isso indica que, quando o IAF é baixo, a E é a principal componente da ET, principalmente para turnos de rega menores.

Na Tabela 2 têm-se os valores acumulados da evaporação direta e da transpiração da cultura do feijoeiro até a cobertura completa do solo, para três texturas de solo e dois turnos de rega. Nota-se que entre 62,2% e 49,3% da água evapotranspirada é devida à evaporação direta. A importância deste componente aumenta em menores valores de IAF. Por exemplo, até 10% de cobertura do solo a evaporação foi responsável por cerca de 80 % da água evapotranspirada. Isso se deve ao aumento da radiação interceptada à medida que o IAF aumenta, o que reduz a energia disponível para o processo de evaporação. Isso é mais importante no primeiro estágio de secamento, quando a taxa de evaporação é dependente, basicamente, da demanda atmosférica.

Nota-se que, à medida que se reduz o valor do parâmetro U (textura fina para textura grossa), a evaporação tem seu valor reduzido, entretanto a transpiração aumenta. O mesmo pode ser observado quando a análise é realizada em relação ao turno de rega, isto é, quando se aumenta o turno de rega (5 para 10 dias), E diminui e T aumenta.

Com a redução do valor do parâmetro U, a segunda fase de evaporação é atingida mais rapidamente. Assim, em solos arenosos (textura grossa), onde o valor desse parâmetro é menor, predomina a segunda fase de evaporação e, em consequência, a evaporação total é menor (Tabela 2).

A transpiração, por sua vez, foi calculada pelas equações 5 ou 6, conforme o valor do IAF. No entanto, constatou-se que durante a primeira fase de evaporação, o valor calculado da transpiração foi, em grande parte, corrigido pela equação 7, o que limitou o seu valor aos valores da E e da  $ET_{MAX}$ . Como na primeira fase de secamento do solo, geralmente a taxa de evaporação é alta, próxima da  $ET_{MAX}$ , a transpiração, quando corrigida, apresentou um baixo valor. No entanto, durante a segunda fase de evaporação, como a taxa de evaporação é menor e decrescente, o valor da transpiração quando foi corrigido (equação 7) ou calculado (equações 5 ou 6), apresentou um valor maior, o que explica o aumento da transpiração à medida que se reduz o valor do parâmetro U.

O efeito do turno de rega na E e na T, é similar ao efeito do parâmetro U, isto é, prolongar ou reduzir a duração das fases de evaporação. Por exemplo, quanto maior o turno de rega, menor a E e maior a T. Isso é devido, provavelmente, à contabilização do efeito da microadvecção. Assim, a redução ou eliminação da E não implica redução equivalente na ET, uma vez que ocorrerá aumento na T (VILLALOBOS & FERERES, 1990).

Para compreensão do modelo de Ritchie, é essencial o entendimento das fases de evaporação. Na Tabela 3, apresentam-se os valores acumulados, por fase de secamento do solo, da evaporação direta e da transpiração da cultura do feijoeiro até a cobertura completa do solo, para três classes texturais de solo e dois turnos de rega. Nota-se para o turno de rega de cinco dias que, à medida que diminui o valor do



parâmetro U, diminui também o valor da evaporação acumulada na fase 1 e aumenta o seu valor na fase 2;

**Tabela 2.** Valores acumulados da evaporação direta e da transpiração da cultura do feijoeiro até a cobertura completa do solo para três texturas de solo e dois turnos de rega. Viçosa, MG. 1994

Textura	Turno de rega			
	5 dias		10 dias	
	Evaporação direta (mm)	Transpiração	Evaporação direta (mm)	Transpiração (mm)
Fina	139,8 (62,2 %)*	85,0 (37,8 %)	116,5 (54,8 %)	95,9 (45,2 %)
Média	129,7 (59,9 %)	87,2 (40,1 %)	111,0 (53,5 %)	96,5 (46,5 %)
Grossa	107,9 (53,9 %)	92,2 (46,1 %)	97,9 (49,3 %)	100,8 (50,7 %)

\*Os valores entre parênteses se referem a porcentagem da evapotranspiração total ocorrida no período.

o mesmo ocorre com a transpiração. O aumento do valor da evaporação acumulada na fase 2 com a redução do valor de U se deve ao aumento do tempo de permanência nessa fase. Por exemplo, para o solo de textura fina, dos 47 dias analisados, em 28 dias (59,6 % do tempo total) a evaporação foi calculada, considerando-se a primeira fase de evaporação e, em 19 dias (40,4% do tempo total), a segunda fase. Já para o solo de textura grossa, a fase 1 predominou em 17 dias (36,2 % do tempo total) e a fase 2, em 30 dias (63,8 % do tempo total), o que explica o aumento do valor da evaporação acumulada com a redução de U.

Analisando, entretanto, a parcela irrigada com turno de rega de 10 dias, observou-se que a permanência na fase 1 de evaporação foi maior no solo de textura grossa (15 dias) do que no de textura fina (14 dias) e maior ainda no solo de textura média (19 dias), o que pode ser notado na Tabela 3, pelo aumento no valor acumulado da evaporação ao passar da textura fina para a média. Essa situação é bastante interessante e parece, a princípio, contrariar o que foi exposto anteriormente. No entanto, sabe-se que, quanto maior o valor do parâmetro U, maior o tempo de permanência do modelo na fase 1 de evaporação. Entretanto, maior também deverá ser a precipitação para reconduzir a evaporação ao estágio inicial. Assim, iniciado o segundo estágio de secamento do solo, chuvas de aproximadamente 7 mm, que ocorreram no período, foram suficientes para reconduzir o solo de textura média ao início do primeiro estágio de secamento, o que não ocorreu com o solo de textura fina. Uma vez retornado ao primeiro estágio de evaporação, o solo de textura média permaneceu mais tempo nesse estágio, devido ao maior

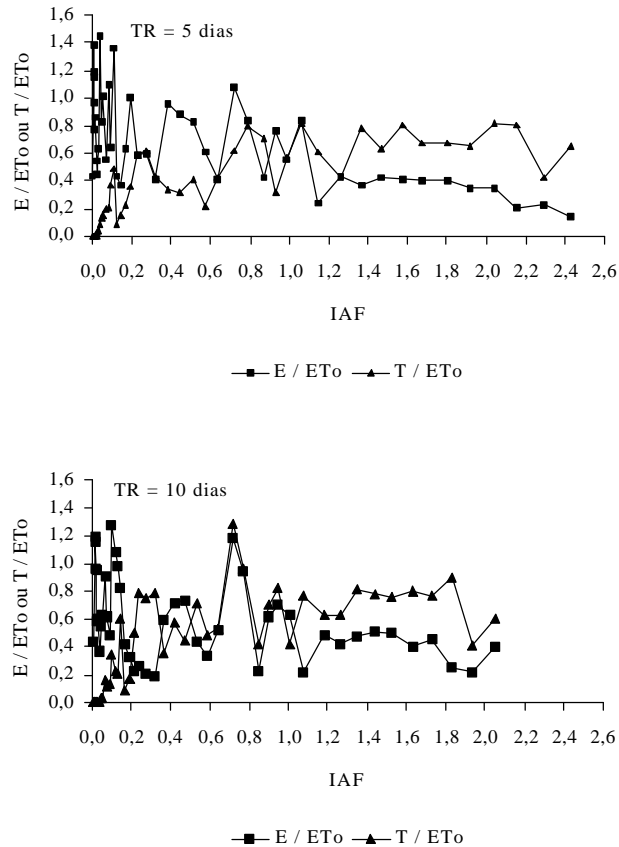
valor de U, do que o solo de textura grossa, o que explica os valores obtidos. Tal fato pode ser constatado de forma mais clara na Tabela 3 analisando-se os dados relativos à parcela irrigada com turno de rega de 10 dias.

Na Figura 2, apresentam-se os valores diários da evaporação direta e da transpiração, em função ao índice de área foliar (IAF) e normalizados em relação a evapotranspiração de referência para o solo de textura fina e turnos de rega de 5 e 10 dias .

Verifica-se, nessa figura, que na parcela irrigada com turno de rega de cinco dias, o máximo valor da relação E/ET<sub>o</sub> foi equivalente a 1,48 e, na parcela irrigada com turno de rega de 10 dias, 1,24. Constatase que a transpiração calculada pelo modelo de Ritchie não depende diretamente da demanda atmosférica, mas sim da frequência de umedecimento do solo. O que é verificado pelos valores diferentes das relações E/ET<sub>o</sub> e T/ET<sub>o</sub> nas duas parcelas analisadas. Observa-se ainda que até IAF  $\cong$  1,15 e IAF  $\cong$  0,5, para as parcelas irrigadas com turnos de rega de 5 e 10 dias, respectivamente, o principal componente da ET foi a E, a partir desses valores a T, passou a predominar. O valor de IAF para o qual a T passa a ser o principal componente da ET é dependente, basicamente, do tempo de permanência em cada fase de secamento do solo e da porcentagem de cobertura do solo. Isto é, quanto menor o turno de rega maior o tempo de permanência na fase 1 de secamento do solo e maior o tempo que a E predomina. Maior a porcentagem de cobertura do solo, indicado por maiores valores de IAF, maior o valor da transpiração calculado pela equação 5 e menor a E calculada pela e 1 ou 2, como consequência, maior o tempo que a T predomina.

**Tabela 3.** Valores acumulados, por fase de secamento do solo, da evaporação direta e da transpiração da cultura do feijoeiro até a cobertura completa do solo para três texturas de solo e dois turnos de rega. Viçosa, MG. 1994.

Textura	Turno de rega							
	5 dias				10 dias			
	Evaporação direta (mm)		Transpiração (mm)		Evaporação direta (mm)		Transpiração (mm)	
	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2
Fina	83,2	56,5	56,4	28,7	38,6	77,9	20,6	75,3
Média	66,3	63,4	50,3	36,9	49,9	61,1	36,2	60,2
Grossa	36,3	71,6	38,8	53,4	36,3	61,6	24,9	75,9



**Figura 2.** Valores diários da evaporação direta e da transpiração, normalizados em relação à evapotranspiração de referência ( $E_{to}$ ), em função ao índice de área foliar (IAF), para o solo de textura fina e turnos de rega (TR) de 5 e 10 dias. Viçosa, MG. 1994.

A tendência da relação  $E/E_{to}$  e  $T/E_{to}$  para as demais texturas de solo são semelhantes às apresentadas na Figura 2, variando-se apenas os valores máximos e mínimos.

Os coeficientes lineares e angulares das equações ajustadas com os respectivos valores de  $r^2$  para a relação  $T/E_{to}$  acumulada em períodos de 5 ou 10 dias, conforme o turno de rega, podem ser vistos na Tabela 4. A curva que melhor se ajustou à relação  $T/E_{to}$  da parcela irrigada com frequência de cinco dias foi do tipo  $T/E_{to} = a IAF^b$ , para os solos de texturas fina e média. Os demais ajustes foram do tipo  $T/E_{to} = a \ln(IAF) + b$ .

Salienta-se que se as equações apresentadas na Tabela 4 forem utilizadas em sistemas irrigados com turnos de rega diferentes daqueles para os quais elas foram geradas, a relação  $T/E_{to}$  será subestimada (se o turno de rega for maior) ou superestimada (se o turno de rega for menor).

## CONCLUSÕES

Os resultados permitem inferir as seguintes conclusões:

- a) a evaporação direta é maior em solos de textura fina do que em solos de textura grossa; o contrário ocorre com a transpiração;
- b) quanto maior o turno de rega, menor a evaporação e maior a transpiração;
- c) à medida que a superfície do solo seca, a taxa de evaporação direta reduz, o que é compensado, pelo menos parcialmente, pelo aumento na transpiração.

**Tabela 4.** Valores dos coeficientes das equações ajustadas aos dados da relação T/ET<sub>o</sub>

Textura	Turno de rega					
	5 dias			10 dias		
	a	B	r <sup>2</sup>	a	b	r <sup>2</sup>
Fina	0,62*	0,83	0,91	0,21**	0,61	0,98
Média	0,64*	0,83	0,90	0,21**	0,61	0,97
Grossa	0,16**	0,64	0,94	0,22**	0,65	0,99

\*  $T/ET_o = a IAF^b$

\*\*  $T/ET_o = a \ln(IAF) + b$

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOAST, C.W., ROBERTSON, T.M. A micro-lysimeter method for determining evaporation from bare soil: description and laboratory evaluation. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 46, p. 689-696, 1982.
- BURMAN, R., POCHOP, L.O. **Evaporation, evapotranspiration and climatic data**. Amsterdam : Osevier, 1994. 278 p. (Developments in atmosphere Science, 22).
- CHANG, J.H., **Climate and agriculture: an ecological survey**. Chicago : Aldine Publishing Company, 1968. 304 p.
- HANKS, R.J. Model for predicting plant yield as influenced by water use. **Agron. J.**, Madson, v. 66, p. 660-665, 1974.

- IDSO, S.B., REGINATO, R.J., JACKSON, R.D. et al. The three stages of drying of a field soil. **Soil Sci. Am. Proc.**, Madison, v. 38, p. 831-837, 1974.
- JONES, J.W., RITCHIE, J.T. **Crop growth models**. In: HOFFMAN, G. J., HOWEL, T. A., SOLOMON, K. H.(eds). Management of farm irrigation systems. St. Joseph : ASAE, 1990. p. 63-89.
- KANEMASU, E.T., STONE, L.R., POWERS, W.L. Evapotranspiration model tested for soybean and sorghum. **Agron. J.**, Madson, v. 68, p. 569-572, 1976.
- KLOCKE, D.L., MARTIN, D.L., TODD, R.W. et al. Evaporation measurements and predictions from soils under crop canopies. **Trans. ASAE**, St. Joseph, v. 33, n. 5, p. 1590-1596, 1990.
- PHILIP, J.R. Evaporation, and moisture and heat fields in the soil. **J. Meteorol.**, Washington, v. 14, p. 354-366, 1957.
- PHILIP, J.R. The second stage of drying of soil. **J. Appl. Meteorol.**, Boston, v. 6, p. 581-582, 1967.
- PRIESTLEY, C.H.B., TAYLOR, R.J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. **Mon. Weather Review**, v. 100, p. 81-92, 1972.
- RITCHIE, J. T. Model for predicting evaporation from a row crop with an incomplete cover. **Water Resources Research**, v. 8, p. 1204-1213, 1972.
- RITCHIE, J.T., JOHNSON, B.S. **Soil and plant factors affecting evaporation**. In: STWART, B.A., NIELSEN, D.R. (Eds). Irrigation of agricultural crops. Madison: American Society of Agronomy, 1990. p. 363-90. (Agronomy monograph, 30).
- RODRIGUES, L.N., MANTOVANI, E.C. Programa computacional para cálculo da evapotranspiração utilizando o modelo de Ritchie. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 4, n. 49, p. 1-7, 1995.
- RODRIGUES, L.N., MANTOVANI, E.C., RAMOS, M.M. et al. O modelo de Ritchie na determinação da evapotranspiração do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) irrigado. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 44, n. 252, p. 191-204, 1997.
- RODRIGUES, L.N. **Análise e teste do modelo de Ritchie: estudo de caso para a determinação da evapotranspiração do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) irrigado**. Viçosa, MG, 1996. 78 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- SHAWCROFT, R.W., GARDNER, H.R. Direct evaporation from soil under a row crop canopy. **Agric. Meteorol**, v. 28, p. 229-238, 1983.

TANER, C.R., JURY, W.A. Estimating evaporation and transpiration from a row crop during incomplete cover. **Agron. J.**, Madson, v. 68, p. 239-243, 1976.

VILLALOBOS, F.J., FERERES, E. Evaporation measurements beneath corn, cotton, and sunflower canopies. **Agron. J.**, Madson v. 82, n. 6, p. 1153-1159, 1990.