

# EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA DO FEIJOEIRO IRRIGADO: INFLUÊNCIA DA DENSIDADE DE PLANTIO<sup>1</sup>.

G. A. de MEDEIROS<sup>2</sup>; F. B. ARRUDA<sup>3</sup> & SAKAI<sup>3</sup>

1. Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor defendida junto à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP - em janeiro de 1996.

2. Eng<sup>o</sup> Agrícola, Doutor, Professor do Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal – CREUPI. Av. Helio Vergueiro Leite, s/ n., CP 05, CEP 13.990-000, Espírito Santo do Pinhal – SP. E-mail: gerson\_medeiros@creupi.br

3. Eng<sup>o</sup> Agrônomo, PhD, Instituto Agronômico do Estado de São Paulo – IAC, Centro de Ecofisiologia e Biofísica. Av. Barão de Itapura, 1481, Caixa Postal 28, CEP 13001-970, Campinas – SP. E-mail: farruda@iac.sp.gov.br  
aceito para publicação em: 12/12/2003.

## RESUMO

A eficiência do uso da água (EUA) permite avaliar os efeitos do manejo da água, do solo e da planta sobre o consumo de água e produção da cultura. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência da densidade populacional sobre a EUA do feijoeiro irrigado. Utilizou-se de um delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e três repetições. Os tratamentos de densidade populacional de plantas foram: cultura semeada em evapotranspirômetros com uma densidade de semeadura de 50 plantas m<sup>-2</sup>, com redução para 25 plantas m<sup>-2</sup>, quando alcançada a cobertura completa do solo; cultura semeada com densidades populacionais de 14 e 28 plantas m<sup>-2</sup> em campo irrigado. A evapotranspiração foi estimada a partir do balanço hídrico de campo. Não houve diferença significativa (P < 0,05) entre os tratamentos de 14, 25 e 28 plantas m<sup>-2</sup>, os quais alcançaram valores de EUA de 0,627, 0,710 e 0,536 kg m<sup>-3</sup>, respectivamente.

Palavras-chave: eficiência do uso da água, irrigação, feijoeiro.

## ABSTRACT

### WATER USE EFFICIENCY OF IRRIGATED BEANS: INFLUENCE OF PLANT DENSITY

Water use efficiency (WUE) permits to evaluate the effect of water, soil and plant management on water consumption and yield of crop. The aim of this research was to determine the influence of population density on

WUE for irrigated beans. A completely randomized design was used with three treatments and four replications. Population density treatments were: crop sowed in evapotranspirometers at a density of 50 plants m<sup>-2</sup> reduced to 25 plants m<sup>-2</sup>, when the canopy achieved full ground cover; and crop sowed with population densities of 14 and 28 plants m<sup>-2</sup> in irrigated field. Evapotranspiration was estimated from water balance at field condition. There are no significative difference (P < 0,05) between 14, 25 and 28 plants m<sup>-2</sup> treatments, which achieved a WUE of 0,627; ,710 and 0,636 kg m<sup>-3</sup>, respectively.

Keywords: irrigation, water use efficiency, beans.

## INTRODUÇÃO

Um dos principais impactos ambientais da agricultura irrigada está relacionado ao volume de água doce captado para o suprimento das necessidades hídricas das culturas, correspondendo a aproximadamente 63% de toda a demanda desse recurso natural no Brasil (ANA, 2002). Por outro lado, a intensificação do uso da terra pelo emprego de técnicas como a irrigação tem proporcionado o aumento anual do número de safras, redução dos riscos do empreendimento e melhorias na produtividade (Arruda et al., 1994), contribuindo sobremaneira para a produção de alimentos e dinamizando a economia.

Práticas agrícolas e técnicas conservativas do uso da água na agricultura irrigada assumem, portanto,

considerável importância, seja para economizar os recursos hídricos, seja para otimizar a eficiência do seu uso (Medeiros, 2002).

A eficiência do uso da água (EUA) é a relação entre a produção de grãos e o volume de água utilizado pela cultura durante todo o seu ciclo, fornecendo um modo simples de avaliar se a produção está sendo limitada pelo suprimento de água ou por outros fatores (Angus e Herwaarden, 2001). Conseqüentemente, constitui-se num dos parâmetros mais adequados para se aferir o efeito de práticas agrícolas e a condução da cultura sobre o uso consuntivo e produção final de grãos, sendo uma informação importante para órgãos gerenciadores de recursos hídricos e agricultores.

O aumento da eficiência do uso da água está relacionado com o manejo do solo, pois este afeta o processo de evapotranspiração por modificar a energia disponível, a disponibilidade de água ao longo do perfil do solo e a taxa de troca de vapor entre o solo e a atmosfera (Hatfield et al., 2001). Segundo os mesmos autores, práticas culturais, como adição de nitrogênio e fósforo, têm um efeito indireto sobre o uso da água por meio da eficiência fisiológica da planta.

Diversos autores têm avaliado a eficiência do uso da água para uma variedade de culturas submetidas a diferentes manejos de água, solo e planta, entre as quais o feijoeiro (Tennakoon e Milroy, 2003; Karam et al. 2003; Medeiros, 2002; Stone e Moreira, 2000; Walley et al., 1999, Azooz e Arshad, 1998; Sharrat, 1998; Calvache et al., 1997; Aase e Pikul, 1995; Barros e Hanks, 1993; Tanaka, 1990).

Portanto, a literatura tem comprovado que o manejo desses recursos naturais exerce influências diretas e indiretas sobre a eficiência do uso da água.

Além da busca de técnicas que elevem a EUA, a determinação de valores de referência desse parâmetro torna-se uma informação regional importante para os órgãos gerenciadores de recursos hídricos, seja para a cobrança deles, seja para a previsão de alocação de volumes de água para os diferentes setores da sociedade.

O objetivo do presente trabalho foi o de avaliar a eficiência do uso da água para a cultura do feijoeiro irrigado semeado em Latossolo vermelho e submetido a diferentes densidades de plantio, na cidade de Campinas - SP.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Núcleo Experimental de Campinas (NEC), na área de pesquisa em irrigação e drenagem do Centro de Ecofisiologia e Biofísica, do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo (IAC), cujas coordenadas são longitude 47°04' W e latitude 22°52' S. O solo da área do experimento foi classificado como Latossolo Roxo distrófico A moderado, muito argiloso, unidade Barão Geraldo, de acordo com Oliveira & Rotta (1979). Na atual classificação brasileira de solos, corresponde ao Latossolo Vermelho distroférico, segundo Embrapa (1999).

O período em que transcorreu o ensaio foi mais quente e seco do que as normais climatológicas observadas nessa área, segundo dados fornecidos pelo Centro de Ecofisiologia e Biofísica do IAC e apresentados na Tabela 1 (Medeiros et al., 2000).

Destaca-se na Tabela 1, a demanda evaporativa média durante o ensaio, determinada pelo método de Penman-Monteith, modificado pela FAO (Allen et al., 1998), a qual atingiu 5,5 mm dia<sup>-1</sup>, sendo a máxima taxa média evaporativa de 6,2 mm dia<sup>-1</sup>, alcançada no período de 1º a 20 de outubro (36 a 56 dias após a emergência), durante a fase de pleno florescimento (Medeiros et al., 2001)

Durante os meses de setembro e outubro, as chuvas foram de apenas 51,9 mm, enquanto, nesse mesmo período, a precipitação média atingiu 189,2 mm. Além de escassa, a chuva foi mal distribuída, pois, do total precipitado, de 181 mm ao longo do ciclo da cultura, 49% (88,5 mm) ocorreram na última semana do experimento. Essas condições meteorológicas favoreceram o monitoramento da demanda hídrica do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), variedade IAC - Carioca, pois durante praticamente todo o ciclo não se

verificou qualquer entrada não controlada de água nos lisímetros, além de se minimizar a importância relativa da componente drenagem profunda, de difícil determinação em estudos de balanço hídrico, sob

condições de campo (Reichardt, 1985). Além disso, as condições climáticas observadas durante o ensaio não permitiriam uma produção econômica da cultura do feijoeiro sem o emprego da irrigação.

**Tabela 1.** Normais climatológicas e valores médios mensais observados no ano de 1994 em Campinas, SP, segundo dados fornecidos pelo Centro de Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agrônomo (Medeiros et al, 2000)

Mês	Precipitação (mm)		Umidade relativa (%)		Temperatura média (°C)	
	Normal	1994	Normal	1994	Normal	1994
Ago.	37,4	0,0	64,6	62,3	18,9	19,3
Set.	65,6	6,0	65,5	53,7	20,3	23,2
Out.	123,6	45,9	69,2	60,7	21,3	24,7
Nov.	137,5	177,8	70,8	64,4	22,1	24,0

A cultivar IAC - Carioca foi cultivada com diferentes densidades de semeadura, em um delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos e quatro repetições, sob duas condições distintas de manejo de água e planta: a) sob condições de campo, com aplicação de água por sistema de irrigação por aspersão convencional e populações de 28 e 14 plantas m<sup>-2</sup>, totalizando oito parcelas de 13 x 13 m; b) em quatro evapotranspirômetros com nível freático constante, sob uma densidade de plantio de 50 plantas m<sup>-2</sup>. Aos 25 dias após a emergência (DAE), quando se atingiu a cobertura total do solo, fez-se um desbaste, reduzindo-se a população para 25 plantas m<sup>-2</sup>.

Os evapotranspirômetros foram instalados no meio de uma área também semeada com a cultura do feijoeiro de aproximadamente 1,0 ha. Eles eram compostos por reservatórios com mil litros de capacidade e uma área de exposição de 1,41 m<sup>2</sup> cada, equipados com um sistema de alimentação de água para manter um nível freático a 0,45 m abaixo da superfície do solo. A descrição detalhada, o funcionamento e as adaptações realizadas nos evapotranspirômetros estão descritas em Medeiros & Arruda (1999).

A cultura foi semeada no dia 16 de agosto de 1994, nos evapotranspirômetros e no campo, e a emergência se deu dez dias depois, a 26 de agosto.

A evapotranspiração real (ET) do feijoeiro foi estimada por meio do balanço hídrico de campo, descrito em Reichardt (1985), para um volume de controle com 0,40 m de profundidade, correspondente a uma concentração superior a 90% de raízes para essa cultura (Medeiros, 2002; Wutke et al., 1998; Pires et al., 1991).

A evapotranspiração ocorrida nos evapotranspirômetros no período de 5 a 20 DAE correspondeu a uma densidade de plantio de 50 plantas m<sup>-2</sup>. Para se determinar o consumo de água para uma cultura com a mesma densidade ao longo de todo o ciclo, simulou-se a demanda hídrica do feijoeiro, no período de 4 a 25 DAE, considerando-se uma densidade de semeadura de 25 plantas m<sup>-2</sup>, ou seja, metade daquela observada no mesmo período.

Nos evapotranspirômetros, o consumo diário de água, no período de 4 a 25 DAE, foi simulado pela seguinte relação:

$$ET = kcb \times ET_0 \quad (1)$$

em que ET é a evapotranspiração estimada da cultura, kcb é o coeficiente de cultura basal (Wright, 1982), ET<sub>0</sub> é a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith FAO (Allen et al., 1998), cujos

dados climáticos foram coletados em estação meteorológica localizada na área do Núcleo Experimental do IAC, a 900 m da área do ensaio.

O coeficiente de cultura basal ( $k_{cb}$ ) foi determinado a partir da porcentagem de cobertura vegetal (%CVeg) pela seguinte relação (Medeiros et al., 2001):

$$k_{cb} = 0,320 + 3,0 \times 10^{-4} (\%CVeg) + 5,5 \times 10^{-4} (\%CVeg)^2 - 2,5 \times 10^{-6} (\%CVeg)^3 \quad (2)$$

$$n = 68, r^2 = 0,97^{**}$$

Considerou-se que a porcentagem de cobertura vegetal da cultura para a densidade de semeadura de 25 plantas  $m^{-2}$  correspondeu à metade daquela medida para a densidade de 50 plantas  $m^{-2}$ , no período de 4 a 25 DAE.

Após 25 DAE e até o final do ciclo, a cultura do feijoeiro apresentou a densidade populacional de 25 plantas  $m^{-2}$ , sendo a evapotranspiração da cultura semeada nos evapotranspirômetros obtida diretamente a partir do balanço hídrico nesse equipamento.

Finalmente, calculou-se a eficiência do uso da água de duas formas. A primeira, baseada na produção de grãos (Hatfield et al., 2001), por meio da seguinte relação:

$$EUA_g = \frac{P}{ET} \quad (3)$$

em que  $EUA_g$  é a eficiência do uso da água ( $kg\ m^{-3}$ );  $P$  é a produção da cultura, calculada a partir da produção de grãos do feijoeiro ( $g\ m^{-2}$ ) e  $ET$  é a evapotranspiração da cultura (mm).

A segunda, a partir da matéria seca total da parte aérea da cultura (Hatfield, 2001):

$$EUA_{MS} = \frac{MS}{ET} \quad (4)$$

em que  $EUA_{MS}$  é a eficiência do uso da água ( $kg\ m^{-3}$ );  $MS$  é a matéria seca total da parte aérea do feijoeiro ( $g\ m^{-2}$ ) e  $ET$  é a evapotranspiração da cultura (mm).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de grãos observada, ao final do ensaio, atingiu  $2.137\ kg\ ha^{-1}$  e  $2.253\ kg\ ha^{-1}$  para os tratamentos de 14 e 28 plantas  $m^{-2}$ , respectivamente, sem qualquer diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Duncan, como pode ser observado na Tabela 2. Esse equilíbrio observado nos resultados de produção, entre os tratamentos conduzidos sob irrigação por aspersão, deve-se à menor competição por água e radiação no tratamento de densidade populacional 14 plantas  $m^{-2}$ , levando a um desempenho superior por planta em relação ao tratamento de 28 plantas  $m^{-2}$  (Medeiros et al., 2001).

Já a produção do feijoeiro semeado nos evapotranspirômetros alcançou  $3.197\ kg\ ha^{-1}$ , sendo 49,6% e 41,9% maior do que aquela observada nos tratamentos de densidade de semeadura 14 e 28 plantas  $m^{-2}$ , respectivamente, podendo ser considerada uma alta produção, pelas condições tropicais verificadas durante o ensaio (Laing et al, 1994).

Apesar da alta diferença relativa entre os valores de produção, não houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados, provavelmente devido à variabilidade observada nos resultados obtidos nas parcelas experimentais.

Dentre os fatores que contribuíram para a maior produção do feijoeiro semeado nos evapotranspirômetros, destaca-se o suprimento uniforme de água ao longo de todo o ciclo da cultura, o qual possibilitou a manutenção de um potencial médio de água no solo de  $-3,2\ kPa$  a  $0,10\ m$  de profundidade (Medeiros & Arruda, 1999).

A biomassa seguiu o mesmo comportamento observado na produção, ou seja, não se verificou qualquer diferença significativa entre os tratamentos avaliados. Sob as condições de campo, a produção de matéria seca total alcançou  $4.693$  e  $4.841\ kg\ ha^{-1}$  para

os tratamentos de 14 e 28 plantas  $m^{-2}$  respectivamente, e 7.523  $kg\ ha^{-1}$  para a cultura semeada nos evapotranspirômetros, correspondendo a uma diferença relativa de 60,3% e 55,4% entre os tratamentos de 14 e 28 plantas  $m^{-2}$  e o de 25 plantas  $m^{-2}$ , respectivamente.

Essas elevadas diferenças relativas, observadas tanto na produção quanto na matéria seca, não se mantiveram quando se comparou a eficiência do uso da água baseada na produção de grãos ( $EUA_g$ ) e na matéria seca total ( $EUA_{MS}$ ).

Obteve-se uma  $EUA_g$  de 0,710  $kg\ m^{-3}$  para o tratamento de 25 plantas  $m^{-2}$ , superior àquelas observadas nos tratamentos de 14 e 28 plantas  $m^{-2}$  e

que atingiram 0,630 e 0,693  $kg\ m^{-3}$ , respectivamente, correspondendo a uma diferença relativa de 12,7% e 2,5%.

Esse fato é justificado pelo maior consumo de água verificado na cultura semeada nos evapotranspirômetros em relação àquelas irrigadas no campo. O principal motivo para esse fenômeno deve-se, provavelmente, ao maior desenvolvimento da cultura conduzida no interior dos evapotranspirômetros em relação àquela localizada na bordadura, o que deve ter acentuado as condições advectivas verificadas nos períodos de maior temperatura, ocorridas durante o período de pleno florescimento.

**Tabela 2.** Eficiência do uso da água baseada na produção de grãos (11% de umidade) e matéria seca total do feijoeiro irrigado, semeado sob as densidades de plantio 14, 25 e 28 plantas  $m^{-2}$ , em Campinas – SP, no ano de 1994.

Tratamento	ET	Produção		Eficiência do uso da água	
		Grãos	Biomassa	Grãos	Biomassa
plantas $m^{-2}$	Mm	----- $g\ m^{-2}$ -----		----- $kg\ m^{-3}$ -----	
14 (campo)	339,0	213,7a	469,3 <sup>a</sup>	0,630a	1,384a
28 (campo)	325,0	225,3a	484,1 <sup>a</sup>	0,693a	1,490a
25 (evapot)	451,4	319,7a	752,3 <sup>a</sup>	0,710a	1,691a

Evapot: cultura conduzida nos evapotranspirômetros; campo: cultura conduzida sob condições de campo irrigado sob sistema de aspersão convencional; Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5%.

No cálculo de  $EUA_{MS}$ , observa-se que a diferença relativa aumenta entre os tratamentos. Em termos absolutos, os valores de  $EUA_{MS}$  atingem 1,384  $kg\ m^{-3}$ , 1,490  $kg\ m^{-3}$  e 1,691  $kg\ m^{-3}$  para os tratamentos de 14 plantas  $m^{-2}$ , 28 plantas  $m^{-2}$  e 25 plantas  $m^{-2}$ , respectivamente, correspondendo a uma superioridade na  $EUA_{MS}$  de 22,2% e 13,5% da cultura conduzida nos evapotranspirômetros em relação ao feijoeiro semeado sob a densidade populacional de 14 plantas  $m^{-2}$  e 28 plantas  $m^{-2}$ , respectivamente. Contudo, esse aumento na diferença relativa não foi suficiente para proporcionar

qualquer diferença significativa entre a  $EUA_{MS}$  dos tratamentos avaliados.

Os valores de eficiência do uso da água, baseados na produção de grãos, estão acima do registrado por Doorenbos & Kassan (1979), que apresentam valores para o feijoeiro na ordem de 0,30 a 0,60  $kg\ m^{-3}$  para grãos com teor de 10% de umidade.

Barros & Hanks (1993) encontraram valores máximos de 0,65  $kg\ m^{-3}$  e 0,75  $kg\ m^{-3}$  para a  $EUA_g$ , enquanto para a eficiência do uso da água, baseada na biomassa, observou-se 1,17 e 1,41  $kg\ m^{-3}$  para os tratamentos com solo nu e cobertura morta,

respectivamente, demonstrando o efeito do manejo do solo sobre a EUA.

Medeiros (2002) determinou a eficiência do uso da água para a cultura do feijoeiro plantada em área submetida a diferentes sistemas de preparo do solo, por um período de oito anos. Os valores encontrados de eficiência do uso da água, baseada na produção de grãos, foram de 0,632 kg m<sup>-3</sup>, 645 kg m<sup>-3</sup> e 753 kg m<sup>-3</sup> para os tratamentos convencional com arado de disco, enxada rotativa e escarificador, respectivamente, sendo o resultado obtido pelo sistema de preparo escarificador significativamente superior aos demais.

Já para a eficiência do uso da água, baseada na biomassa, não se observaram diferenças significativas ao nível de 5%, a qual atingiu 1,39 kg m<sup>-3</sup>, 1,46 kg m<sup>-3</sup> e 1,44 kg m<sup>-3</sup> para os tratamentos convencional com arado de disco, enxada rotativa e escarificador.

Calvache et al. (1997) obtiveram uma eficiência do uso da água do feijoeiro, cv. INIAP 4040, que variou de 0,46 a 0,92 kg m<sup>-3</sup> em tratamentos com diferentes lâminas de irrigação e dosagens de nitrogênio.

Portanto, os valores de eficiência do uso da água apresentados no presente estudo estão dentro da faixa encontrada em outros experimentos de feijoeiro irrigado.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos permitem concluir que a eficiência do uso da água foi um parâmetro sensível a mudanças no manejo dos recursos água, solo e planta, sendo um indicador da sustentabilidade da produção agrícola e conservação dos recursos naturais, notadamente a água.

## LITERATURA CITADA

AASE, J. K.; PIKUL, J. L. Crop and soil response to long-term tillage aspects practices in the northern great plains. **Agronomy Journal**, Madison, WI, v. 87, n. 4, p. 652-656, 1995

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing**

**crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300 p. Paper 56.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA (ANA) **Evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2002. 64 p.

ANGUS, J. F.; van HERWAARDEN, A. F. Increasing water use and water use efficiency in dryland wheat. **Agronomy Journal**, Madison, WI, v. 93, p. 290-298, 2001.

ARRUDA, F. B.; FUJIWARA, M.; CALHEIROS, R. O.; PIRES, R. C. M.; SAKAI, E. A agricultura irrigada ante a administração dos recursos hídricos do Estado de São Paulo. **Laranja**, Cordeirópolis, v.15, n. 2, p. 343-364, 1994.

AZOOZ, R. H.; ARSHAD, M. A. Effect of tillage and residue management on barley and canola growth and water use efficiency. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 78, n. 4, p. 649-656, 1998.

BARROS, L. C. G.; HANKS, R. J. Evapotranspiration and yield of beans as affected by mulch and irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, WI, v. 85, p. 692-697, 1993.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 94 p. (IAC. Boletim, 106)

CALVACHE, A. M.; REICHARDT, K.; MALAVOLTA, E.; BACCHI, O. O. S. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso da água em uma cultura do feijão. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 54, n. 3, p. 232-240, set/dez, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA – CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999. 412p.

- HATFIELD, J. L.; SAUER, T. J.; PRUEGER, J. H. Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. **Agronomy Journal**, Wisconsin, v. 93, p. 271-280, 2001.
- KARAM, F.; BREIDY, J.; STEPHAN, C.; ROUPHAEL, J. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of drip irrigated corn in the Bekaa Valley of Lebanon. **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, v. 63, n. 2, p. 125-137, 2003.
- MEDEIROS, G. A. **Influência do manejo de um latossolo vermelho sobre a eficiência do uso da água e produção do feijoeiro irrigado**. 2002. 176 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- MEDEIROS, G. A., ARRUDA, F. B., SAKAI, E., FUJIWARA, M. The influence of crop canopy on evapotranspiration and crop coefficient of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agricultural and Water Management**, Amsterdam, v.49, n.3, p. 215-28, 2001.
- MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; BONI, N. R. Crescimento vegetativo e coeficiente de cultura do feijoeiro relacionados a graus-dia acumulados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 9, p. 1733-1742, 2000.
- MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B. Adaptação e avaliação de evapotranspirômetros para a obtenção do coeficiente de cultura basal (kcb) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Irriga**, Botucatu, v. 4, n. 2, p. 92-103, 1999.
- OLIVEIRA, J. B.; ROTTA, C. L. **Levantamento pedológico semidetalhado dos solos do Estado de São Paulo. Quadrícula de Campinas**. Rio de Janeiro, IBGE, 169 p., 1979.
- PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; FUJIWARA, M.; SAKAI, E., BORTOLETTO, N. Profundidade do sistema radicular das culturas de feijão e trigo sob pivô central. **Bragantia**, Campinas, v. 50, n. 1, p. 153-162, 1991.
- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445 p.
- SHARRAT, B. S. Barley yield and evapotranspiration governed by tillage practices in interior Alaska. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 46, p. 225-229, 1998.
- STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 835-841, abr. 2000.
- TANAKA, D. L. Topsoil removal influences on spring wheat water-use efficiency and nutrient concentration and content. **Transactions ASAE**, St. Joseph, MI, v. 33, n. 5, p. 1518-1524, 1990.
- TENNAKON, S. B.; MILROY, S. P. Crop water use efficiency on irrigated cotton farms in Australia. **Agricultural Water Management**, v. 61, n. 3, p. 179-194, 2003.
- WALLEY, F. L. Water-use efficiency and carbon isotopic composition in reduced tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, n. 2, p. 356 – 361, 1999.
- WRIGHT, J. L. New evapotranspiration crop coefficients. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, Proceedings of the ASCE, New York, v. 108, n. IR1, p. 57-74, mar 1982.
- WUTKE, E. B.; ARRUDA, F. B.; FANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G. M. B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 621-633, 2000.

