

# REDUÇÃO DA RECEITA LÍQUIDA POR DÉFICIT OU EXCESSO DE ÁGUA NA CULTURA DO FEIJOEIRO<sup>1</sup>

VITAL PEDRO DA SILVA PAZ<sup>2</sup>, JOSÉ ANTONIO FRIZZONE, TARLEI ARRIEL BOTREL  
e MARCOS VINICIUS FOLEGATTI<sup>3</sup>

**RESUMO** - O manejo adequado de um sistema de irrigação deverá ser capaz de propiciar ao agricultor o uso eficiente da água, para aumentar a produtividade das culturas, reduzir os custos de produção, e, conseqüentemente, maximizar o retorno dos investimentos. O objetivo deste trabalho foi analisar o efeito do preço do produto, do custo da água e da uniformidade de distribuição da água sobre a receita líquida na cultura do feijoeiro. Utilizou-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para medida da uniformidade de distribuição da água. Com base nas análises, concluiu-se que: 1) sistemas de irrigação que não apresentam boa uniformidade de distribuição de água não são apropriados quando o objetivo é o máximo retorno econômico; 2) se a cultura tem elevado valor econômico, o sistema de irrigação deve apresentar uniformidade de distribuição da água, para que se possa diminuir o efeito do déficit na redução da receita líquida; 3) a irrigação com alta uniformidade proporciona melhores resultados econômicos para qualquer combinação de preço do produto e custo da água; 4) quando a pouca disponibilidade de terra limita a produção, a redução no preço do produto tem maior influência na redução da receita líquida total do que o aumento no custo da água.

Termos para indexação: custo da água, irrigação, uniformidade.

## REDUCTION OF THE NET INCOME AS A FUNCTION OF DEFICIT AND EXCESS OF WATER ON BEANS

**ABSTRACT** - The adequate management of irrigation systems has to provide the farm the efficient water use, increasing yield crop, decreasing costs and maximizing the benefits. The objective of this work was to analyze the effect of product price, water cost and water distribution uniformity on the net income of beans crop. Christiansen's water uniformity coefficient was used. The data analysis allowed to conclude: 1) irrigation systems that do not have a high water uniformity distribution are not adequate when the objective is to reach the maximum net income; 2) if the crop has a high value, a high water uniformity distribution should be expected in order to decrease the water deficit effect on the net income; 3) the best economic results with any combination of product and water cost is observed under high irrigation uniformity; 4) when land availability is restrictive for total yield, beans price reduction has a greater influence on net income compared to increasing water cost.

Index terms: water cost, irrigation, uniformity.

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 28 de abril de 1997.

<sup>2</sup> Eng. Agríc., Dr., Dep. Eng. Rural, ESALQ/USP, Caixa Postal 11, CEP 13418-900 Piracicaba, SP. Bolsista da FAPESP.

<sup>3</sup> Eng. Agr., Dr., Dep. Eng. Rural, ESALQ/USP.

## INTRODUÇÃO

As técnicas de produção constituem instrumentos capazes de fornecer ao processo produtivo informações para a utilização racional de recursos e insumos, para tornar a atividade agrícola mais lucra-

tiva. Ao produtor rural deve-se fornecer informações para orientar com maior segurança sua decisão quanto à quantidade adequada de determinado insumo necessário à produção, de forma que resulte maior expectativa de lucro.

A produção das culturas depende de vários fatores, que podem ser agrupados em climáticos, edáficos, biológicos, sociais e econômicos (Palacios, 1981). Entre estes, a quantidade de água e a época de aplicação são de grande importância para se obter a máxima produção econômica.

Nenhum sistema de irrigação é capaz de aplicar água com perfeita uniformidade. Em geral, o aumento da uniformidade de distribuição da água requer investimentos na melhoria do sistema, em manutenção e em mão-de-obra para o manejo racional da irrigação (Duke et al., 1992; Heermann et al., 1992). Entretanto, o sistema pivô central possui alto grau de automação, possibilitando sua utilização em diferentes culturas, solos e condições topográficas do terreno com o mínimo uso de mão-de-obra, além de ser projetado de forma a assegurar elevados níveis de uniformidade de distribuição de água e eficiência de aplicação (Wilmes et al., 1993). Heermann et al. (1992) ressaltam que, mesmo para irrigações com alta uniformidade, a eficiência de aplicação depende da quantidade de água aplicada.

Letey et al. (1984) citam que a importância da uniformidade de distribuição de água, geralmente expressa pelo coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), (Christiansen, 1942), na determinação da lâmina ótima de irrigação, tem sido amplamente reconhecida, mas nenhuma análise quantitativa universal foi desenvolvida. Hill & Keller (1980) observaram que a lâmina ótima é influenciada pelo custo do capital investido no sistema, custo da água, uniformidade de distribuição, eficiência da irrigação, impacto do tipo de sistema sobre a produção e pelo valor da cultura. Tarjuelo et al. (1996) salientam que os benefícios econômicos da irrigação aumentam em função do aumento da uniformidade de distribuição, independentemente do custo da água.

Mantovani et al. (1995) mostram que a relação ótima entre lâmina de irrigação e lâmina de água necessária à cultura do milho (Hg/Hr) depende da uniformidade de distribuição de água (CUC) e da relação entre o preço do produto e o custo da água. Com

alto custo da água, o valor ótimo de Hg/Hr aumentou em relação ao aumento do CUC, enquanto uma tendência oposta foi observada a baixo custo da água. Os resultados revelam que o aumento da lâmina de irrigação, para compensar a redução da produção pela baixa uniformidade de distribuição da água, é uma estratégia aceitável quando o custo da água é baixo em relação ao preço do produto. A importância do custo da água diminui com o aumento da uniformidade.

A literatura indica que quando a água não é escassa, deve-se compensar a baixa uniformidade pela aplicação de uma lâmina de irrigação maior que a necessária à cultura para reduzir a área de déficit. Entretanto, o aumento da lâmina de irrigação eleva os custos operacionais do sistema (Duke et al., 1992) e aumenta as perdas de nutrientes por lixiviação (Bemis-Asher & Ayars, 1990). A lixiviação representa não só uma perda econômica direta como também reduz a produção e pode contaminar o lençol freático (Duke et al., 1992; Heermann et al., 1992). Como os custos dos recursos aumentam com a quantidade de água aplicada e a responsabilidade ambiental justifica um manejo racional da irrigação, pode não ser prudente irrigar para máxima produção.

O desenvolvimento do conceito de lâmina ótima de irrigação, com base no coeficiente de uniformidade de Christiansen, na distribuição de frequência das lâminas de irrigação e na relação entre os custos do excesso e do déficit de água foi apresentado por Peri et al. (1979) e aplicado por Norum et al. (1979). Os autores consideraram que a redução da receita líquida por unidade de área causada por déficit ou excesso de água, depende da diferença entre a lâmina necessária à cultura e a lâmina infiltrada. O método apresenta duas limitações: (a) foi desenvolvido para um evento de irrigação, necessitando-se conhecer as relações de custos para as irrigações ao longo do ciclo da cultura, e (b) considera que os custos do excesso e do déficit de água são diretamente proporcionais às suas quantidades.

Duke et al. (1992) utilizaram o modelo de Peri et al. (1979) para calcular a lâmina ótima econômica de irrigação em 60 sistemas pivôs centrais. Para estimar a perda econômica relativa ao déficit ( $\beta$ ) e ao excesso de água ( $\alpha$ ), analisaram os custos da água e dos fertilizantes lixiviados abaixo do sistema radicular, os

custos ambientais e a redução da produção devida à lixiviação. Incluindo estes custos, anotam um valor médio de  $\beta/\alpha$  de 0,139, e, excluindo-se os custos ambientais, relatam um valor médio de 0,72.

Um aspecto a ser considerado é a uniformidade da umidade abaixo da superfície do solo. Paiva (1980) e Rezende et al. (1993) analisaram o efeito da uniformidade de distribuição da água na superfície do solo sobre a uniformidade de redistribuição desta no perfil, e concluíram que houve aumento dos coeficientes de uniformidade ao longo do tempo em todas as profundidades estudadas.

O objetivo deste trabalho foi analisar o efeito do custo da água, do preço do produto e da uniformidade de distribuição da água sobre a receita líquida na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.).

## MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se o coeficiente de uniformidade de Christiansen (1942) para representar a distribuição da água do sistema de irrigação. A análise da receita líquida obtida com a cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), foi feita utilizando-se o método apresentado por English (1990), que considera a função da resposta da cultura à irrigação.

A perda econômica em cada ponto  $i$  da área, sob o sistema, foi estimada pela diferença entre receita líquida total obtida com a aplicação da lâmina total ótima econômica e a receita líquida total no ponto, obtida com a correspondente lâmina total aplicada, ou seja:

$$\Delta EC_i = IL^* - IL_i \quad (1)$$

em que,

$\Delta EC_i$  = perda econômica no ponto  $i$  ao longo da área irrigada, US\$;

$IL^*$  = receita líquida ótima obtida com a lâmina total ótima, US\$;

$IL_i$  = receita líquida no ponto  $i$ , obtida com a lâmina aplicada no ponto, US\$.

Considerando que as lâminas de água aplicadas têm distribuição normal, a redução da receita líquida total causada por excesso e déficit de água, foi estimada por:

$$\alpha = \frac{\int_0^{a_r} (IL_i - IL^*) da}{\int_0^{a_r} (W_i - W^*) da} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\int_0^1 (IL^* - IL_i) da}{\int_0^1 (W^* - W_i) da} \quad (3)$$

em que,

$\alpha$  = redução da receita líquida por excesso de água aplicada, US\$/mm.ha;

$\beta$  = redução da receita líquida por déficit de água aplicada, US\$/mm.ha;

$a_r$  = fração da área que recebe pelo menos a lâmina de irrigação necessária à cultura, em décimos;

$W_i$  = lâmina de irrigação aplicada no ponto  $i$ , mm;

$W^*$  = lâmina de irrigação que maximiza a receita líquida, mm.

As soluções das integrais contidas nas equações (2) e (3) foram obtidas por aproximação de variações finitas.

A função de resposta da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), utilizada para análise econômica da quantidade de água a ser aplicada e da receita líquida ótima, foi determinada por Frizzone (1986) e tem a seguinte forma:

$$Y(W) = 63,9656 + 8,9745W - 0,008503W^2$$

O custo da água ( $C_w$ ) usado neste trabalho foi de US\$ 0,32/mm.ha a US\$ 0,75/mm.ha, que é o custo associado ao serviço da irrigação, para a cultura de feijão sob pivô central, na região de Guaíra, SP, de acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1994).

O preço do produto ( $P_i$ ), ou valor pago ao produtor, no período de julho de 1993 a julho de 1994, variou de US\$ 0,44/kg a US\$ 1,62/kg (Preços Agrícolas, 1994). Para análise, foram utilizados valores representativos do mercado de produtos agrícolas no período.

O custo de produção da cultura irrigada, não associado à aplicação de irrigação, foi considerado igual a US\$ 410,88/ha, valor médio observado na região de Guaíra no período de fevereiro a outubro de 1993 (Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1994).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Redução da receita líquida causada por déficit de água

Nas Figs. 1 e 2 estão representados os valores da redução da receita líquida causada por déficit ( $\beta$ ) em função do preço do produto ( $P_i$ ) e do custo da

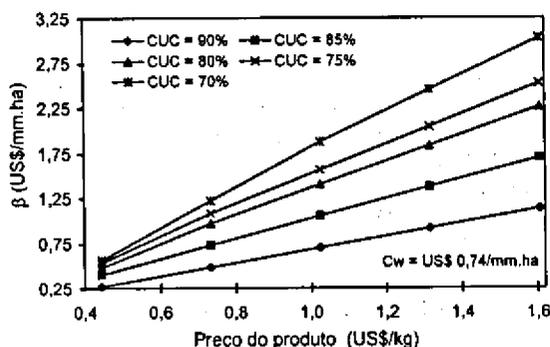
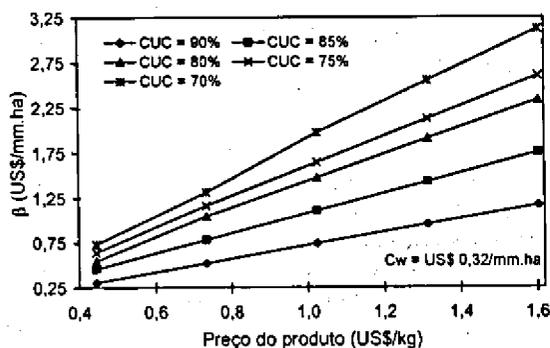
água ( $C_w$ ), para diferentes coeficientes de uniformidade de distribuição de água do sistema (CUC). Quando o preço do produto aumenta, verifica-se a necessidade de maior uniformidade de distribuição de água para que se possa diminuir o efeito do déficit na redução da receita líquida (Fig. 1).

Com alta uniformidade, a redução da receita líquida causada pelo déficit é baixa e pouco influenciada pelo custo da água. Mantendo-se o preço do produto, o efeito do déficit sobre a redução da receita líquida aumenta à medida que diminui a uniformidade, referente a qualquer custo da água (Fig. 2). Se o preço do produto é alto, em qualquer nível de uniformidade o custo da água exerce pouca influência na redução da receita líquida.

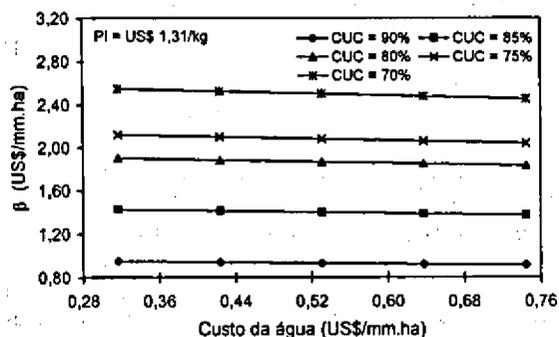
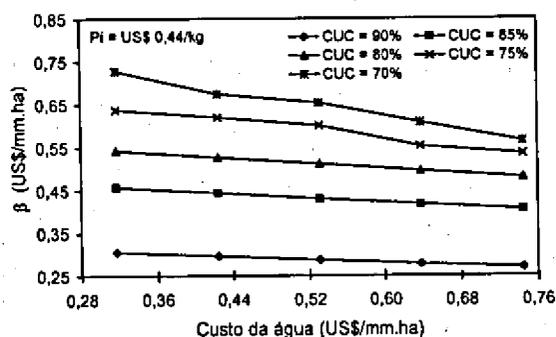
Quando o preço do produto é baixo e o custo da água é alto, menor é a lâmina ótima total de irrigação

e menor é a receita líquida. Nesta condição, em qualquer uniformidade, menor é o efeito do déficit na receita líquida. Entretanto, o valor de  $\beta$  aumenta com decréscimo da uniformidade (Fig. 2). Por outro lado, quando a receita líquida é alta (baixo custo da água), necessitando de maiores lâminas de água, o valor de  $\beta$  aumenta independentemente do valor da uniformidade, sendo maior nos menores valores de CUC. Estes aspectos demonstram a importância de elevados valores de uniformidade, conforme foi relatado por Hill & Keller (1980) e Varlev (1988).

Seja um sistema de irrigação com uniformidade de 90% e custo da água de US\$ 0,32/mm.ha (Fig. 1). A redução da receita líquida causada pelo déficit aumenta à medida que o preço do produto também aumenta. Sendo o valor de  $P_i = \text{US\$ } 0,44/\text{kg}$  a redução é de US\$ 0,30/mm.ha, atingindo US\$ 0,95/mm.ha se  $P_i = \text{US\$ } 1,31/\text{kg}$  (Fig. 2).



**FIG. 1.** Redução da receita líquida por déficit de água aplicada ( $\beta$ ), em função do preço do produto ( $P_i$ ) e diferentes uniformidades de distribuição de água (CUC), em relação ao custo da água igual a US\$ 0,32/mm.ha e US\$ 0,74/mm.ha.



**FIG. 2.** Redução da receita líquida por déficit de água aplicada ( $\beta$ ), em função do custo da água ( $C_w$ ) e diferentes uniformidades de distribuição de água (CUC), referentes ao preço do produto igual a US\$ 0,44/kg e US\$ 1,31/kg.

Considerando-se os mesmos valores de custo da água e preço do produto ( $C_w = \text{US\$ } 0,32/\text{mm.ha}$  e  $P_i = \text{US\$ } 1,31/\text{kg}$ ), a redução da receita líquida causada pelo déficit alcança  $\text{US\$ } 2,55/\text{mm.ha}$  quando o sistema apresenta uniformidade de 70% (Fig. 2), sendo este valor não recomendado para sistemas de irrigação por aspersão (Keller & Bliesner, 1990). Isso demonstra a importância da uniformidade no valor de  $\beta$ , em que menor efeito do déficit na redução da receita líquida está associado à maior uniformidade de distribuição de água.

Se o sistema não apresenta boa uniformidade, mesmo com baixo custo da água, não se recomenda a exploração de culturas de elevado valor econômico, pois, maior será o efeito do déficit na redução da receita líquida. A maior redução da receita líquida causada pelo déficit foi de  $\text{US\$ } 3,12/\text{mm.ha}$ , para  $CUC = 70\%$ ,  $P_i = \text{US\$ } 1,61/\text{kg}$  e custo da água de  $\text{US\$ } 0,32/\text{mm.ha}$ .

### Redução da receita líquida por excesso de água

Nas Figs. 3 e 4 estão representados os valores da redução da receita líquida pelo excesso de água ( $\alpha$ ), em função do preço do produto ( $P_i$ ) e do custo da água ( $C_w$ ), em diferentes valores de uniformidade de distribuição de água do sistema (CUC).

À medida que aumenta o custo da água, verifica-se a necessidade de maior uniformidade de distribuição, para que se possa diminuir o efeito do excesso de água na redução da receita líquida, principalmente se a cultura tem elevado valor econômico (Fig. 3). Este fato também pode ser constatado nos trabalhos de Mantovani et al. (1995) e Tarjuelo et al. (1996).

Quanto menor a uniformidade, maior o efeito do excesso de água na redução da receita líquida. Se o preço do produto é alto, maior a lâmina ótima total de irrigação. Nesta condição, o valor  $\alpha$  é maior se o sistema apresenta baixa uniformidade e o custo da água é elevado (Fig. 4). Mantendo-se o preço do produto, o efeito do excesso de água na redução da receita líquida é maior à medida que aumenta o custo da água e diminui a uniformidade de distribuição.

Seja um sistema com uniformidade de 90%. Com o preço do produto igual a  $\text{US\$ } 0,44/\text{kg}$  e a água cus-

tando  $\text{US\$ } 0,74/\text{mm.ha}$ , a redução da receita líquida por excesso é de  $\text{US\$ } 0,23/\text{mm.ha}$ . Em outro sistema com uniformidade de 70%, a redução é  $\text{US\$ } 0,30/\text{mm.ha}$ .

Um menor efeito do excesso de água na redução da receita líquida está associada ao menor preço do produto e à maior uniformidade de distribuição de água do sistema (Figs. 3 e 4).

A redução da receita líquida por déficit e por excesso de água está associada às respectivas áreas de déficit e de excesso, decorrentes da aplicação não uniforme da irrigação. As medidas de uniformidade baseadas na distribuição de água na superfície do solo, não representam o efeito da redistribuição abaixo desta. De acordo com Paiva (1980) e Rezende et al. (1993), a uniformidade de distribuição de água abaixo da superfície do solo difere da obtida na superfície. Portanto, as áreas de déficit e de excesso resultantes da distribuição da umidade no perfil do solo

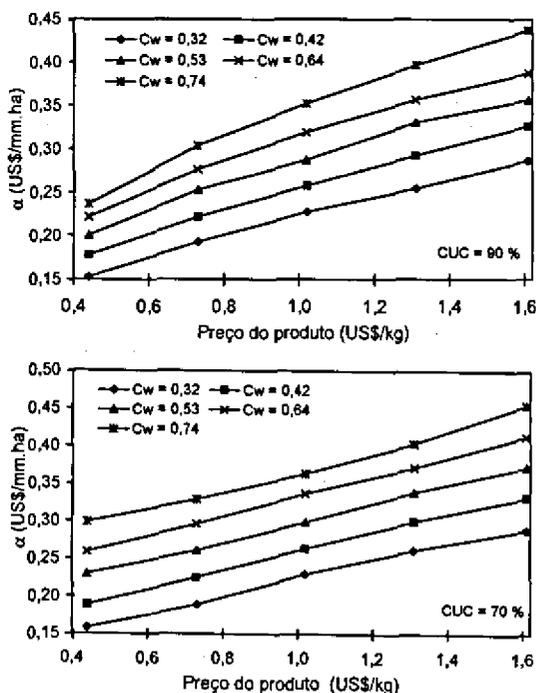


FIG. 3. Redução da receita líquida por excesso de água aplicada ( $\alpha$ ), em função do preço do produto ( $P_i$ ) relativamente a diferentes custos da água ( $C_w$ ), sob as uniformidades de distribuição de água de  $CUC = 90\%$  e  $CUC = 70\%$ .

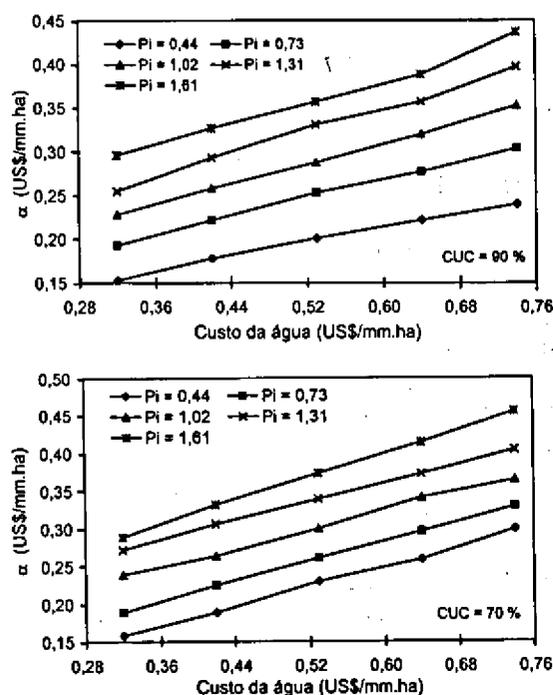


FIG. 4. Redução da receita líquida por excesso de água aplicada ( $\alpha$ ), em função do custo da água ( $C_w$ ) em relação a diferentes preços do produto ( $P_i$ ), sob as uniformidades de distribuição de água de  $CUC = 90\%$  e  $CUC = 70\%$ .

tendem a apresentar valores diferentes dos estimados pela distribuição da água na superfície. Este fato deverá influenciar a análise econômica da redução da receita líquida por déficit e por excesso de água aplicada.

## CONCLUSÕES

1. Sistemas de irrigação que não apresentam boa uniformidade de distribuição de água não são apropriados quando o objetivo é máximo retorno econômico.

2. Se a cultura tem elevado valor econômico, tem-se que usar sistema de irrigação que apresente alta uniformidade de distribuição de água para que se possa diminuir o efeito do déficit e do excesso de água na redução da receita líquida.

3. A irrigação com maior uniformidade proporciona melhores resultados econômicos em qualquer combinação de preço do produto e custo da água.

4. Quando a baixa disponibilidade de terra limita a produção, a redução no preço do produto tem maior efeito na diminuição da receita líquida total do que o aumento no custo da água.

## REFERÊNCIAS

- BEM-ASHER, J.; AYARS, J.E. Deep seepage under nonuniform sprinkler irrigation. I: Theory. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.116, n.3, p.354-373, 1990.
- CHRISTIANSEN, J.E. Irrigation by sprinkler. Berkeley: California Agricultural Station, 1942. 124p. (Bulletin, 670).
- DUKE, H.R.; HEERMANN, D.F.; DAWSON, L.J. Appropriate depths of application for scheduling center pivot irrigations. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.35, n.5, p.1457-1467, 1992.
- ENGLISH, M.J. Deficit irrigation. I: Analytical framework. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.116, n.3, p.399-412, 1990.
- FRIZZONE, J.A. Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.) ao uso de nitrogênio e lâminas de irrigação. Piracicaba: ESALQ/USP, 1986. 133p. Tese de Doutorado.
- HEERMANN, D.F.; DUKE, H.R.; SERAFIM, A.M.; DAWSON, L.J. Distribution functions to represent center-pivot water distribution. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.35, n.5, p.1465-1472, 1992.
- HILL, R.W.; KELLER, J. Irrigation system selection for maximum crop profit. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.23, n.2, p.366-372, 1980.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (SÃO PAULO, SP). Racionalização do uso da água nos municípios de Guafra e Casa Branca, SP. São Paulo, 1994. 2v. (IPT. Relatório, 30254).
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 651p.

- LETEY, J.; VAUX, H.J.; FEINERMAN, E. Optimum crop water application as affected by uniformity of water infiltration. *Agronomy Journal*, Madson, v.76, n.3, p.435-441, 1984.
- MANTOVANI, E.C.; VILLALOBOS, F.J.; ORGAZ, F.; FERERES, E. Modelling the effects of sprinkler irrigation uniformity on crop yield. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.27, n.3/4, p.243-257, 1995.
- NORUM, D.I.; PERI, G.; HART, W.E. Application of system optimal depth concept. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, New York, v.105, n.4, p.357-367, 1979.
- PAIVA, J.B.D. de. Uniformidade de aplicação de água, abaixo da superfície do solo, utilizando irrigação por aspersão. São Carlos: EESC/USP, 1980. 333p. Tese de Mestrado.
- PALACIOS, E.V. Response functions of crops yield to soil moisture stress. *Water Resources Bulletin*, Minneapolis, v.17, n.4, p.699-703, 1981.
- PERI, G.; HART, W.E.; NORUM, D.I. Optimal irrigation depths - A method of analysis. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, New York, v.105, n.4, p.341-354, 1979.
- PREÇOS AGRÍCOLAS, Piracicaba, n.8, p.10-52, 1994.
- REZENDE, R.; FRIZZONE, J.A.; BOTREL, T.A. Desempenho de um sistema de irrigação pivô central quanto à uniformidade de distribuição de água abaixo e acima da superfície do solo. *Engenharia na Agricultura, Série Irrigação e Drenagem*, Viçosa, v.1, n.1, p.1-7, 1993.
- TARJUELO, J.M.; De JUAN, J.A.; VALIENTE, M.; GARCÍA, P. Model for optimal cropping patterns within the farm based on crop water production functions and irrigation uniformity. II: A case study of irrigation scheduling in Albacete, Spain. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.31, n.1/2, p.145-163, 1996.
- VARLEV, I. Optimizing the uniformity of irrigation and fertilization. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.13, n.2/4, p.285-296, 1988.
- WILMES, G.J.; MARTIN, D.L.; SUPALLA, R.J. Decision support system for design of center pivots. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.37, n.1, p.165-175, 1993.