

ESTRATÉGIAS ÓTIMAS DE IRRIGAÇÃO DO FEIJOEIRO: TERRA COMO FATOR LIMITANTE DA PRODUÇÃO¹

JOSÉ ELENILDO QUEIROZ², CARLOS BRANCILDES M. CALHEIROS³,
PAULO CÉSAR SILVEIRA PESSOA⁴ e JOSÉ ANTONIO FRIZZONE⁵

RESUMO - A partir de funções de resposta da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), aos fatores água e nitrogênio nas condições de Ilha Solteira, SP, e de funções de custo total, foi feito um estudo de definição de estratégias ótimas de irrigação, considerando-se a terra como fator limitante e diferentes relações entre o preço da água e o preço do produto. O estudo mostra que a aplicação de lâminas entre 200 e 800 mm torna rentável o cultivo. A maior renda líquida (US\$ 510,40/ha) e a maior rentabilidade (75%) foram obtidas com o nível de 90 kg/ha de N. Nessa condição, obteve-se um intervalo de manejo racional de água de 400 a 600 mm. O valor $P_w/P_i < 1$ pode ser considerado como um indicativo da viabilidade econômica da irrigação.

Termos para indexação: manejo da água de irrigação, irrigação com déficit.

OPTIMAL IRRIGATION STRATEGIES:
LAND AS LIMITING FACTOR OF PRODUCTION

ABSTRACT - A study for the definition of optimum irrigation strategies was done based on total cost functions and answer functions of bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.) to water and nitrogen factors obtained in Ilha Solteira, SP, Brazil (20°22' of latitude South, 51°22' of longitude West, and altitude of 335 m). The land, as a limiting factor, as well as different relations between the water cost and product price were also taken in consideration. In this study, the water depth ranging from 200 to 800 mm was considered profitable. The major net profit, US\$ 510.40/ha and the major profitability (75%) were obtained with 90 kg/ha of N. Under this condition, the rational management of water ranged from 400 to 600 mm. $P_w/P_i < 1$ may be considered as an indication of economical viability of the irrigation.

Index terms: management of water irrigation, deficit irrigation.

INTRODUÇÃO

Vários fatores referentes ao solo, à planta e à atmosfera interagem entre si, determinando a produção das culturas agrícolas. Certamente existe uma relação funcional entre esses fatores e a produção das culturas (função de resposta ao fator), característica de cada condição ambiental. Conforme salientam Hexem & Heady (1978), a produtividade

das culturas pode variar em diferentes solos, climas e também em decorrência da quantidade de água utilizada. O efeito da água na produção pode ainda interagir com fertilizantes e outros insumos.

Segundo Nojimoto (1976), os estudos de funções de resposta na agricultura iniciaram-se, no Brasil, com Goreux e van Teuten, e têm evoluído de maneira sistemática, ocupando lugar de destaque na economia rural. As primeiras aplicações do método de função de resposta concentraram-se nos estudos do rendimento das culturas como um efeito dos fertilizantes aplicados ao solo; posteriormente, outros fatores foram incluídos, entre eles, a água por irrigação.

Para Yaron (1971), Palácios (1981) e Vaux Júnior & Pruitt (1983), nos estudos econômicos relativos ao planejamento da irrigação, são indispensáveis as funções de resposta das culturas à água. O problema é encontrar a solução ótima para a combinação

¹ Aceito para publicação em 25 de setembro de 1995.

² Eng. Agríc., Dr., Prof. Adjunto, Dep. de Eng. Florestal/Campus VII/UFPB, Caixa Postal 64, CEP 58700-970 Patos, PB.

³ Eng. Agr., Prof. Assistente, Dep. de Agron., CeCA/UFAL, BR 104 Norte, Km 14, CEP 57072-970 Maceió, AL.

⁴ Eng. Agr., Pós-Graduando em Irrigação e Drenagem/Dep. de Eng. Rural/ESALQ/USP, Caixa Postal 09, CEP13418-900 Piracicaba, SP.

⁵ Eng. Agr., Dr., Prof., Dep. de Eng. Rural/ESALQ/USP.

insumo-produto, que possa maximizar a renda líquida sujeita às restrições de recursos pré-fixadas para uma determinada tecnologia e estrutura de preços. O elemento básico para tal análise é a função de resposta da cultura à água, já que a planta responde diferentemente a quantidades e frequências de irrigação, durante o seu ciclo fenológico, resultando em mudanças correspondentes na produtividade.

Para definir estratégias ótimas de irrigação, durante muitos anos, as pesquisas tentaram relacionar produção das culturas a quantidade de água, guiadas por várias idéias sobre o nível desejável de uso de água. Conforme Vaux Júnior & Pruitt (1983), três conceitos gerais podem ser identificados. Primeiro, aquele contido em trabalhos, cujo objetivo era estabelecer o nível de irrigação para se alcançar a produtividade máxima. Com esse objetivo, fica implícito que a disponibilidade de água não é fator limitante. Outra corrente da literatura de irrigação é a de máxima eficiência de uso de água, isto é, da produtividade da cultura maximizada por unidade de volume de água aplicada. Por essa teoria, pressupõe-se que a disponibilidade de água é fator limitante da produção. Finalmente, outro conceito propõe que a quantidade de água a ser utilizada na irrigação seja selecionada no ponto da região econômica de produção onde a produtividade marginal da água for igual a seu preço. De acordo com esse pressuposto, a disponibilidade de terra é limitante da produção e, assim, a estratégia ótima de irrigação consiste em maximizar a receita líquida por unidade de área.

Hargreaves & Samani (1984) asseguram que, quando a terra é fator limitante da produção, a quantidade econômica de irrigação torna-se muito sensível ao preço do produto, sendo inviável para preços baixos.

Afirmam ainda que, quando são feitas irrigações para produção máxima, é mais provável serem obtidas rentabilidades máximas, quando: 1) a terra é limitante e a água abundante; 2) a cultura é de alto valor econômico e apresenta elevado rendimento; 3) a chuva pouco contribui para suprir as necessidades de água da planta; e 4) os custos da irrigação são baixos. Essas observações foram feitas também nos trabalhos de Barrett & Skogerboe (1980), Palácios (1981), Martin et al. (1989) e English (1990).

Este último desenvolveu um estudo de caso com aplicação de equações específicas para a análise do uso econômico da água em cultura de trigo irrigado, tendo a disponibilidade de terra como fator limitante à produção e considerando apenas dois níveis de preços do produto.

Este trabalho tem o objetivo de determinar quantidades ótimas de água para irrigação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), utilizando funções de resposta da cultura aos fatores água e nitrogênio mineral, obtidas por Frizzone (1986) nas condições de Ilha Solteira, SP. Tais funções serão incorporadas a um modelo analítico desenvolvido por English (1990), que considera explicitamente a disponibilidade de terra como fator limitante à produção, visando a definição de estratégias ótimas de irrigação, com vários níveis de preços do produto.

MATERIAL E MÉTODOS

As funções de produção para cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), utilizadas neste trabalho, foram obtidas por Frizzone (1986) nas condições de Ilha Solteira, SP, campo experimental da FEIS-UNESP, cujas coordenadas geográficas são: 20°22' de Latitude Sul, 51°22' de Longitude Oeste e altitude de 335 m.

Nos níveis de 60, 90 e 120 kg/ha de N, as funções de produção utilizadas foram, respectivamente:

$$Y(w) = -574,228 + 9,477W - 0,00833W^2 \quad (1)$$

$$Y(w) = -624,123 + 10,187W - 0,00849W^2 \quad (2)$$

$$Y(w) = -649,905 + 10,442W - 0,00935W^2 \quad (3)$$

onde:

Y(w) - produção de grãos em kg/ha;
W - lâmina total de água aplicada (mm).

Os preços reais do feijão, recebidos pelos produtores no período de janeiro a dezembro de 1993, variaram de US\$ 21,07 a US\$ 41,28 por saca de 60 kg, com média, nos doze meses, de US\$ 31,51 (Preços Agrícolas, 1994). O preço da água estimado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1994), no período de fevereiro a outubro de 1993, nas áreas irrigadas por pivô-central na região de Guaíra, SP, variou de US\$ 0,32 a US\$ 0,74/mm.ha, com média, nesse período, de US\$ 0,50/mm.ha. Com base em tais informações, neste trabalho foram utilizados os preços médios do produto (P_i) e da água (P_w), respectivamente, de US\$ 0,50/kg e US\$ 0,50/mm.ha. Considerando a variação de tais preços, foram realizadas análises para diferentes relações P_w/P_i (0,25, 0,5, 0,75, 1,0, 1,5 e 2,0).

Na definição da estratégia ótima econômica de irrigação, considerou-se que:

1) as funções de produção são polinômios do segundo grau, da forma:

$$Y(W) = R_0 + R_1 W + R_2 W^2 \quad (4)$$

onde:

$Y(W)$ - produção em kg/ha

R_i - coeficientes empíricos ($i=0, 1, 2$)

W - lâmina de irrigação (mm);

2) a terra é um fator limitante da produção;

3) a lâmina ótima corresponde à lâmina que proporciona a máxima renda líquida por unidade de área cultivada, para uma dada relação P_w/P_i ;

4) a lâmina equivalente corresponde à lâmina que proporciona uma renda líquida igual à lâmina máxima;

5) a função de custo é linear, podendo ser expressa na seguinte forma:

$$C_t = C_o + C_w W \quad (5)$$

sendo C_t o custo total de produção por unidade de área irrigada (US\$/ha), C_o a soma dos custos fixos e custos independentes da irrigação (US\$/ha) e C_w o custo da água de irrigação, incluindo os custos relativos à aplicação de água (US\$/mm.ha).

Com base nos custos de produção de lavoura de feijão irrigada por pivô-central na região de Guafrá, SP, segundo levantamento feito pelo IPT (1994), com o uso de nitrogênio na base de 60 kg de N por hectare, o custo médio de produção, excetuando-se o custo da água de irrigação, foi de US\$ 400/ha, no período de fevereiro a outubro de 1993. Com base em tais informações, para este trabalho, foram estimadas as funções de custo conforme equações (6), (7) e (8), nas quais o preço da água foi fixado em US\$0,5/mm.ha.

$$C_{60} = 400 + 0,5W \quad (6)$$

$$C_{90} = 420 + 0,5W \quad (7)$$

$$C_{120} = 440,2 + 0,5W \quad (8)$$

No cálculo das lâminas máxima (W_m), ótima (W^*) e equivalente (W_e), foram utilizadas as equações (9), (10) e (11), conforme apresentadas por English (1990):

$$W_m = - \frac{R_0}{2R_2} \quad (9)$$

$$W^* = \frac{C_w - P_i R_1}{2R_2 P_i} \quad (10)$$

$$W_e = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (11)$$

Os valores de A, B e C da equação (11) são obtidos pelas equações (12), (13) e (14), respectivamente:

$$A = P_i R_2 \quad (12)$$

$$B = P_i R_1 - C_w \quad (13)$$

$$C = (P_i R_1^2)/(4R_2) - (C_w R_1)/(2R_2) \quad (14)$$

No cálculo das rendas bruta e líquida unitárias (US\$/ha), foram utilizadas as seguintes expressões:

$$IL_{w_i} = P_i Y_{w_i} - (C_o + C_w W_i) \quad (15)$$

$$IB_{w_i} = P_i Y_{w_i} \quad (16)$$

onde:

IB_{w_i} - renda bruta obtida com a aplicação da lâmina W_i (US\$/ha);

IL_{w_i} - renda líquida obtida com a aplicação da lâmina W_i (US\$/ha);

P_i - preço do produto (US\$/kg);

Y_{w_i} - produção obtida com a aplicação de W_i (kg/ha);

W_i - lâmina de irrigação (mm);

C_o - custos fixos (US\$/ha);

C_w - custos da água (US\$/mm.ha).

Para calcular a rentabilidade esperada (R_e) em função da lâmina de água aplicada, utilizou-se a seguinte expressão:

$$R_e (\%) = \frac{IL_{w_i}}{C_t} \quad (17)$$

Com a aplicação da lâmina W_e , definiu-se a economia de água (W_{ec}) como a diferença entre a lâmina máxima e W_e . Nesse caso, a economia de água, expressa como uma porcentagem da lâmina máxima (EW_e), foi determinada pela seguinte expressão:

$$EW_e = \frac{W_{ec}}{W_m} 100 \quad (18)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de renda bruta (IB, US\$/ha) e de custos (C_t , US\$/ha), para um preço fixo do produto igual a US\$ 0,5/kg e para um preço da água igual a US\$ 0,5/mm.ha, são apresentadas na Fig. 1. Observa-se que ocorre renda líquida positiva no intervalo de lâminas entre 200 e 800 mm aproximadamente, nos três níveis de N. As curvas representadas nessa fi-

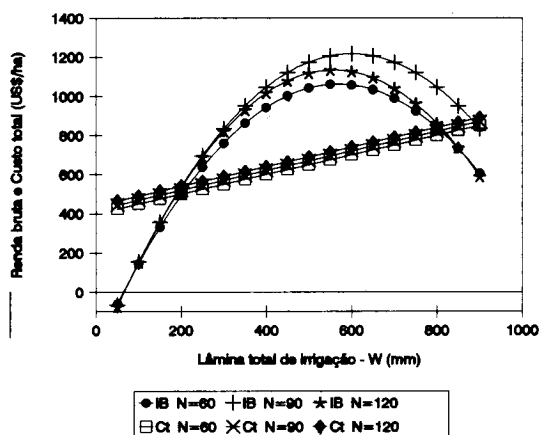


FIG. 1. Renda bruta e custos em função da lâmina de irrigação, nos três níveis de N.

gura mostram que o custo é diretamente proporcional à lâmina de água aplicada (W). No entanto, a renda bruta cresce, atinge um máximo, correspondente à lâmina que proporciona a máxima produtividade fisiológica, decrescendo em seguida com o aumento de W .

Pela Fig. 2, observa-se que o nível de 90 kg/ha de N proporcionou uma maior renda líquida por unidade de área (US\$ 441,50/ha) quando comparado com os níveis de 60 e 120 kg/ha de N. Nessa condição, o intervalo de manejo racional de água é de 400 a 600 mm. Nos níveis de 60 e 120 kg/ha de N, os intervalos obtidos foram 449 a 567 e 452 a 558 mm, respectivamente. Esses intervalos representam as faixas de lâminas nas quais a receita líquida é, no mínimo, igual à receita que seria obtida com a aplicação da lâmina máxima, isto é, com o uso da irrigação sem déficit.

Analisando a Fig. 3, observa-se que o cultivo do feijão só é rentável com a aplicação de lâmina no intervalo entre 200 e 800 mm. Nos níveis de 60, 90 e 120 kg/ha de N, a máxima rentabilidade ($R_{m\acute{a}x}$) é obtida com a aplicação das lâminas (W_c) de 497, 500 e 472 mm, respectivamente. As rentabilidades máximas obtidas correspondem a 61, 75 e 62%, destacando-se o nível de 90 kg/ha de N como o que proporciona a maior rentabilidade quando comparado com os demais. Esses valores de $R_{m\acute{a}x}$ são obtidos com as produções de 2.044, 2.347 e 2.195 kg/ha, respectivamente.

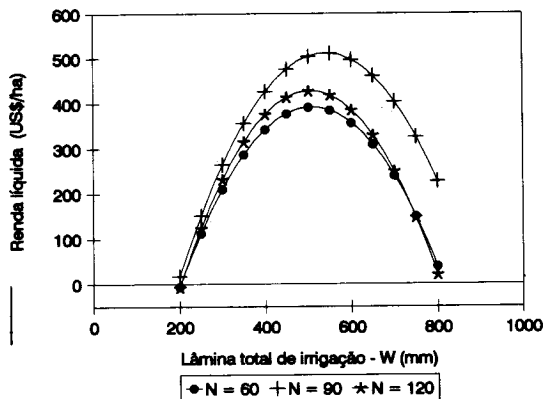


FIG. 2. Renda líquida em função da lâmina de irrigação nos três níveis de N.

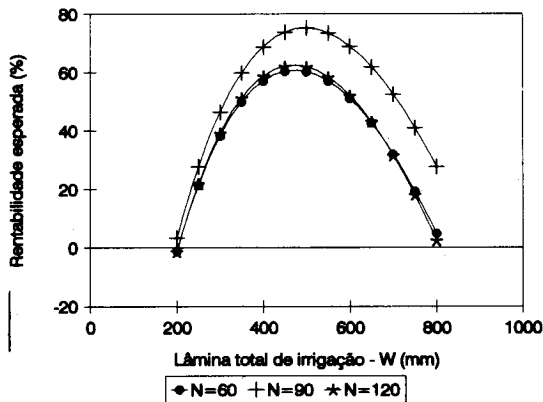


FIG. 3. Curvas de rentabilidade nos três níveis de N, em função da lâmina de irrigação.

Para as lâminas ótimas (W^*) de 509, 541 e 505mm, as rentabilidades obtidas são 60, 74 e 62%, respectivamente, nos níveis de 60, 90 e 120 kg/ha de N. Por ser a terra o fator limitante, os valores de W^* são um pouco maiores do que W_c , o que implica maiores custos com a aplicação de W^* . Isso significa que as lâminas ótimas, embora maximizem a renda líquida, não representam as lâminas de máxima rentabilidade.

As Figs. 4, 5 e 6 representam os valores obtidos de renda líquida (US\$/ha) em função da lâmina de irrigação (W), para diferentes relações P_w/P_i . Observa-se uma ampla variação na renda líquida em função dessas relações. À medida que essa relação

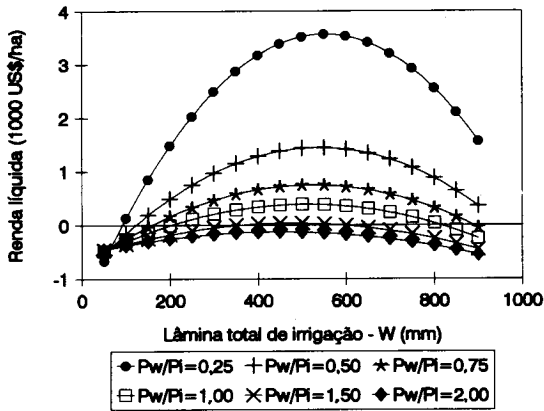


FIG. 4. Renda líquida em função de P_w/P_i e da lâmina de irrigação, para $N = 60$ kg/ha.

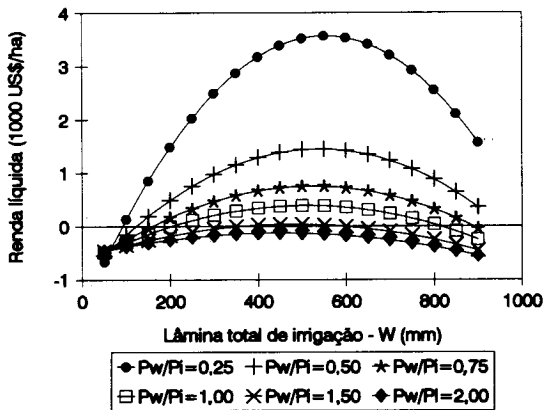


FIG. 5. Renda líquida em função de P_w/P_i e da lâmina de irrigação, para $N = 90$ kg/ha.

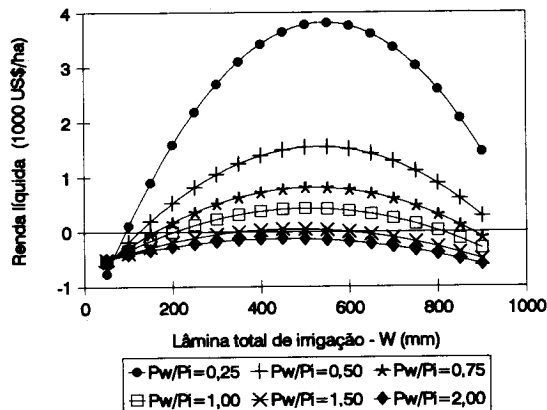


FIG. 6. Renda líquida em função de P_w/P_i e da lâmina de irrigação, para $N = 120$ kg/ha.

umenta, ocorre uma diminuição na renda líquida, que pode atingir valores sempre negativos para valores elevados de P_w/P_i . Um valor de $P_w/P_i=1$ pode ser tomado como um referencial de tomada de decisão quanto à viabilidade econômica da irrigação. Assim, uma condição na qual a relação P_w/P_i é menor que 1 (altos preços do produto) é um indicativo da viabilidade econômica do uso da irrigação. Isso está de acordo com os resultados de Hargreaves & Samani (1984). As maiores rendas líquidas são obtidas quando a relação P_w/P_i diminui em relação à unidade. Observa-se ainda que a aplicação de lâminas crescentes até W^* proporciona um incremento de renda líquida que será tanto maior quanto menor for a relação P_w/P_i . Do mesmo modo, acima de W^* ocorre um decréscimo na renda líquida.

A Fig. 7 mostra a representação gráfica dos valores de W_c e a porcentagem que W_c representa da lâmina máxima, em função de P_w/P_i , nos três níveis de N . Observa-se que quanto maior for a relação P_w/P_i , maior será a economia de água. Sendo a relação P_w/P_i baixa, deve-se buscar a máxima produtividade fisiológica em razão dos preços compensadores do produto, isto é, o manejo da irrigação deve ser feito com a aplicação de lâminas próximas de W_m . Por outro lado, sendo P_w/P_i alto, não é aconselhável buscar a máxima produtividade fisiológica. Nesse caso, a lâmina W_c se distancia de W_m , resultando num intervalo de manejo racional mais amplo. Tomando-se como exemplo os valores de P_w/P_i iguais a 0,5 e 1,0, no nível de 90 kg/ha de N ,

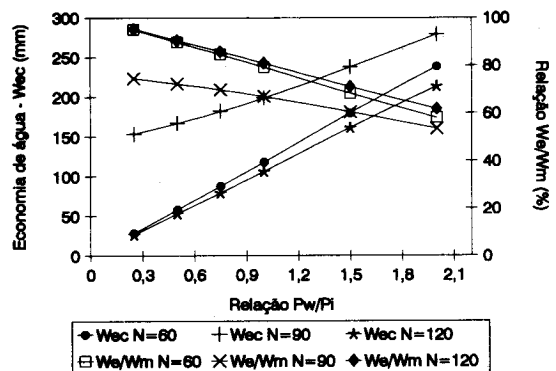


FIG. 7. Economia de água com aplicação de W_c , em função de P_w/P_i , nos três níveis de N .

obtem-se uma economia de água de 167 e 199 mm, respectivamente, o que significa a aplicação de 72 e 67% da lâmina máxima, representando uma economia da ordem de 28 e 33%.

Na Fig. 8, observa-se que a lâmina W^* decresce com o aumento de P_w/P_i . À medida que P_w/P_i aumenta, indicando preços mais baixos do produto em relação à água, devem-se aplicar lâminas menores para otimização da renda líquida. Isso mostra que a lâmina ótima deve ser considerada como uma função de P_w/P_i , o que vai depender da projeção dos preços na época de análise da viabilidade econômica da irrigação. Portanto, dependendo da situação (relação $P_w/P_i > 1$, como mostram as Figs. 4, 5, 6 e 8), a irrigação pode se tornar inviável, mesmo com a aplicação de W^* . Isso, em parte, discorda da afirmação feita por Martin et al. (1989).

Observa-se, ainda na Fig. 8, a porcentagem que a lâmina W^* representa de W_m , à medida que P_w/P_i varia. Tomando-se, por exemplo, $P_w/P_i = 0,6$, a lâmina W^* representa 90% aproximadamente de W_m nos três níveis de N. Se P_w/P_i aumenta para 1,2, a lâmina W^* baixa para 85% de W_m . Portanto, a lâmina W^* sofre uma redução em relação a irrigação completa, à medida que P_w/P_i aumenta. English (1990), considerando apenas dois níveis de preços do produto (US\$ 0.0996/ha e US\$ 0.1470/ha), encontrou faixas de maior rentabilidade para irrigação com déficit entre 35 e 56% da irrigação completa, respectivamente, em cultura de trigo irrigado.

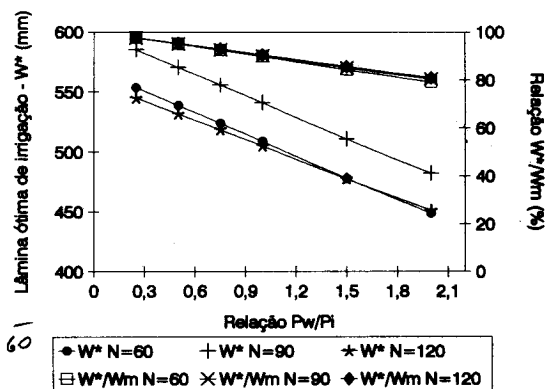


FIG. 8. Lâmina ótima de irrigação, em função de três níveis de N.

CONCLUSÕES

1. A aplicação de lâminas entre 200 e 800 mm torna viável o cultivo do feijão.
2. O nível de 90 kg/ha de N proporcionou a maior renda líquida por unidade de área (510,40 US\$/ha), apresentando um intervalo de manejo racional de água de 400 a 600 mm. Os níveis 60 e 120 kg/ha de N apresentaram os intervalos de 449 a 567 mm e de 452 a 552 mm, respectivamente.
3. Uma relação $P_w/P_i < 1$ é um indicativo da viabilidade econômica da irrigação. Quanto menor for essa relação, menor deverá ser o déficit no manejo da irrigação.
4. O manejo da irrigação com a aplicação da lâmina equivalente ou da lâmina ótima proporciona uma economia de água variável, conforme o valor de P_w/P_i .
5. Dependendo da situação, mesmo a aplicação da lâmina ótima pode não justificar o investimento com a irrigação.

REFERÊNCIAS

- BARRETT, J.W.H.; SKOGERBOE, G.V. Crop production function and the allocation and use irrigation water. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.3, n.1, p.53-64, 1980.
- ENGLISH, M. Deficit irrigation. I. Analytical framework. *Journal of the Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.116, n.3, p.339-412, 1990.
- FRIZZONE, J.A. Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação. Piracicaba: ESALQ, 1986. 133p. Tese de Doutorado.
- HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A. Economic considerations of deficit irrigation. *Journal of the Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.110, n.4, p.343-358, 1984.
- HEXEM, R.W.; HEADY, E.O. *Water production function for irrigated agriculture*. Ames, Iowa: The Iowa State University Press, 1978. 215p.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (São Paulo, SP). Racionalização do uso da água de irrigação nos municípios de Guaíra e Casa Branca, SP. *Relatório Técnico*, v.2, n.30254, p.1-27, 1994.

- MARTIN, D.L.; GILLEY, J.R.; SUPALLA, R.J. Evaluation of irrigation planning decisions. **Journal of the Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.115, n.1, p.58-77, 1989.
- NOJIMOTO, T. **Problemas encontrados na estimação e interpretação de funções de produção agrícola**. Piracicaba: ESALQ, 1976. 113p. Dissertação de Mestrado.
- PALÁCIOS, E.V. Response functions of crops yield to soil moisture stress. **Water Resources Bulletin**, Minneapolis, v.17, n.4, p.699-703, 1981.
- PREÇOS Agrícolas, Piracicaba, n.87, p.10-52, jan. 1994.
- VAUX JÚNIOR, H.J.; PRUITT, W.O. Crop-water production functions. **Advances in Irrigation**, New York, v.2, p.61-97, 1983.
- YARON, D. Estimation and use of water production functions in crop. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v.97, n.IR3, p.291-303, 1971.