

**Manejo da Irrigação do Feijoeiro
Considerando Critérios Técnicos e
Econômicos em Ambiente de Cerrado**



ISSN 1676-918X

Outubro, 2008

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 221

Manejo da Irrigação do Feijoeiro Considerando Critérios Técnicos e Econômicos em Ambiente de Cerrado

Sebastião Francisco Figuerêdo

Eder João Pozzebon

José Antônio Frizzone

Juscelino Antonio de Azevedo

Antonio Fernando Guerra

Euzébio Medrado da Silva

Planaltina, DF
2008

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina, DF

Fone: (61) 3388-9898

Fax: (61) 3388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *José de Ribamar N. dos Anjos*

Secretária-Executiva: *Maria Edilva Nogueira*

Supervisão editorial: *Fernanda Vidígal Cabral de Miranda*

Equipe de revisão: *Fernanda Vidígal Cabral de Miranda*

Francisca Elijani do Nascimento

Jussara Flores de Oliveira Arbues

Normalização bibliográfica: *Marilaine Schaun Pelufê*

Editoração eletrônica: *Renato Berlim Fonseca*

Capa: *Renato Berlim Fonseca*

Foto da capa: *Leo Nobre de Miranda*

Impressão e acabamento: *Alexandre Moreira Veloso*

Divino Batista de Sousa

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

1ª edição

1ª impressão (2008): 100 exemplares

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Cerrados

M274 Manejo da irrigação do feijoeiro considerando critérios técnicos e econômicos em ambiente de Cerrado / Sebastião Francisco Figuerêdo... [et al.]. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2008.
26 p. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X ; 221).

1. Irrigação. 2. Cultura irrigada. 3. Feijão. 4. Manejo de água.
I. Figuerêdo, Sebastião Francisco. II. Série.

635.652 - CDD 21

© Embrapa 2008

Sumário

Resumo	5
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	10
Resultados e Discussão.....	14
Conclusões.....	23
Referências	23

Manejo da Irrigação do Feijoeiro Considerando Critérios Técnicos e Econômicos em Ambiente de Cerrado

Sebastião Francisco Figuerêdo¹; Eder João Pozzebon²; José Antônio Frizzone³; Juscelino Antonio de Azevedo⁴; Antônio Fernando Guerra⁵; Euzébio Medrado da Silva⁶

Resumo

O conhecimento sobre o manejo da irrigação sob condições de escassez de água é essencial para o aperfeiçoamento da agricultura irrigada. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi definir níveis de tensão de água no solo mais adequados para o início das irrigações do feijoeiro, baseados em critérios técnicos e econômicos. Foram conduzidos experimentos na Embrapa Cerrados, DF, em blocos ao acaso, testando como tratamentos as seguintes tensões: 33 kPa, 50 kPa, 70 kPa, 100 kPa, 500 kPa e 1.000 kPa, na profundidade de 10 cm. As irrigações foram aplicadas até a capacidade de campo, na camada de 0 cm a 40 cm. No intervalo 37 kPa a 967 kPa, o rendimento de grãos reduziu-se, em forma logarítmica, com o aumento da tensão e, quadrática, com as lâminas totais. Os maiores rendimentos foram obtidos quando a irrigação era feita na tensão próxima de 37 kPa. Entretanto, ao considerar-se uma situação média estudada de custo da água e de preço do feijão, o nível de tensão mais adequado, para maior lucratividade, passou para 61 kPa. As análises mostraram que baixos custos da água e altos preços do feijão levam os pontos de máximo rendimento de grãos e de lucratividade a se aproximarem. Numa situação contrária esses pontos se distanciam, resultando em economia de água.

Termos para indexação: tensão da água no solo, análise econômica, manejo da irrigação, otimização da irrigação.

¹Engenheiro Agrícola, M.Sc., Embrapa Cerrados, figueredo@cpac.embrapa.br

²Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Agência Nacional de Águas, eder@ana.gov.br

³Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Professor da Esalq, frizzone@carpa.ciagri.usp.br

⁴Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Embrapa Cerrados, juscelin@cpac.embrapa.br

⁵Engenheiro Agrícola, Ph.D., Embrapa Cerrados, guerra@cpac.embrapa.br

⁶Engenheiro Agrônomo, Ph.D., Embrapa Cerrados, euzébio@cpac.embrapa.br

Handling of the Irrigation of the Bean Plant Considering Technical and Economical Criteria in Atmosphere of Savannah

Abstract

The knowledge about the irrigation management under water deficit conditions is essential for improving the irrigated agriculture. In this way, this work was developed aiming to define the most adequate soil-water tensions to begin irrigating drybean crop in Cerrado, based on technical and economical criteria. There were conducted field experiments in Embrapa Cerrados, DF, as randomized blocks, testing as treatments, the following soil-water tensions: 33 kPa, 50 kPa, 70 kPa, 100 kPa, 500 kPa e 1000 kPa, in the 10-cm depth. The irrigations were applied up to field capacity to fill the 40-cm soil depth. In the interval from 37 to 967 kPa, the grain yield decreased, logarithmically, with the increase of soil-water tension and, quadratically, with total applied water. The highest yields were obtained when the irrigations were conducted with soil-water tension around 37kPa. However, after considering the water irrigation costs and the grain dry bean price, the best soil-water tension for getting larger economic return became 61 kPa. The analysis showed that the combination of low irrigation costs and high grain drybean prices makes the breakeven points of total water applied for maximum yield and maximum economic return to approximate to each other, and, on the contrary, become apart, resulting in larger water economy.

Index terms: Soil-water tension, economical analysis, irrigation management, optimizing irrigation.

Introdução

A água está se tornando um recurso cada vez mais escasso, com importância estratégica crescente nos setores ambiental, econômico, social e político. No cenário brasileiro, a agricultura irrigada em 1998 ocupava 2,87 milhões de hectares (6,12 % da área total cultivada) de uma área potencial estimada em 29,6 milhões de hectares (CHRISTOFIDIS, 2002). A agricultura irrigada gera grandes benefícios ao País, entretanto, é a atividade que mais demanda água, sendo responsável por aproximadamente 61 % do volume captado dos mananciais (LIMA et al., 1999). Com a gradual implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos e seus instrumentos de gestão (BRASIL, 2002), que prevê a outorga e a cobrança pelo uso da água, é possível que ocorra uma redução na disponibilidade da água para a irrigação ou aumento nos custos de sua utilização. Desse modo, todos os esforços devem ser feitos para um aproveitamento mais eficiente da água.

No Cerrado, a irrigação total, além de permitir a produção na época seca, oportunamente e de forma planejada, possibilita a utilização de recursos como terra, capital, máquinas e mão-de-obra, quando normalmente as atividades agrícolas estariam paralisadas (AZEVEDO; SILVA, 1999). Além disso, as altas produtividades obtidas ocorrem em épocas de entressafra, quando os produtos podem alcançar melhores preços no mercado. Por outro lado, na época chuvosa, a irrigação suplementar impede quebras significativas na produção durante eventuais veranicos. Contudo, como qualquer prática agrícola, a irrigação por si só não garante boas colheitas, porém, quando acompanhada de técnicas recomendáveis, pode elevar a produtividade muito acima daquelas normalmente alcançadas. Nesse sentido, Oliveira et al. (2004) observaram que o aumento do nível da água disponível no solo concorreu para uma melhor utilização do nitrogênio pelo feijoeiro. Em Lavras, MG, Rodrigues et al. (2002) observaram que, sob irrigação total, foram maiores as respostas do feijoeiro às adubações com nitrogênio e fósforo.

Um dos aspectos mais importantes para o sucesso da agricultura irrigada é o manejo da água aplicada pela irrigação. Apesar de avaliar de forma indireta a deficiência hídrica de uma cultura, o controle da tensão da água no solo tem se mostrado eficaz (AZEVEDO et al., 1983, AZEVEDO; CAIXETA, 1986, GUERRA et al., 1994, SILVA et al., 1998, AZEVEDO; SILVA, 1999). Para essa finalidade, o tensiômetro tem sido indicado como instrumento preciso, simples e prático para estabelecer o momento de irrigação, apesar da desvantagem de operar, no máximo, até aproximadamente 80 kPa (SAAD; LIBARDI, 1992). Essa faixa de tensão, entretanto, cobre a maioria das situações de controle de irrigação (AZEVEDO; SILVA, 1999). Para tensões acima dessa faixa, podem-se utilizar outros equipamentos, como os blocos de resistência elétrica ou blocos de gesso (BERNARDO, 1989).

Uma estratégia para reduzir o consumo de água é o manejo da irrigação considerando possíveis ocorrências de déficits hídricos. Em geral, o estresse hídrico afeta a produtividade das culturas de forma variada, pois elas apresentam diferentes e complexos mecanismos de reação a pouca disponibilidade de água (FAO, 2002). As maiores produtividades são obtidas com suprimentos hídricos e nutricionais ideais. Porém, sob condições limitadas de suprimento de água, as plantas adaptam-se ao estresse hídrico, podendo produzir satisfatoriamente com menos água. No caso específico da cultura do feijão, Paiva et al. (2005) observaram redução na condutância estomática em resposta a baixos potenciais da água no solo e altos valores de déficit de pressão de vapor na atmosfera, encontrando, também, menores condutâncias estomáticas nas fases reprodutivas.

Em termos econômicos, essas características podem ser exploradas pela irrigação, realizando as aplicações de água com certo déficit hídrico nas plantas. O principal objetivo da irrigação com déficit é economizar água, resultando em menores custos e receitas líquidas otimizadas, já que nem sempre as maiores produtividades são as mais lucrativas (FRIZZONE, 1986). Isso ocorre especialmente em condições

de restrições de disponibilidade de água. Ao considerar as respostas aos déficits hídricos no rendimento do feijoeiro, em Selvíria, MS, Arf et al. (2004) verificaram que lâminas menores, sob regime de irrigação suplementar, propiciaram produtividades de grãos semelhantes às maiores, porém com menores custos de produção. Nesses casos, as funções de produção, água-rendimento, tornam-se ferramentas importantes nas decisões de caráter econômico, especialmente quando a água for um dos fatores limitantes ao aumento da produção. Ressalta-se, ainda, que para cada condição ambiental, existe uma relação funcional entre o fator água e a produção das culturas (FRIZZONE; ANDRADE JUNIOR, 2005). Nesse sentido, salienta-se que – apesar de a evapotranspiração ser considerada um parâmetro mais associado ao rendimento das culturas, apresentando com este um comportamento linear –, normalmente são preferidas as relações entre rendimento e lâminas para representar essa funcionalidade (FRIZZONE; ANDRADE JÚNIOR, 2005; AGUIAR, 2005).

No Brasil, nos últimos anos tem ocorrido maior estabilidade na produção do feijão em decorrência de avanços tecnológicos, especialmente com o uso da irrigação. Apesar disso, os preços pagos aos produtores ainda apresentam grandes oscilações. Barros et al. (2001) verificaram que os preços do feijão foram os que tiveram as maiores variações anuais no período de 1975 a 2000. Vários fatores contribuíram para isso, sendo um dos principais o fato de o produto ter apresentado demanda inelástica, em decorrência da limitação individual de seu consumo. Essa característica favorece a queda acentuada dos preços quando existir excesso do produto no mercado. Numa situação contrária, uma acentuada elevação dos preços ocorre no caso de quebras de safras.

Nota-se que a irrigação tem um papel fundamental no aumento da produtividade, estabilidade e qualidade na produção do feijão. Entretanto, ainda é necessário que técnicas estejam disponíveis aos produtores de modo a garantir a sustentabilidade econômica da

atividade em situações críticas como: preços baixos do produto, altos custos de produção e restrições na disponibilidade de água. Entre essas técnicas, uma das mais importantes é o manejo da irrigação do feijoeiro cultivado no Cerrado, baseado em critérios técnicos e econômicos, levando-se em conta a possibilidade de escassez de água para irrigação.

Assim, o objetivo deste trabalho foi definir os níveis de tensão de água no solo mais adequados para o início das irrigações do feijoeiro no Cerrado, baseado em critérios técnicos e econômicos.

Material e Métodos

O cultivo utilizado foi o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Carioca, com ciclo de aproximadamente 90 dias, conduzido no campo experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF, na latitude de 15° 35' 30" S, longitude 47° 42' 30" W e altitude 1.014 m, nos anos de 1988, 1990 e 1991. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se de seis níveis de tensão de água no solo, previamente estabelecidos em T1 (33 kPa), T2 (50 kPa), T3 (70 kPa), T4 (100 kPa), T5 (500 kPa) e T6 (1.000 kPa).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho, fase argilosa. A adubação foi calculada em função da análise química do solo, considerando-se que a fertilidade não fosse fator limitante ao desenvolvimento da cultura. Aplicaram-se os fertilizantes químicos, macro e micronutrientes, respectivamente nas quantidades de 130 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de termofosfato Yoorin, 108 kg ha⁻¹ de K₂O sob a forma de cloreto de potássio, 97 kg ha⁻¹ de Mg e 40 kg ha⁻¹ de FTE BR-12. Nos três anos do experimento, a semeadura foi realizada na segunda quinzena de maio, com densidade de 12 plantas por metro linear, em parcelas de 3,5 m x 6,0 m. Para o suprimento de nitrogênio, foi feita a inoculação das sementes com *Rhizobium* específico para o feijoeiro.

A irrigação das parcelas foi feita por meio de tubo de PVC perfurado ligado a uma caixa de 1.000 L, instalada ao lado do experimento, a 6 m de altura. Esse esquema buscou simular irrigação por aspersão, porém, com maior uniformidade de aplicação. A água aplicada foi medida por um hidrômetro com precisão de 1 L, sendo a intensidade controlada por meio de um registro de gaveta situado na tubulação pouco antes do hidrômetro, de forma a não permitir o escoamento superficial dentro das parcelas. Para garantir a uniformidade da germinação das sementes em todos os tratamentos, aplicou-se 50 mm de água parcelados em três irrigações de 15 mm, 15 mm e 20 mm, em intervalos de 2 dias. Nos três anos desse experimento, 1988, 1990 e 1991, somente houve precipitação pluviométrica, durante o ciclo do cultivo, em 1990, em julho, nos dias 6 (40 dias após a semeadura), 12, 13 e 14, totalizando 67,7 mm.

Para o controle das irrigações por meio da medida do potencial matricial da água no solo, utilizou-se tensiômetros e blocos de gesso (blocos de resistência elétrica), instalados oito dias após a semeadura. Em cada repetição, foi sorteada uma parcela para instalação da bateria dos tensiômetros (Fig. 1) e blocos de gesso (Fig. 2), nas profundidades de 0,10 m; 0,20 m; 0,30 m; 0,40 m; 0,50 m; 0,60 m e 0,80 m. Os tensiômetros de menor profundidade (0,10 m) serviram para monitorar o momento da irrigação nos tratamentos T1 (33 kPa), T2 (50 kPa) e T3 (70 kPa). Os blocos de gesso serviram para monitorar os demais tratamentos. No momento de cada irrigação, os conteúdos volumétricos de água associados às medidas de tensão ou de resistência dos blocos de gesso, nas profundidades de 0,10 m; 0,20 m; 0,30 m; e 0,40 m, foram utilizados para calcular a lâmina de irrigação a ser aplicada em cada tratamento, visando elevar a umidade do solo à capacidade de campo ($0,345 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) até a profundidade de 0,40 m.



Fig. 1. Detalhe da bateria de tensiômetros de mercúrio com a escala de leitura posicionada fora do interior das parcelas para não compactar os locais de instalação dos tensiômetros.



Fig. 2. Registro de leituras dos blocos com resistência elétrica (Bouyoucos) instalados nos tratamentos com tensões acima de 0,7 atm.

O rendimento de grãos foi determinado em cinco fileiras centrais de plantas, em 2,5 m de comprimento, totalizando 12,5 m² de área útil em cada parcela, sendo a colheita realizada manualmente. Foi realizada análise da variância para o rendimento de grãos, com o nível de significância de 1 %. Também foram estudados os ajustes de equações para diversas relações, quais sejam: a tensão de água no solo antes de cada irrigação e o rendimento de grãos; a tensão da água no solo e a lâmina total de água recebida pela cultura; a lâmina total e o rendimento de grãos; e a lâmina total e a diferença entre o valor do produto pago aos produtores e os custos associados da irrigação. A partir dessas relações, foi feita a determinação do ponto de máximo rendimento de grãos e a análise da sensibilidade da máxima lucratividade, considerando-se a variação dos preços do feijão a serem pagos aos produtores e os custos associados à irrigação.

A variação desses parâmetros foi estabelecida, considerando-se faixas de valores de custo associados à irrigação de 0,32 mm ha⁻¹ a 0,74 US\$ mm ha⁻¹ (QUEIROZ et al., 1996; PAZ et al., 1997; PAZ et al., 2002), conforme determinado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (1994) para a cultura do feijão irrigado sob sistema de pivô central na região de Guairá, SP.

As faixas dos preços do feijão foram estabelecidas, considerando os valores entre 0,25 US\$ kg⁻¹ e 0,76 US\$ kg⁻¹, tomando por base os preços médios mensais recebidos pelos produtores do Estado de São Paulo entre janeiro de 1996 e janeiro de 2004 (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 2004).

Desse modo, adotando a conversão de dólar para reais, em R\$ 2,50 US\$⁻¹, as faixas de custo da irrigação e do preço pago ao produtor estudadas foram, respectivamente, 0,70 R\$ mm⁻¹ e 2,20 R\$ mm⁻¹ e 0,50 R\$ kg⁻¹ e 2,00 R\$ kg⁻¹. Para a análise de sensibilidade, cada uma dessas faixas foi dividida em seis intervalos de R\$ 0,30, resultando nos custos da irrigação em R\$ mm⁻¹: 0,70; 1,00; 1,30; 1,60; 1,90; e 2,20. Para os preços do feijão em R\$ kg⁻¹: 0,50; 0,80; 1,10; 1,40; 1,70; e 2,00.

Deve-se destacar que as lâminas totais de água correspondem ao somatório das irrigações e precipitações ao longo do ciclo da cultura, acrescidas de 50 mm das irrigações iniciais para germinação. No experimento, foi considerada uma eficiência da irrigação de 88 %. Além disso, é aceita a suposição de que a variação das lâminas de irrigação não alterou os outros custos de produção, considerados como fixos. Mais detalhes sobre a metodologia empregada neste trabalho podem ser obtidos em Figuerêdo (1998) e Figuerêdo et al. (1998). Uma vista geral do experimento próximo à época de colheita encontra-se na Fig. 3.



Fig. 3. Vista geral do experimento próximo à época de colheita no terceiro cultivo, mostrando aspectos das parcelas nos diferentes tratamentos.

Resultados e Discussão

Os resultados médios para os três anos do experimento são apresentados na Tabela 1. As tensões observadas diferiram das previamente estabelecidas. Isso ocorreu em decorrência do sistema de irrigação não ser automatizado, fato que dificultou a realização das irrigações no momento exato do pré-estabelecido. Quanto ao rendimento de grãos, observa-se que, mesmo nos tratamentos submetidos ao déficit hídrico, os dados de produtividade foram superiores aos relatados por Almeida et al. (1990). Na época, os autores consideraram como sendo de 1.033 kg ha^{-1} , como o mínimo rendimento de grãos para viabilizar economicamente a implantação da cultura sob irrigação. Em Lavras, MG, Rodrigues et al. (2002) obtiveram

resultados médios de três safras de 1.470 kg ha⁻¹. Entretanto, na safra de inverno-primavera, quando as condições climáticas são mais favoráveis à cultura sob irrigação, a produtividade foi de 1.738 kg ha⁻¹. Comparando-se esses dados aos obtidos nesse experimento, verifica-se que o Cerrado apresenta condições mais adequadas à cultura do feijoeiro irrigado, sendo possível a obtenção de altos rendimentos se forem utilizadas tecnologias que levem em conta os fatores que mais influenciam no rendimento. Um dos mais importantes é a maior disponibilidade hídrica do solo proporcionada pela irrigação. Essa constatação é reforçada pelos resultados de Guerra et al. (2000), em Planaltina, DF, que obtiveram rendimentos de grãos acima de 4.800 kg ha⁻¹ para tensão de água no solo de 41 kPa e suprimentos ótimos de adubação nitrogenada, bem como por Azevedo et al. (2008) em cultivo plantado em junho de 1997, os quais obtiveram produtividade de 4.451 kg ha⁻¹, irrigando a tensões próximas de 25 kPa e aplicando 600 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado 5.20.20 no sulco de plantio, em solo previamente corrigido. Essa constatação também é fortalecida por Silveira et al. (2001), que obtiveram rendimentos médios de 2.493 kg ha⁻¹ em diferentes sistemas de preparo do solo e rotação de culturas no Município de Santo Antônio de Goiás e concluíram que o feijoeiro irrigado por aspersão é economicamente viável.

Tabela 1. Valores médios nos três anos de estudos na cultura do feijoeiro das variáveis: tensão da água no solo observada, rendimentos de grãos, lâminas e volumes de água aplicadas, custos associados à irrigação (C) e valor da produção (V) – Planaltina, DF.

Tensões pré-estabelecidas		Ano	Tensões observ.	Rend. de grãos (1)	Lâmina aplicada	Volume consum.	Custo (C) (2)	Valor (V) (3)	V-C
Trat.	kPa	-	kPa	kg ha ⁻¹	mm	m ³ ha ⁻¹	R\$ mm ⁻¹ ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹
T1	33	1988	36	2.945,7	623	6.230	903,4	3.682,1	2.778,8
T1	33	1991	37	3.320,0	602	6.020	871,9	4.150,0	3.277,1
T1	33	1990	38	3.021,7	528	5.280	765,6	3.777,1	3.011,5

Continua...

Tabela 1. Continuação.

Tensões pré-estabelecidas	Ano	Tensões observ.	Rend. de grãos (1)	Lâmina aplicada	Volume consum.	Custo (C) (2)	Valor (V) (3)	V-C	
Trat.	kPa	-	kPa	kg ha ⁻¹	mm	m ³ ha ⁻¹	R\$ mm ⁻¹ ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹
T2	50	1988	49	2.973,0	571	5.710	828,0	3.716,3	2.888,3
T2	50	1991	56	2.866,7	556	5.560	806,2	3.583,4	2.777,2
T2	50	1990	57	3.038,2	581	5.810	842,5	3.797,8	2.955,3
T3	70	1988	63	2.760,2	458	4.580	664,1	3.450,3	2.786,2
T3	70	1991	68	2.775,7	561	5.610	813,5	3.469,6	2.656,2
T3	70	1990	69	3.011,0	474	4.740	687,3	3.763,8	3.076,5
T4	100	1988	140	3.168,0	469	4.690	680,1	3.960,0	3.280,0
T4	100	1991	154	2.865,5	466	4.660	675,7	3.581,9	2.906,2
T4	100	1990	169	2.399,7	383	3.830	555,4	2.999,6	2.444,3
T5	500	1988	361	2.171,5	361	3.610	523,5	2.714,4	2.190,9
T5	500	1991	458	2.600,5	352	3.520	510,4	3.250,6	2.740,2
T5	500	1990	464	1.995,0	333	3.330	482,9	2.493,8	2.010,9
T6	1000	1988	917	2.152,2	324	3.240	469,8	2.690,3	2.220,5
T6	1000	1991	990	2.452,2	335	3.350	485,8	3.065,3	2.579,5
T6	1000	1990	994	2.210,0	325	3.250	471,3	2.762,5	2.291,3

(1) Teste F para rendimento de grãos significativo a 1 % de probabilidade; (2) Custo associado à irrigação (C), considerando-se a água valorada em R\$ 1,45 mm⁻¹ ha⁻¹; (3) Valor da produção (V), considerando-se o preço do feijão pago ao produtor de R\$ 1,25 kg⁻¹.

Na Tabela 1 verifica-se ainda o alto rendimento de grãos mesmo nos tratamentos submetidos a deficiências hídricas. As possíveis explicações são as boas condições da área experimental, tanto nas

condições físicas, de fertilidade do solo e de condução geral da cultura. A irrigação inicial de 50 mm, em todos os tratamentos, também pode ter contribuído para esse bom desempenho. Entretanto, cabe destacar que essas condições são esperadas em áreas onde tecnicamente se pratica a irrigação. Segundo Miranda et al. (2000), restrições na disponibilidade de água reduzem a produtividade do feijoeiro, porém, essa redução é tanto menor quanto mais adequada for a fertilidade do solo. Por outro lado, os rendimentos de grãos foram mais afetados nos tratamentos submetidos às maiores tensões da água no solo, conforme pode ser visto nas Fig. 4 e 5.



Fig. 4. Contraste entre o tratamento com deficiência hídrica severa (5 atm a 10 cm) no primeiro plano e o tratamento irrigado a 0,33 atm ao fundo, no terceiro cultivo.



Fig. 5. Contraste entre o tratamento com deficiência hídrica severa (10 atm a 10 cm) ao fundo e o tratamento irrigado a 0,50 atm no primeiro plano no terceiro cultivo.

Nesses tratamentos, foram feitos menos irrigações, conseqüentemente, com maiores intervalos entre as mesmas, ficando a cultura submetida durante mais tempo a estresses hídricos mais severos. O rendimento de grãos apresentou diferenças entre os tratamentos a 1 % de significância pelo teste F, nos três anos estudados (Tabela 1).

Analisando conjuntamente os resultados dos três anos, verificou-se que a variação do rendimento de grãos em função da tensão da água do solo segue um comportamento logarítmico (Fig. 6a), considerando a faixa de valores de tensão observados de 36 kPa a 994 kPa. Da mesma forma, a lâmina total em função da tensão da água no solo apresentou um comportamento logarítmico (Fig. 6b). Isso ocorreu por causa do aumento da tensão da água no solo para o início das irrigações, que proporcionou redução progressiva nas necessidades de irrigação.

Em regimes de irrigação que utilizam maiores tensões de água no solo, como critérios de irrigação, ocorrem reduções nas lâminas totais, por causa do menor desenvolvimento vegetativo da planta (GUERRA et al., 2000) e à menor perda de água por evaporação, notadamente nas fases iniciais do cultivo, quando a superfície do solo ainda se encontra descoberta (SILVA et al., 1998). Entretanto, outros fatores podem proporcionar esse comportamento. Um deles está relacionado às características de retenção da água no solo, que apresenta, nas tensões mais baixas, as retenções de maiores volumes de água. Nessa situação, tanto a evapotranspiração, quanto às perdas na aplicação da irrigação, tendem a ser maiores.

Analisando a regressão entre a variável lâmina de água total aplicada durante o ciclo da cultura e o rendimento de grãos, considerando a faixa de valores observados de 324 mm a 623 mm, verificou-se que a relação segue uma variação quadrática (Fig. 7a). Esse comportamento quadrático entre o rendimento e a lâmina de água aplicada tem sido também observado em outros estudos com o feijoeiro (SILVEIRA; STONE, 2004).

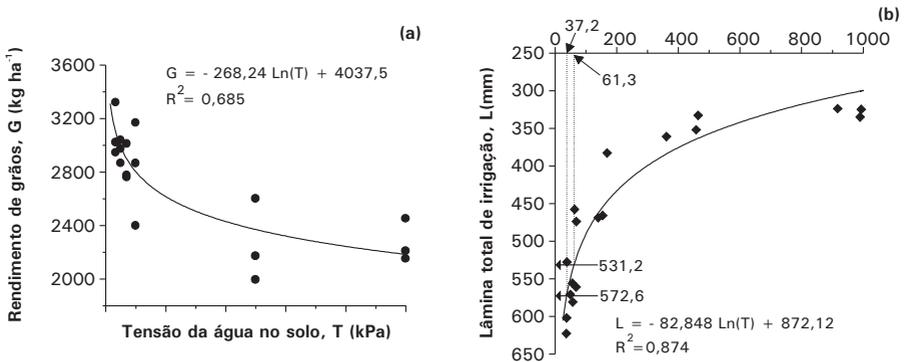


Fig. 6. Rendimento (a) e lâmina total de irrigação (b) em função da tensão da água no solo para a cultura do feijoeiro, Planaltina, DF.

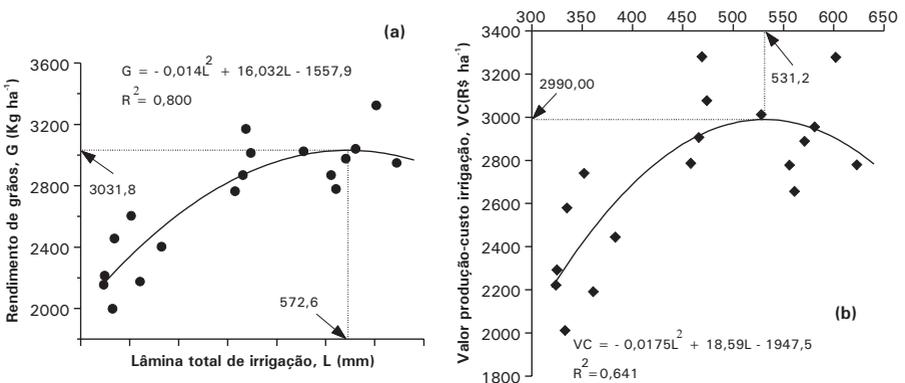


Fig. 7. Curva de rendimento de grãos (a) e variação da receita (b) em função das lâminas de água na cultura do feijoeiro, Planaltina, DF.

Sabe-se, no entanto, que, se for analisada a relação entre o rendimento de grãos e somente a água evapotranspirada, existirá a tendência da resposta ser linear (AGUIAR, 2005; FRIZZONE; ANDRADE JÚNIOR, 2005). Entretanto, ao serem consideradas as relações entre as lâminas aplicadas e o rendimento de grãos, o ajuste linear não será adequado, pois, nesse caso, estarão incluídos outros componentes de perdas de água, como a percolação profunda e a evaporação da água através da superfície do solo, que tendem desviar essa resposta da linearidade. Essas perdas, que estão incluídas na soma das lâminas de irrigação,

não representam um consumo produtivo e, por isso, não resultam em aumentos no rendimento do cultivo, colaborando para a tendência ao comportamento quadrático.

Outros fatores como maior incidência de doenças e maior probabilidade de efeitos negativos por causa dos excessos de água também podem contribuir para a redução do rendimento de grãos quando o manejo da irrigação considerar a manutenção da umidade do solo próximo a capacidade de campo.

O excesso de água pode ser tão prejudicial quanto o déficit. Paz et al. (1997) encontraram redução da receita líquida por déficit ou excesso de água em decorrência de desuniformidades na irrigação do feijoeiro. Destaca-se que Rezende et al. (2004), estudando o rendimento de grãos versus lâminas de água na cultura do feijão, em Maringá, PR, encontraram dificuldades no ajuste de funções de produção e eles atribuíram o fato a existência de outros fatores não identificados que podem causar maior dispersão nos dados de rendimento de grãos.

Analisando o modelo quadrático e a equação correspondente (Fig. 7a), pode-se deduzir que o ponto equivalente ao máximo rendimento de grãos foi de 3.032 kg ha^{-1} , correspondendo à lâmina total de irrigação de 573 mm. Esse resultado concorda com Calheiros et al. (1996), que encontraram a lâmina total aplicada de 575 mm para o máximo rendimento de grãos de feijão. Tomando por base a lâmina de 573 mm e o modelo logarítmico ajustado na Fig. 6b, chega-se à tensão de 37 kPa, a qual leva ao ponto ótimo de máxima produtividade, sem nenhuma consideração de ordem econômica. Deve-se ressaltar que esse valor foi obtido com as leituras de tensão de água no solo feitas na linha das plantas a 10 cm de profundidade.

Na análise da lucratividade do feijoeiro, introduzindo a componente de custo na decisão sobre qual deverá ser o melhor nível de tensão a ser utilizado no momento da irrigação, foram considerados seis pontos variando a cada R\$ 0,30, para os custos da água de irrigação na faixa de R\$ 0,70 a R\$ 2,20, e para os preços de preço de feijão de R\$ 0,50 a R\$ 2,00.

Para a determinação da máxima lucratividade, a variação entre o valor total da produção menos custo da irrigação (VC) e a lâmina total de irrigação (L), na faixa de 324 mm a 623 mm foi representada também pela função quadrática (Fig. 7b). Com base nessa modelagem, observou-se que o valor de máxima lucratividade foi de 2.990,00 R\$ ha⁻¹, correspondente à lâmina total de irrigação de 531 mm. Nesse cálculo, foi considerado o custo médio da lâmina de água de irrigação de R\$ 1,45 mm⁻¹ ha⁻¹ e o preço médio do feijão pago ao produtor de R\$ 1,25 kg⁻¹.

Como resultado, o ponto de máxima lucratividade ocorreu com a lâmina de irrigação de 531 mm (Fig. 7b) e o valor correspondente de tensão da água no solo de 61 kPa (Fig. 6b), considerando a produtividade de 2.990,00 kg ha⁻¹(Fig. 7b). Verifica-se que houve um decréscimo de apenas 7 % na lâmina correspondente ao ponto de máxima lucratividade em relação ao de máximo rendimento de grãos. Calheiros et al. (1996) obtiveram valor médio de lâmina para máxima lucratividade de 409 mm. Em seu trabalho, essa lâmina correspondia a 71 % da necessária para o máximo rendimento de grãos. A magnitude das diferenças entre o ponto de máximo rendimento de grãos e máxima lucratividade depende dos custos associados à irrigação e do preço do feijão a ser recebido pelos produtores. A visualização das possíveis variações desses dois fatores pode ser percebida melhor na Fig. 8.

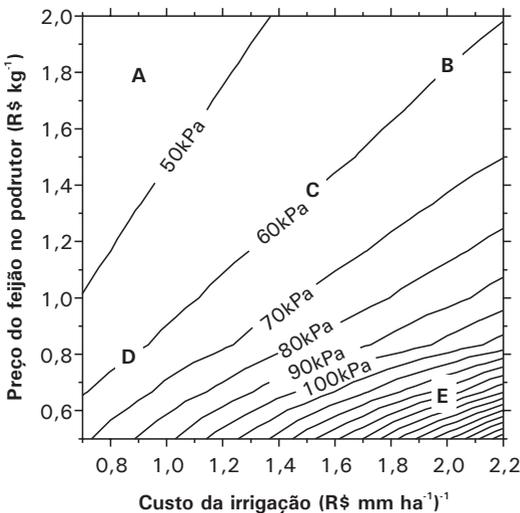


Fig. 8. Linhas de contorno da tensão da água no solo para obtenção de máximas lucratividades em função do custo associado à irrigação e do preço do feijão a ser pago aos produtores, Planaltina, DF.

Depreende-se da Fig. 8 que, quando o custo associado à irrigação for baixo e o preço do feijão for alto, o manejo da irrigação pode ser feito em níveis de tensão da água no solo próximos ao ponto de máxima produtividade de 37 kPa (região A do gráfico). Numa situação econômica média, o manejo da irrigação poderá ser feito considerando-se valores de tensão em torno de 60 kPa. Essa situação média pode ser determinada quando ambos os fatores forem altos (região B do gráfico), quando os dois fatores forem intermediários (região C do gráfico) ou quando ambos os fatores forem baixos (região D do gráfico).

Pelo contrário, quando o custo da irrigação for alto e os preços do feijão forem baixos, esse manejo poderá ser feito considerando valores maiores de tensão da água no solo (região E do gráfico), que resultarão em menores lâminas totais consumidas, representando maior economia de água.

Nessa análise, considerando-se as faixas estudadas de custos associados à irrigação e de preços do feijão, na situação mais crítica, as diferenças máximas ocorreram para os custos associados à irrigação de 2,20 R\$ mm⁻¹ ha⁻¹ e de preços do feijão de 0,50 R\$ kg⁻¹. Nessa situação, a redução nas lâminas foi de 27 %, em relação a lâmina de 572 mm no ponto de máximo rendimento, correspondendo a um aumento nas tensões de 566,2 % e redução na produtividade de apenas 16 %. Essa redução de 27 % nas lâminas de irrigação resultou em uma economia de água de 1.571 m³ ha⁻¹.

Deve-se destacar que o ponto de máxima lucratividade obtido neste trabalho é válido para a eficiência da irrigação do experimento, considerada em 88 %. Caso sejam implementadas técnicas para melhorar a eficiência da irrigação, os pontos de máxima lucratividade tenderão a se aproximar dos pontos de máximo rendimento de grãos tão quanto maiores forem as eficiências da irrigação.

Finalmente, destaca-se que os resultados obtidos nesse trabalho serviram para demonstrar a viabilidade do manejo da irrigação, levando-se em conta a possibilidade de submeter o cultivo a uma deficiência hídrica programada para obter maior lucratividade. Entretanto, as análises

apenas levaram em consideração os custos variáveis da irrigação, sendo que, na prática da irrigação, a decisão do nível de manejo da irrigação também deverá considerar o custo total de produção. Da forma como estudado nesse trabalho, pode ser conhecido o ponto de máxima lucratividade do feijoeiro irrigado.

Conclusões

O manejo da irrigação do feijoeiro nos Cerrados pode ser feito levando-se em conta critérios técnicos e econômicos visando à máxima lucratividade. Isso é possível, pois, apesar das maiores produtividades serem obtidas quando as irrigações são realizadas com o nível de tensão da água no solo em torno de 37 kPa, os pontos de máxima lucratividade dependem dos valores momentâneos dos custos da água de irrigação e as expectativas dos preços do feijão a serem pagos aos produtores.

As maiores lucratividades, considerando-se uma situação média de custo da água de irrigação e preços do feijão, são alcançadas quando as irrigações são feitas com as leituras dos tensiômetros em torno de 61 kPa. Essa mudança das tensões para o início das irrigações, de 37 kPa para 61 kPa, permite uma economia de 41 mm de água no ciclo da cultura.

Os baixos preços do feijão e os altos custos de água de irrigação proporcionam as maiores diferenças entre os pontos de tensão para o máximo rendimento e máxima lucratividade. Numa situação contrária, de altos preços do feijão e de baixos custos de água de irrigação, esses dois pontos tendem a aproximarem-se.

Referências

AGUIAR, J. V. de. **A função de produção na agricultura irrigada**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2005. 196 p.

ALMEIDA, V. M.; RAMALHO, M. A. P.; REIS, J. dos; MUNIZ, J. A. Avaliação agrônômica e econômica de sistemas de produção de feijão irrigado (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Prática**, Lavras, v. 14, p. 125-136, 1990.

ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E. de; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. do. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 131-138, 2004.

AZEVEDO, J. A. de; SILVA, E. M. da; RESENDE, M.; GUERRA, A. F. **Aspectos sobre o manejo da irrigação por aspersão para o cerrado**. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1983. 53 p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 16).

AZEVEDO, J. A. de; CAIXETA, T. J. **Irrigação do feijoeiro**. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1986. 60 p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 23)

AZEVEDO, J. A. de; SILVA, E. M. da. **Tensiômetro: dispositivo prático para controle da irrigação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 1999. 39 p. (Embrapa Cerrados. Circular técnica, 1).

AZEVEDO, J. A. de; SILVA, E. M. da; RODRIGUES, G. C.; GOMES, A. C. Irrigação, densidade de plantio e adubação na produtividade do feijão irrigado por aspersão no cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRONOMIA, 25., 2007, Guarapari. **Anais...** Brasília, DF: CONFAEAB, 2008. 1 CD-ROM.

BARROS, J. R. M.; RIZZIERI, J. A. B.; PICHETTI, P. **Os efeitos da pesquisa agrícola para o consumidor**. São Paulo: Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, 2001. 68 p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa, MG: UFV, 1989. 596 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Recursos hídricos: conjunto de normas legais**. 2. ed. Brasília, DF, 2002. 141 p.

CALHEIROS, C. B. M.; QUEIROZ, J. E.; FRIZZONE, J. A.; PESSOA, P. C. S. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: água como fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, p. 509-515, 1996.

CHRISTOFIDIS, D. Recursos hídricos, irrigação e segurança alimentar. In: FREITAS, M. A. V. de (Ed.). **Estado das águas no Brasil: em busca do equilíbrio**. Brasília, DF: ANA, 2002. p. 111-134.

FAO. **Deficit irrigation practices**. Rome, 2002. 103 p. (Water Reports, 22).

FIGUERÊDO, S. F. **Estabelecimento do momento de irrigação com base na tensão da água no solo para a cultura do feijoeiro**. 1998. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

FIGUERÊDO, S. F.; FRIZZONE, J. A.; POZZEBOM, E. J.; AZEVEDO, J. A. de; GUERRA, A. F. Estabelecimento do momento de irrigação com base na tensão da água no solo para a cultura do feijoeiro. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 9, p. 35-49, 1998.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação**. 1986. 133 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de (Ed.). **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimento**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 626 p.

GUERRA, A. F.; SILVA, B. D. da; RODRIGUES, G. C. Manejo da irrigação e fertilização nitrogenada para o feijoeiro na região dos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 6, p. 1229-236, 2000.

GUERRA, A. F.; SILVA, E. M. da; AZEVEDO, J. A. Tensão de água no solo: um critério viável para a irrigação do trigo na região do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, p. 631-636, 1994.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Perspectivas para a safra de feijão da seca 2003/04 no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.iaea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=1237>>. Acesso em: 06 set. 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Racionalização do uso da água nos municípios de Guaira e Casa Branca, SP**. São Paulo, 1994. 2 v. (IPT. Relatório 30254).

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. O uso da irrigação no Brasil. In: FREITAS, M. A. V. de (Org.). **O estado das águas no Brasil - 1999: perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos**. Brasília, DF: ANEEL: OMM: MMA, 1999. p. 73-82.

MIRANDA, L. N. de; AZEVEDO, J. A. de; MIRANDA, J. C. C. de; GOMES, J. C. Produtividade do feijoeiro em resposta à adubação fosfatada e a regimes de irrigação em solos de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, p. 703-710, 2000.

OLIVEIRA, R. M. B.; OLIVEIRA, F. de A.; GUEDES, K. Fertilização nitrogenada e irrigação na cultura do feijão (Phaseolus vulgaris L) em casa de vegetação. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Campina Grande, PB, v. 4, n. 2, jul/dez. 2004. Disponível em: <<http://www.uepb.edu.br/eduep/rbct/sumarios/pdf/feijao.pdf>>. Acesso em: 07 set 2007.

PAIVA, A. S.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D.; TURCO, J. E. P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, p. 161-169, 2005.

PAZ, V. P. da S.; FRIZONE, J. A.; BOTREL, T. A.; FOLEGATTI, M. V. Otimização do uso da água em sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 6, p. 404-408, 2002.

PAZ, V. P. da S.; FRIZONE, J. A.; BOTREL, T. A.; FOLEGATTI, M. V. Redução da receita líquida por déficit ou excesso de água na cultura do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, p. 869-875, 1997.

QUEIROZ, J. E.; CALHEIROS, C. B. M.; PESSOA, P. C. S.; FRIZONE, J. A. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: terra como fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, p. 55-61, 1996.

REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L. de; MANTOVANI, E. C.; FRIZONE, J. A. Função de produção da cultura do milho e do feijão para diferentes lâminas e uniformidade de aplicação de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, PR, v. 26, n. 4, p. 503-511, 2004. Disponível em: <http://www.eduem.uem.br/acta/agro/2004_4/18_296_03.pdf>. Acesso em: 07 set. 2007.

RODRIGUES, J. R. de M.; ANDRADE, M. J. B. de; CARVALHO, J. G. de; MORAIS, A. R. de; REZENDE, P. M. de. População de plantas e rendimento de grãos do feijoeiro em função de doses de nitrogênio e fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 26, n. 6, nov/dez. 2002. p. 1218-1227. Disponível em: <http://www.editora.ufla.br/revista/26_6/art14.pdf>. Acesso em: 07 set. 2007.

SAAD, A. M.; LIBARDI, P. L. **Uso prático do tensiômetro pelo agricultor irrigante**. São Paulo: IPT, 1992. 27 p.

SILVA, E. M.; AZEVEDO, J. A. de; GUERRA, A. F. FIGUEREDO, S. F.; ANDRADE, L. M. de; ANTONINI, J. C. dos A. Manejo de irrigação para grandes culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas, MG. **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas: SBEA/UFLA, 1998. p. 239-280.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 25, p. 74-82, 2004.

SILVEIRA, P. M. da; SILVA, O. F. da; STONE, L. F.; SILVA, J. G. da. Efeitos do preparo do solo, plantio direto e de rotações de culturas sobre o rendimento e a economicidade do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, p. 257-263, 2001.