

INFLUÊNCIA DE SISTEMAS AGRÍCOLAS NA RESPOSTA DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) IRRIGADO À ADUBAÇÃO NITROGENADA EM COBERTURA¹

Corival Cândido da Silva² e Pedro Marques da Silveira²

ABSTRACT

DIFFERENT AGRICULTURAL SYSTEMS AND THEIR EFFECTS ON IRRIGATED COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) RESPONSE TO NITROGEN TOPDRESSING

In recent years emphasis has been placed upon the systemic approach of agricultural practices to increase food production. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) has demonstrated to be a suitable crop species as a component of several production systems as it has been shown on the irrigated areas of the Brazilian Central Region. However, general crop management techniques have to be adjusted as a function of the different crop systems available and nitrogen fertilization is one of those. To confirm this hypothesis, common bean response to nitrogen application was evaluated using cultivar Aporé under four different irrigated production systems using different crop rotations and soil management practices: A - bean-corn crop rotation, using moldboard plowing in the spring-summer (November/December) and harrowing in the autumn-winter (May-June) season; B - rice-bean crop rotation and moldboard plowing only; C - rice/calopogonium-bean crop rotation and harrowing only; D - corn-bean crop rotation using continuous no-tillage. Urea, used as the nitrogen source, was applied in topdressing using 0, 25, 50, 75, 100 and 125 kg.ha⁻¹ of N. Field trials were conducted during the fall-winter season, in 1996 and 1997, in a dystrophic Dark Red Latosol, at the experimental farm of Embrapa Rice & Beans. Treatment effects were detected on the number of pods per plant, 100 grain weight and grain yield. Higher yields were obtained for systems C and D in which there was less soil disturbance. In system C, the effect of different nitrogen doses fit in a quadratic model and 109 kg.ha⁻¹, estimated by the regression equation, provided the highest grain yields. In system D the effect was linear indicating that the bean crop demanded more nitrogen under no-tillage. In systems A and B the effect of different nitrogen doses varied according to the year of cultivation.

KEY WORDS: Crop rotation, soil preparation, yield production, productivity, dry beans.

RESUMO

O aumento na produção de alimentos por meio da agricultura, com enfoque em sistemas agrícolas, tem sido bastante praticado nos últimos anos. O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma espécie viável de integrar esses sistemas, o que tem sido demonstrado nas áreas irrigadas na região central do Brasil. Entretanto, são necessários ajustes nas técnicas de manejo, adequando-as aos diferentes sistemas. A adubação nitrogenada é uma delas e esta deve ser diferenciada, considerando a diversidade dos sistemas agrícolas em que o feijoeiro participa. Para testar esta hipótese, avaliou-se a influência de quatro sistemas agrícolas na resposta do feijoeiro irrigado, cultivar Aporé, à adubação nitrogenada. Os sistemas foram A - rotação milho-feijão, preparo do solo com arado de aiveca na primavera-verão (novembro-dezembro) e grade aradora no outono-inverno (maio-junho); B - rotação arroz-feijão, preparo do solo com arado de aiveca em todas as épocas; C - rotação arroz/calopogônio-feijão, preparo do solo com grade aradora em todas as épocas; e D - rotação milho-feijão, em plantio direto contínuo. O nitrogênio, tendo a uréia como fonte, foi aplicado em cobertura nas doses de 0, 25, 50, 75, 100 e 125 kg.ha⁻¹ de N. Os experimentos foram conduzidos no período de outono-inverno (maio-junho) de 1996 e 1997, em latossolo vermelho-escuro distrófico, na Fazenda Capivara, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão. Houve efeito dos tratamentos no número de vagens/planta, na massa de 100 grãos e no rendimento de grãos. Os maiores rendimentos de grãos foram obtidos nos sistemas C e D, em que houve menor movimentação de solo. No sistema C, o efeito das doses de N ajustou-se ao modelo quadrático, sendo de 109 kg.ha⁻¹ de N a dose estimada pela equação de regressão para obtenção dos maiores rendimentos. No sistema D, o efeito foi linear, mostrando que o feijoeiro demandou mais nitrogênio no plantio direto. Nos sistemas A e B, o efeito das doses variou com o ano de cultivo.

PALAVRAS-CHAVE: Rotação de cultura, preparo do solo, componentes da produção, produtividade, feijão.

1. Entregue para publicação em junho de 2000.

2. Embrapa Arroz e Feijão, Caixa Postal 179. CEP. 75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO. E-mail: corival@cnpaf.embrapa.br.

INTRODUÇÃO

O enfoque dado aos sistemas agrícolas tem aumentado bastante nos últimos anos, quando se busca maximizar o uso da terra e o rendimento das culturas, visando atender à demanda crescente por alimentos. Entende-se por sistema agrícola a utilização de uma determinada área com diversas culturas em sucessão, intercalando-se ou não espécies destinadas apenas ao fornecimento de material orgânico e com diferentes formas de manejo do solo e de utilização de insumos. Esse universo, constituído por diversas espécies de plantas com características específicas, além das diferentes formas de manejo do solo possíveis de serem realizadas, torna a análise dos sistemas agrícolas muito mais complexa do que a de uma cultura isoladamente. Essa complexidade constitui um desafio, quando se busca a otimização do uso da terra.

O manejo da planta e do ambiente é o caminho seguido para vencer esse desafio. Quanto ao ambiente, buscam-se técnicas que, em geral, envolvem manejo do solo, adubação e irrigação; quanto à planta, o objetivo é a rotação de culturas e novas cultivares, além do manejo inerente a cada uma delas.

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) sobressai entre as espécies de plantas viáveis para participar dos sistemas agrícolas irrigados, ao lado de outras como o milho, o arroz, a soja e o trigo.

Ao se optar pelo cultivo do feijoeiro em sistemas agrícolas intensivos, a maximização do uso da terra e o rendimento elevado dessa cultura somente serão obtidos se se conhecerem, além das suas exigências, os efeitos das interações que podem ocorrer no sistema, quando são envolvidos diferentes rotações de culturas, manejo do solo e irrigação.

O feijoeiro é uma planta bastante exigente em nutrientes e, por possuir ciclo curto, necessita que eles estejam prontamente disponíveis nos momentos de demanda, para não limitar a produtividade. O nitrogênio é considerado um dos mais importantes nutrientes para essa espécie de planta.

As pesquisas relativas à adubação nitrogenada em feijoeiro, citadas na literatura, referem-se comumente ao plantio sem irrigação; entretanto, com a grande expansão das áreas irrigadas com a cultura, vem-se estudando a adubação com nitrogênio nessa condição (Feitosa *et al.* 1980, Azevedo 1984, Frizzone *et al.* 1987, Silveira & Damasceno 1993, Barbosa Filho & Silva 1994, Ambrosano *et al.* 1996), ou até mesmo a comparação entre a época de plantio das “águas” e a da “seca”, para focar as diferenças que ocorrem na resposta da cultura à adubação, quando a

umidade do solo é variável (Rosolem 1987).

Em diversos trabalhos que mostram o efeito positivo da adubação nitrogenada, a cultura chega a responder a doses de N acima de 100 kg.ha⁻¹, e a sua aplicação associada a outras tecnologias e à irrigação normalmente torna-se viável. A prática de irrigação, portanto, é considerada um marco para a cultura do feijoeiro, porque viabilizou a adoção de tecnologia e, conseqüentemente, promoveu aumento da sua produtividade.

A agricultura vista pela ótica dos sistemas agrícolas pode ser considerada outro marco para essa cultura, pelo fato de ela constituir uma das principais alternativas, embora ainda necessitada de ajustes no seu manejo. A adubação nitrogenada é um deles. Assim como tem ocorrido com outras culturas, como a do trigo (Pöttker & Roman 1998), as recomendações relativas a essa adubação, via de regra, não a associam ao sistema agrícola em uso, especialmente à cultura anterior e ao manejo do solo.

Desta forma, em áreas cuja agricultura é praticada utilizando diferentes sistemas agrícolas – que incluem o feijoeiro como um dos componentes, como vem comumente acontecendo nos cerrados da região central do Brasil – esperam-se também diferentes respostas dessa cultura à adubação nitrogenada, em função das rotações de culturas, dos métodos de preparo do solo e das doses aplicadas. Essas informações poderão dar maior segurança às recomendações para essa prática, tornando-a mais eficaz. Partindo dessa premissa, realizou-se o presente estudo.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo constituiu uma ação de pesquisa agregada ao experimento denominado “Rotação de culturas e preparo do solo em sistemas agrícolas irrigados por aspersão”, iniciado em novembro de 1992 e composto por 24 combinações entre rotações de culturas e métodos de preparo do solo. Entre essas 24 combinações, foram selecionadas quatro, constituindo os sistemas no presente estudo.

Esses sistemas foram os seguintes: sistema A – rotação milho-feijão, preparo do solo com arado de aiveca no plantio de primavera-verão (novembro-dezembro) e grade aradora no outono-inverno (maio/junho); sistema B – rotação arroz-feijão, preparo do solo com arado de aiveca em todas as épocas; sistema C – rotação arroz/calopogônio-feijão, preparo do solo com grade aradora em todas as épocas; e sistema D – rotação milho-feijão, em plantio direto contínuo.

Os experimentos foram conduzidos em 1996 e em 1997, em área irrigada por aspersão, com sistema pivô central, na Fazenda Capivara, pertencente à Embrapa Arroz e Feijão, no município de Santo Antônio de Goiás. O solo do local é classificado como latossolo vermelho-escuro distrófico.

Em toda a área experimental fez-se calagem, em 27 de maio de 1996, distribuindo-se 2 t.ha⁻¹ de calcário com 63,3% de PRNT, 29,7% de CaO e 12,0% de MgO. Excetuando-se o sistema com plantio direto, nos demais o calcário foi incorporado ao solo.

Em 1996, nos dias 12 e 13 de junho, fez-se a semeadura mecanizada do feijão, utilizando a cultivar Aporé. As sementes foram tratadas com a mistura de carboxin+thiram, na dosagem de 250 ml do produto comercial para 100 kg de sementes. Regulou-se a semeadora para que distribuísse em torno de 16-19 sementes por metro de linha e, como adubação de base, aplicaram-se 400 kg.ha⁻¹ da fórmula 4-30-16 + Zn. Em 1997, a semeadura foi realizada em 26 de junho, de forma semelhante ao ano anterior, mas utilizando-se, na adubação, 400 kg.ha⁻¹ da fórmula 5-30-15.

Após a emergência das plântulas, fez-se a marcação dos experimentos nos quatro sistemas agrícolas. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três repetições, sendo que os sistemas agrícolas constituíram as parcelas e as doses de adubação nitrogenada em cobertura (0, 25, 50, 75, 100 e 125 kg.ha⁻¹ de N) constituíram as subparcelas. Cada subparcela foi constituída por seis linhas de 5 m de comprimento e espaçadas de 0,45 m, ficando, portanto, a subparcela com área total de 13,5 m².

Aos 39 dias após a emergência em 1996, e aos 36 em 1997, fez-se a adubação nitrogenada em cobertura, conforme os tratamentos preconizados, utilizando-se a uréia como fonte de N. O adubo foi distribuído em sulcos abertos manualmente entre as fileiras de plantas e, em seguida, cobertos com uma camada de terra de aproximadamente 4 cm de espessura.

As irrigações foram feitas sempre que a tensão de água no solo à profundidade de 0-15 cm alcançava a faixa de 30-40 kPa. O controle da umidade foi feito por meio de tensiômetros instalados na linha de semeadura, nas profundidades de 15 e 30 cm.

As colheitas foram realizadas manualmente, nos dias 6 e 7 de outubro de 1996, excetuando-se os tratamentos no sistema de plantio direto, os quais foram colhidos três dias após, e nos dias 6 e 7 de outubro de 1997. O rendimento foi obtido pesando-se os grãos colhidos na subparcela e corrigindo-se a umidade para 13%.

Além do rendimento, foram determinadas as seguintes variáveis: (a) o número de plantas por subparcela, contando-se o total de plantas da sua área útil por ocasião da colheita; (b) o número de vagens por planta, pela relação entre o número de vagens existentes na subparcela e o número de plantas; (c) o número de grãos por vagem, por meio de uma amostra de 50 vagens coletadas ao acaso em cada subparcela; e (d) a massa de 100 grãos, em uma amostra coletada em cada subparcela, totalizando três repetições por tratamento.

Fez-se a análise de variância dos dados obtidos em 1996 e 1997, e a análise conjunta dos mesmos. As interações sistema *versus* dose de nitrogênio significativas foram decompostas e as médias relativas aos tratamentos qualitativos foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para os tratamentos quantitativos foram ajustadas equações de regressão.

Para o cálculo das doses de máxima eficiência econômica, o procedimento foi semelhante ao adotado por Frizzone *et al.* (1987).

O valor de N foi a dose de máxima eficiência econômica para as condições em que a curva de resposta foi obtida. Foram considerados os preços vigentes em Goiânia, em julho de 1997, fornecidos pela Federação da Agricultura do Estado de Goiás, sendo o feijão a R\$ 0,44/kg e o N a R\$ 0,95/kg, este tendo como fonte a uréia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise conjunta de variância mostrou que não houve efeito significativo de sistemas agrícolas, de doses de nitrogênio e de anos sobre o número de grãos/vagem. As respectivas interações também não foram significativas (Tabela 1). Isto mostrou que o número de grãos/vagem é uma característica pouco afetada pelo ambiente e confirma os resultados obtidos por Urben Filho (1979), Arf *et al.* (1991), Silveira & Damasceno (1993) e Diniz *et al.* (1995). Discordam, porém, dos obtidos por Santa Cecília *et al.* (1974) e Villalobos (1980), embora todos esses autores tenham trabalhado com outras cultivares, e não com a Aporé, utilizada neste estudo.

Embora o efeito das doses de nitrogênio não tenha sido significativo, conforme a análise de variância, ao decompô-lo em efeito linear e efeito quadrático, verificou-se que o primeiro foi significativo ($P < 0,05$). Conforme mostra a Tabela 1, houve ligeiro decréscimo do número de grãos/vagem com o aumento das doses de nitrogênio, sendo, todavia, com-

pensado pelo aumento do número de vagens/planta. Esse decréscimo é descrito pela equação $Y = 5,22 - 0,00122 N$, com $R^2 = 0,82^{**}$. Esse resultado discorda dos obtidos por Santa Cecília *et al.* (1974) e Villalobos (1980), os quais obtiveram efeito linear crescente do número de grãos/vagem com o aumento das doses de 0 a 40 kg.ha⁻¹ de N e 0 a 120 kg.ha⁻¹ de N, respectivamente.

A análise conjunta de variância mostrou que houve efeito significativo de sistemas agrícolas ($P < 0,01$) e de doses de N ($P < 0,01$) sobre o número de vagens/planta. Ao comparar o efeito dos sistemas agrícolas (Tabela 1), verificou-se que no sistema C foi obtido o maior número médio de vagens/planta (8,86), seguido do sistema D (7,59). Verificou-se, por outro lado, que a interação sistemas x doses de N x anos foi, porém, significativa ($P < 0,01$), mostrando que o efeito das doses de nitrogênio no número de vagens/planta variou com os sistemas agrícolas e com os anos. O desdobramento dessa interação é mostrado na Tabela 2.

O sistema C, no qual foi feita a rotação arroz/calopogônio-feijão e cujo solo foi preparado com grade aradora em todos os plantios, independentemente dos anos de estudo, foi o que proporcionou os maiores valores de vagens/planta, embora não tenha diferido significativamente do sistema D, em que foi feito o plantio direto contínuo e rotação milho-feijão. Santos *et al.* (1997) também obtiveram maior valor do número de vagens/planta com a cultivar Aporé em plantio direto, embora em um ano não tenha diferido do preparo com grade e no outro do preparo com arado. A rotação milho-feijão também proporcionou os maiores valores de vagens/planta em ambos os anos.

O sistema D não diferiu dos demais em 1997, o mesmo não ocorrendo em 1996, quando ele diferiu do sistema A. Portanto, em 1996 houve maior discriminação entre os sistemas agrícolas, mas em ambos os anos, por ordem decrescente quanto ao número de vagens produzidas, obteve-se a seguinte seqüência: sistema C, sistema D, sistema B e sistema A.

Tabela 1. Número de grãos/vagem, número de vagens/planta, massa de 100 grãos e rendimento de grãos do feijoeiro (*P. vulgaris*) obtidos em função de sistemas agrícolas, de doses de nitrogênio em cobertura nos anos de 1996 e 1997. Santo Antônio de Goiás, GO. 2000.

Tratamentos		Grãos/vagem nº	Vagens/planta nº	Massa de 100 grãos g	Rendimento de grãos kg.ha ⁻¹
Sistema agrícola (S)	A ^{1/}	5,09	5,76	24,38 b	1569
	B	5,05	6,41	25,48 a	1784
	C	5,16	8,86	24,00 bc	2489
	D	5,28	7,59	23,24 c	2083
Dose de nitrogênio (N)	0	5,20	4,76	24,00	1347
	25	5,21	6,38	24,17	1816
	50	5,17	7,53	24,04	2048
	75	5,15	7,91	24,43	2191
	100	5,05	8,43	24,50	2184
	125	5,08	7,91	24,51	2302
Ano (A)	1996	5,11	7,23	21,22 b	1752
	1997	5,18	7,07	27,33 a	2211
Interações	A x S	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	S x N	n.s.	n.s.	**2/	**2/
	A x N	n.s.	n.s.	**	**
	A x S x N	n.s.	**2/	n.s.	**
Média	-	5,14	7,15	4,27	1981
C.V.(%) Sistema	-	7,51	21,55	4,78	31,61
C.V.(%) Dose de N	-	5,28	10,76	2,78	11,00

^{1/}A - Rotação milho-feijão, preparo do solo com arado de aiveca no plantio de verão e grade aradora no inverno; B - rotação arroz-feijão, preparo do solo com arado de aiveca em todos os plantios; C - rotação arroz/calopogônio-feijão, preparo do solo com grade aradora em todos os plantios; e D - rotação milho-feijão, em plantio direto contínuo.

^{2/}Significativo pelo teste de F a 1% de probabilidade.

Tabela 2. Número de vagens/planta, massa de 100 grãos e rendimento de grãos do feijoeiro (*P. vulgaris*) obtidos em função de doses de nitrogênio em cobertura e de sistemas agrícolas nos anos de 1996 e 1997. Santo Antônio de Goiás, GO. 2000.

Tratamentos Sistema agrícola	Dose de N kg.ha ⁻¹	Vagens/planta		Massa de 100 grãos g	Rendimento de grãos	
		1996 ————	1997 ————		1996 ————	1997 ————
A ^{1/}	0	3,64	2,49	23,49	957	722
	25	5,37	4,45	24,27	1470	1393
	50	5,98	6,39	24,27	1369	1897
	75	5,91	6,91	24,16	1269	2221
	100	6,35	8,49	25,04	1381	2418
	125	6,48	6,73	25,02	1689	2040
Média ^{2/}		5,62 C	5,91 B	24,37 B	1356 B	1782 C
B	0	4,30	5,00	25,36	1177	1463
	25	5,54	6,29	25,75	1496	1879
	50	6,88	7,04	25,09	1879	2137
	75	7,11	6,66	25,84	1842	1810
	100	7,30	6,56	25,66	1683	1910
	125	6,29	7,95	25,19	1705	2431
Média ^{2/}		6,24 BC	6,58 B	25,48 A	1630 AB	1938 BC
C	0	7,08	4,92	23,41	1804	1544
	25	8,64	7,77	23,46	2174	2420
	50	10,14	7,83	24,08	2379	2522
	75	10,01	9,31	24,48	2580	3013
	100	11,18	9,91	24,40	2685	3021
	125	9,32	10,18	24,21	2628	3103
Média ^{2/}		9,39 A	8,32 A	24,00 BC	2375 A	2604 A
D	0	5,08	5,58	23,72	1182	1929
	25	6,76	6,26	23,22	1551	2142
	50	8,29	7,69	22,73	1630	2575
	75	8,73	8,63	23,25	1937	2855
	100	8,79	8,89	22,90	1673	2698
	125	8,45	7,86	23,64	1906	2917
Média ^{2/}		7,68 AB	7,48 AB	23,24 C	1646 AB	2519 AB
Média geral		7,23	7,07	24,27	1752 b	2211 a
C.V.(%) Sistema		23,05	19,85	4,78	39,75	24,76
C.V.(%) Dose de N		9,12	12,25	2,78	10,24	11,34

1/- A - Rotação milho-feijão, preparo do solo com arado de aiveca no plantio de verão e grade aradora no inverno; B - rotação arroz-feijão, preparo do solo com arado de aiveca em todos os plantios; C - rotação arroz/calopogônio-feijão, preparo do solo com grade aradora em todos os plantios; e D - rotação milho-feijão, em plantio direto contínuo.

2/- Médias na mesma coluna, seguidas pelas mesmas letras, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com relação ao efeito do nitrogênio em cobertura, a análise de variância mostrou que tanto em 1996 quanto em 1997, em todos os sistemas, houve resposta significativa ao aumento das doses aplicadas, sendo que no sistema B, em 1997, o efeito foi linear e em todos os demais, quadrático. As equações ajustadas que descrevem esses efeitos são mostradas na Tabela 3. O aumento do número de vagens/planta em

resposta à aplicação de doses crescentes de nitrogênio foi também obtido por Santa Cecília *et al.* (1974), Silveira & Damasceno (1993), Calvache *et al.* (1995) e Diniz *et al.* (1995). Entretanto, Arf *et al.* (1991), utilizando a cultivar Carioca 80, não obtiveram aumento do número de vagens/planta quando se variavam as doses de nitrogênio de 0 a 40 kg.ha⁻¹ de N.

Verificou-se que no sistema C, que proporcionou o maior número de vagens/planta, os números máximos estimados por meio da equação de regressão (10,53 em 1996 e 10,02 em 1997) podem ser considerados baixos em relação ao potencial produtivo da cultivar Aporé, e ao valor obtido por outros autores (Santos *et al.* 1997). As doses de máxima eficiência técnica (MET), ou seja, aquelas que proporcionaram os valores máximos do número de vagens/planta no sistema C, foram 82 e 124 kg.ha⁻¹ de N, em 1996 e em 1997, respectivamente (Tabela 3).

A análise conjunta de variância mostrou que houve efeito significativo de sistemas agrícolas ($P<0,01$), de doses de N ($P<0,05$) e de anos ($P<0,01$) sobre a massa de 100 grãos. Houve também efeito significativo das interações sistemas x doses de N e anos x doses de N (Tabela 1).

O maior valor da massa de 100 grãos (25,48 g) foi obtido no sistema B (Tabela 1), ao considerar a média independentemente das doses de N e dos anos de estudo. Neste sistema é feita a rotação arroz-feijão, em preparo do solo com arado de aiveca em todas as épocas de plantio. Santos *et al.* (1997) também obtiveram maior valor da massa de 100 grãos na rotação arroz-feijão, em relação à rotação milho-feijão, com a cultivar Aporé. No ano seguinte, todavia, não houve diferença entre as duas rotações, quanto a esta variável.

Quanto às doses de nitrogênio, embora no geral o efeito tenha sido significativo, com aumento nos valores da massa de 100 grãos em decorrência do aumento das doses daquele nutriente, o efeito variou com os sistemas agrícolas e com os anos, uma vez que as interações S x N e A x N foram significativas (Tabela 1). O desdobramento dessas interações é mostrado nas Tabelas 2 e 4, respectivamente.

Ao analisar a Tabela 2 observa-se que, excetuando o sistema A, cuja diferença entre os dois extremos dos valores da massa de 100 grãos foi de 1,55 g, nos demais sistemas a variação foi bastante pequena, mostrando ser uma característica pouco influenciada pelas doses de N, nas condições estudadas. Resultados semelhantes foram obtidos por Santa Cecília *et al.* (1974), Urben Filho (1979), Arf *et al.* (1991), Silveira & Damasceno (1993) e Diniz *et al.* (1995). Entretanto, no estudo conduzido por Silveira & Damasceno (1993), houve efeito nesta variável quando foi aplicada a dose máxima de N, no caso, 90 kg.ha⁻¹ de N, enquanto no conduzido por Diniz *et al.* (1995) foi constatado efeito significativo quando o nitrogênio foi aplicado em cobertura.

Observou-se, também, ao desdobrar a interação

doses de N x anos (Tabela 4), que em 1996 não houve efeito das doses de nitrogênio sobre a massa de 100 grãos, enquanto em 1997 o efeito foi linear crescente, descrito pela equação $Y = 26,80 + 0,0085N$, com $R^2 = 0,70^*$. Villalobos (1980) obteve resposta semelhante a esta com a aplicação de doses de até 120 kg.ha⁻¹ de N.

A análise conjunta de variância mostrou que houve efeito significativo de sistemas agrícolas ($P<0,01$), de doses de nitrogênio ($P<0,01$) e de anos ($P<0,05$) no rendimento de grãos do feijoeiro. As interações sistemas x doses de N, anos x doses de N e anos x sistemas x doses de N foram também significativas (Tabela 1).

Ao analisar o desdobramento da interação tripla (Tabela 2), verificou-se que o sistema agrícola C foi o que proporcionou maior produtividade nos dois anos de estudo, embora em ambos não tenha diferido significativamente do segundo mais produtivo, o sistema D. Em 1996, entretanto, ele também não diferiu do sistema B, o terceiro mais produtivo. Neste é feita a rotação arroz-feijão e preparo do solo com arado de aiveca em todos os plantios. Essa menor discriminação entre os sistemas em 1996 era esperada, tendo em vista o alto coeficiente de variação (39,75%) obtido naquele ano. Observa-se que a ordem dos sistemas, quanto ao rendimento de grãos, foi semelhante nos dois anos, mas em 1997 os dados possibilitaram maior discriminação entre eles.

Nos sistemas C e D, foi, também, obtido o maior número de vagens por planta. Isto, logicamente, contribuiu para o maior rendimento de grãos, por ser este o componente que normalmente mais se correlaciona com o rendimento de grãos.

O sistema agrícola C, em que foi feita a rotação de arroz consorciada com calopogônio-feijão e o preparo do solo com grade aradora em todos os plantios, foi, portanto, no presente estudo, o que mais beneficiou a cultura do feijoeiro.

O sistema A, em que foi feita a rotação milho-feijão e preparo do solo com arado de aiveca, no plantio de primavera-verão, e com grade aradora no outono-inverno, foi o menos produtivo nos dois anos (Tabela 2).

Quanto às doses de nitrogênio, embora a análise conjunta dê uma visão geral dos seus efeitos, esta deve ser considerada com certa ressalva, uma vez que a interação anos x sistemas x doses foi significativa (Tabela 1). A decomposição desta interação (Tabela 5) mostra que o sistema C respondeu de forma quadrática em ambos os anos e com a mesma dose de máxima eficiência técnica (109 kg.ha⁻¹ de N). Em

1996 o rendimento máximo estimado foi 2.661 kg.ha⁻¹ e, em 1997, 3.098 kg.ha⁻¹.

No sistema D, em ambos os anos, o modelo de regressão que melhor descreveu o efeito das doses foi o linear, não se chegando, portanto, à máxima produtividade com as doses estudadas. Isto mostra a maior demanda por nitrogênio no sistema agrícola em que a cultura que antecedeu o feijão foi o milho e sem incorporação dos restos culturais ao solo, o que conseqüentemente prolongou o seu período de decomposição. Aliás, existem referências na literatura de que, em situação semelhante a esta, a adubação nitrogenada deve ser aumentada (Embrapa 1989, Salgado *et al.* 1992 e Silveira *et al.* 1994), embora não se quantifique o acréscimo.

A eficiência da adubação, em particular da adubação nitrogenada, é baixa. Isto reforça em parte o porquê da resposta do feijoeiro a altas doses desse nutriente. Cardoso *et al.* (1978) obtiveram aumentos significativos na produção de grãos com a aplicação de até 150 kg.ha⁻¹ de N. Por outro lado, Silveira & Damasceno (1993) obtiveram valor de apenas 72 kg.ha⁻¹ de N para a obtenção da produtividade máxima do feijoeiro irrigado, num latossolo vermelho-amarelo com textura franco-argilo-arenosa de alta fertilidade, já cultivado por muitos anos.

Os resultados obtidos no sistema C, em 1997, são semelhantes aos obtidos por Barbosa Filho & Silva (1994) e diferem dos obtidos por Silveira & Damasceno (1993), o que pode ser explicado não somente pelas diferenças nas características do solo, mas

também pelas cultivares utilizadas. Enquanto Silveira & Damasceno (1993) utilizaram a cultivar Carioca, Barbosa Filho & Silva (1994) utilizaram a Aporé, a mesma utilizada neste trabalho, normalmente mais produtiva, demandando, portanto, mais nitrogênio.

Nos sistemas A e B, embora o feijoeiro respondesse positivamente à aplicação do adubo nitrogenado, elevando o rendimento de grãos com o aumento das doses do adubo, nos dois anos do estudo, os modelos que melhor descreveram as respostas variaram de ano para ano. No sistema A, o modelo foi linear em 1996, enquanto, no ano seguinte, o modelo que melhor descreveu o efeito das doses foi o quadrático, sendo 2.295 kg.ha⁻¹ o rendimento máximo estimado, com a dose de 93 kg.ha⁻¹ de N. No sistema B ocorreu o inverso, quadrático no primeiro ano e linear no segundo. A dose de 80 kg.ha⁻¹ de N foi a de máxima eficiência técnica em 1996, com a produtividade estimada em 1.852 kg.ha⁻¹. Embora isto tenha ocorrido, ao se considerarem os coeficientes de determinação (R²), verifica-se que o modelo quadrático foi o que melhor explicou os dois sistemas. O sistema A teve com o modelo linear, em 1996, valor de R²=0,53, não significativo, enquanto, em 1997, o modelo quadrático apresentou R²=0,98**. O sistema B, em 1997, foi linear com R²=0,57, também não significativo, em 1996 quadrático com R²=0,89**. Partindo desse princípio, pode-se, portanto, considerar 93 e 80 kg.ha⁻¹ de N em cobertura como as doses de máxima eficiência técnica, para os sistemas A e B, respectivamente (Tabela 5).

Tabela 3. Equações de regressão do número de vagens/planta do feijoeiro (*P. vulgaris*) em cada sistema agrícola, obtidas em função do nitrogênio aplicado em cobertura, coeficientes de determinação (R²) e doses de N de máxima eficiência técnica (MET) nos anos de 1996 e 1997. Santo Antônio de Goiás, GO. 2000.

Ano	Sistema	Equação	R ²	MET — kg.ha ⁻¹ —
1996	A ^{1/}	Y = 3,88 + 0,050 N - 0,00025 N ²	0,92** ^{2/}	100
	B	Y = 4,19 + 0,074 N - 0,00045 N ²	0,98**	82
	C	Y = 6,96 + 0,087 N - 0,00053 N ²	0,90**	82
	D	Y = 5,06 + 0,084 N - 0,00046 N ²	0,99**	91
1997	A	Y = 2,30 + 0,110 N - 0,00057 N ²	0,94**	96
	B	Y = 5,50 + 0,017 N	0,70*	-
	C	Y = 5,24 + 0,077 N - 0,00031 N ²	0,95**	124
	D	Y = 5,25 + 0,070 N - 0,00038 N ²	0,92**	92

1/- A - Rotação milho-feijão, preparo do solo com arado de aiveca no plantio de verão e grade aradora no inverno; B - rotação arroz-feijão, preparo do solo com arado de aiveca em todos os plantios; C - rotação arroz/calopogônio-feijão, preparo do solo com grade aradora em todos os plantios; D - rotação milho-feijão, em plantio direto contínuo.

2/- * e ** Respectivamente, significativos pelo teste T a 5% e 1% de probabilidade.

Tabela 4. Massa de 100 grãos (g) do feijoeiro (*P. vulgaris*) obtida em função de doses de nitrogênio em cobertura nos anos de 1996 e 1997. Santo Antônio de Goiás, GO. 2000.

Dose de nitrogênio kg.ha ⁻¹	Massa de 100 grãos	
	1996	1997
0	21,33	26,66
25	21,15	27,20
50	21,01	27,07
75	21,41	27,45
100	20,94	28,06
125	21,47	27,56
Efeito linear	n.s.	**1/
Efeito quadrático	n.s.	n.s.
Desvios da regressão	n.s.	n.s.
Média	21,22 B ^{2/}	27,33 A
C.V.(%)	3,09	2,54

1/- Significativo pelo teste de F a 1% de probabilidade.

2/- Médias da mesma linha, seguidas pelas mesmas letras, não diferem significativamente entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Tabela 5. Equações de regressão do rendimento (kg.ha⁻¹) de grãos do feijoeiro do feijoeiro (*P. vulgaris*) obtidas em função do nitrogênio aplicado em cobertura, em cada um dos sistemas agrícolas, coeficientes de determinação (R²), doses de N de máxima eficiência técnica (MET) e de máxima eficiência econômica (MEE) nos anos de 1996 e 1997. Santo Antônio de Goiás, GO. 2000.

Ano	Sistema ^{1/}	Equação	R ²	MET	MEE ^{2/}
				— kg.ha ⁻¹ —	
1996	A	Y = 1121 + 3,765 N - 0,53ns ^{3/}	-	-	-
	B	Y = 1187 + 16,672 N - 0,104 N ²	0,89**	80	69
	C	Y = 1806 + 15,747 N - 0,072 N ²	0,99**	109	94
	D	Y = 1340 + 4,909 N - 0,70*	-	-	-
1997	A	Y = 683 + 34,536 N - 0,185 N ²	0,98**	93	87
	B	Y = 1609 + 5,263 N - 0,57ns	-	-	-
	C	Y = 1624 + 27,051 N - 0,124 N ²	0,95**	109	100
	D	Y = 2027 + 7,872 N - 0,85**	-	-	-

1/- A - Rotação milho-feijão, preparo do solo com arado de aiveca no plantio de verão e grade aradora no inverno; B - rotação arroz-feijão, preparo do solo com arado de aiveca em todos os plantios; C - rotação arroz/calopogônio-feijão, preparo do solo com grade aradora em todos os plantios; e D - rotação milho-feijão, em plantio direto contínuo.

2/- Considerando os preços vigentes em Goiânia, em julho de 1997, de R\$ 0,44/kg de feijão e R\$ 0,95/kg de nitrogênio, tendo como fonte a uréia.

3/-ns, * e ** Respectivamente, não significativos e significativo pelo teste t a 5% e 1% de probabilidade.

A análise de custo-benefício (Tabela 5), considerando a dose de máxima eficiência econômica, mostrou que no ano de 1996, o menos favorável à cultura do feijoeiro, esta foi menor, em torno de 14% a 17% do que a de máxima eficiência técnica, enquanto em 1997 foi 8% a 10%. Ou seja, independen-

temente do sistema agrícola e para as mesmas relações entre o preço do adubo e o preço do produto, no ano de 1997, as doses de máxima eficiência técnica e de máxima eficiência econômica foram mais próximas entre si, o que de certa forma mostrou maior eficiência da utilização de nitrogênio neste ano.

No sistema agrícola C, por exemplo, cuja dose de máxima eficiência técnica foi $109 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N em ambos os anos, as máximas eficiências econômicas foram obtidas com 94 e com $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N em 1996 e em 1997, respectivamente, o que corresponde a uma redução de 13,76% e 8,26% em relação àque-la dose. No sistema D, o segundo a se destacar pelo rendimento do feijoeiro, não se fez a análise de custo-benefício, uma vez que o modelo que melhor descreveu o efeito das doses de nitrogênio foi o linear em ambos os anos, mas também foi evidente a maior eficiência da utilização do nitrogênio em 1997. Ao comparar os dois anos, observou-se em 1996, ano em que os rendimentos foram menores, a equação $Y=1340+4,909N$ e, em 1997, a equação $Y=2027+7,872N$. Isto mostra que o rendimento por kg de nitrogênio aplicado passou de 4,909 kg em 1996 para 7,872 kg de feijão em 1997, além do nível superior de rendimento, conseqüentemente, mostrando que no último ano houve maior garantia para aplicação de nitrogênio, pelo maior retorno obtido.

CONCLUSÕES

Os sistemas agrícolas influenciaram as respostas do feijoeiro à adubação nitrogenada, sugerindo que esta adubação deve ser feita utilizando quantidades diferentes do nutriente, conforme o sistema. O feijoeiro demandou mais nitrogênio no sistema de plantio direto, em relação aos que envolveram maior movimentação do solo. Os sistemas agrícolas em que houve menor movimentação de solo beneficiaram o feijoeiro, possibilitando-lhe obter maior rendimento de grãos; a eficiência do uso do nitrogênio aplicado variou com os anos.

REFERÊNCIAS

- Ambrozano, E. J., E. B. Wutke, G. M. B. Ambrosano, E. A. Bulisani, N. Bortoletto, A. L. M. Martins, J. C. V. N. A. Pereira & G. Sordi. 1996. Efeito do nitrogênio no cultivo de feijão irrigado. *Scientia Agrícola*, 53:338-42.
- Arf, O., D. Fornasieri Filho, E. B. Malheiros & S. M. T. Saito. 1991. Efeito da inoculação e adubação nitrogenada em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Carioca 80. I. Solo de alta fertilidade. *Científica*, 19:29-38.
- Azevedo, H. J. de. 1984. Efeito de diferentes lâminas de água e doses de adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Dissertação Mestrado. Esalq-USP. Piracicaba, SP. 85p.
- Barbosa Filho, M. P. & O. F. Silva. 1994. Aspectos agro-econômicos da calagem e da adubação nas culturas de arroz e feijão irrigados por aspersão. *Pesq. Agropec. Bras.*, 29:1657-67.
- Calvache, M., K. Reichardt, J. C. A. Silva & O. Portezan Filho. 1995. Adubação nitrogenada no feijão sob estresse de água. p.649-651. In Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 25, (2). Resumos expandidos.
- Cardoso, A. A., L. A. N. Fontes & C. Vieira. 1978. Efeito de fontes e doses de adubo nitrogenado sobre o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ceres*, 25:292-5.
- Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, Embrapa. 1989. Informações técnicas para o cultivo de feijão irrigado (GO, DF, MG, ES, SP, RJ). Goiânia, GO. 35p. (Circular Técnica, 23).
- Diniz, A. R., M. J. B. Andrade, L. C. S. Bueno & J. G. Carvalho. 1995. Resposta da cultura do feijão à aplicação de nitrogênio (semeadura e cobertura) e de molibdênio foliar. p.1225-7. In Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 25, (3). Resumos expandidos.
- Feitosa, C. T., P. Ronzelli Jr., L. D' A. Almeida, A. A. Veiga, R. Hiroce & J. P. N. Jorge. 1980. Adubação NP para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) na presença e na ausência de calcário. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 4:156-9.
- Frizzone, J. A., A. F. L. Olitta & G.T. Pereira. 1987. Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação. II-Maximização da receita líquida. *Item*, 30:27-31.
- Pöttker, D. & E. S. Roman. 1998. Efeito do nitrogênio em trigo cultivado após diferentes sucessões de culturas. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:501-7.
- Rosolem, C.A. 1987. Nutrição e adubação do feijoeiro. Potafos. Piracicaba, SP. 93p. (Boletim Técnico, 8).
- Salgado, L. T., G. A. A. Araújo & R. F. Vieira. 1992. Efeitos de espaçamento e época de aplicação de nitrogênio em dois cultivares de feijão no outono-inverno. p.19-22. In Epamig. Projeto Feijão. Belo Horizonte, MG. Relatório 88/92.
- Santa Cecília, F. C., M. A. P. Ramalho & C. C. da Silva. 1974. Efeitos da adubação NPK na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) na Zona Sul de Minas Gerais. *Agros*, 4:3-10.
- Santos, A. B., O. F. Silva & E. Ferreira. 1997. Avaliação de práticas culturais em um sistema agrícola irrigado por aspersão. *Pesq. Agropec. Bras.*, 32:317-27.

Silveira, P. M. & M. A. Damasceno. 1993. Doses e parcelamento de K e de N na cultura do feijoeiro irrigado. *Pesq. Agropec. Bras.*, 28:1269-76.

Silveira, P. M., S. C. Silva & O. F. Silva. 1994. Estudo de sistemas agrícolas irrigados. *Pesq. Agropec. Bras.*, 29:1243-52.

Urban Filho, G. 1979. Doses e modos de aplicação de adubo nitrogenado na cultura do feijão

(*Phaseolus vulgaris* L.). Dissertação Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 52p.

Villalobos, R. A. 1980. Estudos sobre adubação nitrogenada da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), na Zona da Mata de Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 68p.