

Nitrogênio e fósforo em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) variedade cultivada BRS MG Talismã

Hamilton Kikuti^{1*}, Messias José Bastos de Andrade², Janice Guedes de Carvalho³ e Augusto Ramalho de Moraes⁴

¹Centro de Análise e Pesquisa Tecnológica do Agronegócio dos Grãos e Fibras, Instituto Agronômico - IAC, Caixa Postal 28, 13001-970, Campinas, São Paulo, Brasil. ²Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras - UFLa, Caixa Postal 37, 37200-000, Lavras, Minas Gerais, Brasil. ³Departamento de Ciência do Solo, UFLa. ⁴Departamento de Ciências Exatas, UFLa. *Autor para correspondência: hkikuti@iac.sp.gov.br

RESUMO. Os efeitos de N e de P_2O_5 na variedade cultivada de feijão BRS-MG Talismã foram avaliados em quatro experimentos de campo em Lavras, Estado de Minas Gerais. O delineamento utilizado foi blocos casualizados com três repetições, em esquema fatorial 4x4, envolvendo as doses de fósforo (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de P_2O_5 , Superfosfato Triplo) e as doses de nitrogênio (0, 70, 140 e 210 kg ha⁻¹ de N, Uréia). Avaliaram-se os estandes inicial e final de plantas, a produtividade de grãos e a eficiência da utilização de N e de P_2O_5 . O nitrogênio associado ao potássio aumentou a mortalidade de plantas de feijão e o fósforo atenuou esse efeito. As doses de N e de P_2O_5 influenciaram o rendimento de grãos de feijão, com intensidade variável entre as safras. A máxima eficiência foi obtida com doses de N e de P_2O_5 maiores do que as recomendadas oficialmente para a cultura do feijão em Minas Gerais.

Palavras-chave: nutrição, cultivar, eficiência, densidade populacional, *Phaseolus vulgaris*.

ABSTRACT. Nitrogen and phosphorus in the cultivated variety bean BRS MG Talismã (*Phaseolus vulgaris* L.). The N and P_2O_5 effects on the variety bean BRS MG Talismã were studied in four field experiments in Lavras, Minas Gerais, Brazil. The experimental design utilized was randomized blocks with three repetitions, in a 4x4 factorial arrangement involving the P levels (0, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹ of P_2O_5 , triple superphosphate source) and the N levels (0, 70, 140 and 210 kg ha⁻¹ of N, urea source). The initial and final stands of the plants, the productivity of grain and the efficiency of utilization of N and of P_2O_5 were evaluated. The N and potassium associated resulted in small bean plant populations, and the P lessened that effect. The productivity responded to N and P_2O_5 increase, which varied according to the seasons. The maxim efficiency was obtained with N and P_2O_5 doses higher to those recommend for bean crop in Minas Gerais.

Key words: nutrition, cultivar, efficiency, population density, *Phaseolus vulgaris*.

Introdução

A literatura é relativamente rica em resultados sobre a aplicação de N (nitrogênio) e P (fósforo), nutrientes aos quais a cultura do feijão tem apresentado maiores respostas. No caso do N, são bem conhecidas a baixa eficiência da fixação simbiótica (Cassini e Franco, 1998), a sua grande remoção pelo feijoeiro (El-Husny, 1992), as perdas por lixiviação e volatilização (Caballero, 1982) e a sua imobilização (Lopes, 1989). Em relação ao P, é satisfatório o conhecimento sobre os baixos teores disponíveis e sobre a grande capacidade de fixação do mesmo nos solos brasileiros (Sousa e Lobato, 2003; Yamada e Abdalla, 2003). Quando se trata,

entretanto, de definir doses de nutrientes a serem recomendadas, encontra-se a dificuldade representada pela diversidade dos atuais sistemas de produção, que vão da lavoura de sequeiro à irrigada, do plantio convencional ao plantio direto, do emprego de variedades cultivadas tradicionais com baixo potencial produtivo às variedades cultivadas de lançamento mais recente, com elevado potencial de rendimento.

Em lavouras irrigadas empresariais do Estado de Minas Gerais, onde os rendimentos de grãos normalmente ultrapassam 3.000 kg ha⁻¹, os produtores têm sistematicamente elevado as doses de fertilizantes aplicadas, superando as

recomendações oficiais para a cultura no Estado (Chagas *et al.*, 1999). Procurando contribuir para recomendações adequadas àquela realidade, Rodrigues *et al.* (2002) estudaram o comportamento das variedades cultivadas Carioca e Pérola submetidas a doses de N (0, 60 e 120 kg ha⁻¹ de N, sendo 2/3 na semeadura e 1/3 em cobertura aos 20 dias após a emergência das plantas – DAE, estágio fenológico V4 do feijoeiro) e P₂O₅ (0, 50, 100 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅) aplicados por ocasião da semeadura. Os resultados mostraram que não houve comportamento diferencial das variedades cultivadas em relação à adubação, mas a interação doses de N x doses de P₂O₅ foi significativa para o estande inicial e para o rendimento de grãos. A resposta de ambas as variedades foi linear, indicando que para a obtenção de máxima produtividade, as doses de N e P₂O₅ deveriam ser aumentadas.

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito de doses de N e de P₂O₅ no estabelecimento das plantas e no rendimento de grãos da variedade cultivada BRS-MG Talismã, e também obter sua máxima eficiência em função das doses desses nutrientes, comparando-as com as recomendações oficiais para Minas Gerais.

Material e métodos

O estudo constou de quatro experimentos de campo (safras de 'inverno' de 2000 e de 2002, com semeadura no início de julho e safra das 'águas' de 2000/01 e de 2001/02, com semeadura no início de novembro), conduzidos em área experimental do Departamento de Agricultura (DAG) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em um Latossolo Vermelho distroférrico típico (Embrapa, 1999) de textura argilosa (Tabela 1). A cidade de Lavras situa-se a 21°14' de latitude Sul e 45°00' de

longitude Oeste, com temperatura média anual de 19,4°C, precipitação média anual de 1.529,7 mm e umidade relativa média anual do ar de 76,2% (Brasil, 1992).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com três repetições, em esquema fatorial 4x4 envolvendo quatro doses de nitrogênio e quatro doses de fósforo. O fertilizante potássico (Cloreto de Potássio, 50 kg ha⁻¹ de K₂O) e o fósforo nas doses de 0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅, fonte Superfósforo Triplo (40% de P₂O₅), foram colocados no sulco de semeadura, juntamente com parte do fertilizante nitrogenado, quando esse estava presente.

As doses de nitrogênio foram de 0, 70, 140 e 210 kg ha⁻¹ de N, empregando-se a uréia (45% de N) como fonte e parcelando-se a dose em duas aplicações: ½ na semeadura e ½ em cobertura, quando mais de 50% das plantas se apresentavam com pelo menos três folhas trifolioladas (estádio V4 da escala fenológica proposta por Gepts e Fernández, 1982). A aplicação do nitrogênio em cobertura foi efetuada de forma convencional, em filete contínuo lateralmente às plantas, aplicadas com solo úmido (safras das 'águas'). Nas safras de 'inverno', após a aplicação da adubação de cobertura nitrogenada, seguiu-se a utilização de irrigação com 4 a 6 mm de lâmina de água.

A variedade cultivada utilizada foi a BRS-MG Talismã, que apresenta grãos tipo comercial Carioca, crescimento indeterminado com guias longas (tipo III), ciclo médio de 85 dias, resistência à raça 89 de *Colletotrichum lindemuthianum* agente causador da antracnose e ao mosaico comum (VMCF), e apresenta resistência intermediária à mancha angular causada por *Phaeoisariopsis griseola* (UFLA..., 2002). O preparo do solo das áreas experimentais foi realizado

Tabela 1. Resultados da análise química de amostras (0-20 cm de profundidade) de material dos solos utilizados, antes de cada período de semeadura. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2000/02⁽¹⁾

Atributos ⁽²⁾	Safras			
	'Inverno' 2000	'Águas' 2000/01	'Águas' 2001/02	'Inverno' 2002
pH água (1:2,5)	5,6 AcM	5,8 AcM	5,3 AcM	5,3 AcM
P (mg.dm ⁻³)	9,0 M	7,0 Ba	15,0 Bo	15,4 Bo
K ⁺ (mg.dm ⁻³)	98,0 Bo	80,0 Bo	61,0 M	94,0 Bo
Ca ⁺² (cmol _c .dm ⁻³)	3,6 Bo	3,6 Bo	1,8 M	2,7 Bo
Mg ⁺² (cmol _c .dm ⁻³)	1,0 Bo	0,6 M	0,5 M	0,8 M
Al ⁺³ (cmol _c .dm ⁻³)	0,0 Mba	0,0 Mba	0,2 Mba	0,2 Mba
H ⁺ +Al ⁺³ (cmol _c .dm ⁻³)	3,6 M	3,0 M	4,5 M	3,6 M
SB (cmol _c .dm ⁻³)	4,9 Bo	4,4 Bo	2,5 M	3,7 Bo
t (cmol _c .dm ⁻³)	4,9 Bo	4,4 M	2,7 M	3,9 M
T (cmol _c .dm ⁻³)	8,5 M	7,6 M	7,0 M	7,3 M
m (%)	0,0 Mba	0,0 Mba	8,0 Mba	5,0 Mba
V (%)	57,4 M	58,2 M	35,3 Ba	51,0 M
M.O (dag.kg ⁻¹)	3,4 M	3,4 M	1,8 Ba	2,6 M

⁽¹⁾Análises realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciências do Solo (DCS) da UFLA, de acordo com a metodologia da Embrapa (1997) e interpretação de acordo com Alvarez V. *et al.* (1999). AcM = acidez média, Mba = teor muito baixo, Ba = teor baixo, M = teor médio, Bo = teor bom. ⁽²⁾SB = soma de bases, t = CTC efetiva, m = saturação por Al⁺³, T = CTC a pH 7,0, V = saturação por bases. M.O. = Matéria Orgânica.

com a utilização de uma aração e de duas gradagens ('inverno' de 2000 e 'águas'), ou três gradagens ('inverno' de 2003). Na safra das 'águas' 2000/01, o preparo do solo não foi eficiente, apresentando grande quantidade de "torrões".

O método utilizado para cálculo da necessidade de calagem foi o que se baseia nos teores de alumínio, de cálcio e de magnésio (Alvarez V. e Ribeiro, 1999). Por esse método, não foi necessária a realização de correção do solo (Tabela 1). Durante o período de avaliação, as semeaduras foram realizadas manualmente no início de julho (safras de 'inverno') e de novembro (safras das 'águas').

Adotou-se espaçamento de 0,5 m entre linhas, com uma densidade de 15 sementes por metro linear de sulco e profundidade de semeadura de 3-4 cm. Cada parcela foi constituída por quatro fileiras de 5, m de comprimento, com área útil de 5 m² constituído pelas duas fileiras centrais.

Apenas os experimentos cultivados nas safras de inverno foram irrigados, utilizando-se aspersão convencional. O manejo de plantas daninhas foi realizado manualmente, com auxílio de enxadas e não se mostrou eficiente na safra das 'águas' de 2000/01 devido à grande infestação por tiririca (*Cyperus* sp.).

Na safra das 'águas' 2000/01 e do 'inverno' de 2002, foram avaliados o estande inicial, aos 21 dias após a semeadura, e o estande final, por ocasião da colheita. O rendimento de grãos foi determinado em todas as safras e corrigido para 13% de umidade.

Os dados foram submetidos à análise de variância individual por ensaio e conjunta (Banzatto e Kronka, 1995). Os efeitos das doses de N e de P₂O₅, quando significativos pelo teste de F, foram estudados mediante análise de regressão (Pimentel Gomes, 1990) observando-se a significância do modelo e o valor do coeficiente de determinação (R²).

Resultados e discussão

Na análise de variância, os efeitos principais foram sempre significativos. Dentre as interações duplas, a interação safra (S) x doses de nitrogênio (N) influenciou o rendimento de grãos, enquanto a interação S x doses de P₂O₅ (P) influenciou o estande final e o rendimento de grãos, e a interação N x P influenciou os estandes inicial e final. A interação tripla, por sua vez, foi significativa apenas para os estandes inicial e final de plantas.

Na Tabela 2, são apresentados os valores médios dos estandes inicial e final de plantas e de produção de grãos em função das safras e das doses de N e de P₂O₅ utilizadas. Os estandes iniciais médios de 193,2 mil plantas.ha⁻¹ obtidos nas safras das 'águas' de

2000/01 e de 224,1 mil plantas.ha⁻¹ na safra de 'inverno' de 2002 diferiram significativamente. Na primeira dessas safras, o menor estande inicial certamente afetou o estande final de forma significativa para ocasionar diminuição no rendimento de grãos. Provavelmente, a magnitude de mortalidade de plantas superou a reconhecida capacidade da cultura compensar essa redução com aumentos de produtividade de grãos por planta (Fernandes, 1987).

Tabela 2. Médias dos estandes inicial e final de plantas e do rendimento de grãos do feijoeiro em função de safras e de doses de N e de P₂O₅. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2000/02.

Fatores	Estande Inicial (mil plantas.ha ⁻¹)	Estande Final (mil plantas.ha ⁻¹)	Rendimento de Grãos (kg ha ⁻¹)
Safras⁽¹⁾			
'Inverno' 2000	-	-	1805 a
'Águas' 2000/01	193,2 b	171,7 b	1211 b
'Águas' 2001/02	-	-	1737 a
'Inverno' 2002	224,1 a	208,1 a	1863 a
⁽²⁾N (kg ha⁻¹):			
0	277,1	253,3	946
70	252,6	226,4	1753
140	183,4	169,4	2007
210	121,6	110,7	1911
⁽²⁾P₂O₅ (kg ha⁻¹):			
0	195,4	174,5	1216
100	198,7	186,8	1657
200	213,2	196,5	1898
300	227,4	202,0	1846
Média	208,7	189,9	1654
CV (%)	9,8	12,3	18,9

⁽¹⁾Em cada coluna, médias seguidas por diferentes letras diferem significativamente a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. ⁽²⁾As médias de cada dose de N incluem as doses de P₂O₅ e as médias de cada dose de P₂O₅ incluem as de N, em duas safras ('águas' de 2000/01 e 'inverno' de 2002) para estandes inicial e final e nas quatro safras para rendimento de grãos.

Embora seja comum na região sul de Minas Gerais a obtenção de menor estande inicial na safra de 'inverno', devido às baixas temperaturas (Araújo, 1998), no presente estudo ocorreu o inverso. Na safra das 'águas' de 2000/01, além do efeito das doses de N, o preparo inadequado do solo e a maior infestação por plantas daninhas foram determinantes para a obtenção de menor estande inicial de plantas.

De modo geral, o aumento das doses de N resultou em diminuição do estande inicial de plantas, ou seja, maior mortalidade de plantas, ocorrendo o contrário com a adição de doses de P₂O₅ (Tabela 2), fato também observado por Rodrigues *et al.* (2002).

Os resultados até então apresentados não deixam dúvidas sobre o efeito negativo do aumento da dose de N em semeadura sobre o estande inicial de plantas de feijão. Esse fato já havia sido constatado por diversos autores (Silveira e Damasceno, 1993; Araújo *et al.*, 1994; Teixeira *et al.*, 2000; Rodrigues *et al.*, 2002), e foram atribuídos ao aumento do efeito salino do fertilizante sobre a germinação e a

emergência das plântulas. Esse argumento é também relevante no presente trabalho, e deve ser enfatizado ainda o fato de que a dose máxima para utilização na semeadura foi de 105 kg ha⁻¹ de N, a qual estava associada a 50 kg ha⁻¹ de K₂O.

Na ausência de N, não foi verificado efeito das doses de P₂O₅, enquanto nas demais situações o incremento da dose de P₂O₅ contribuiu para o aumento do estande inicial de plantas, sendo que o maior efeito positivo das doses de P₂O₅ ocorreu quando da utilização da dose de 140 kg ha⁻¹ de N. Esse efeito positivo foi também constatado por Rodrigues *et al.* (2002) em algumas combinações de safras e doses de N, todas na presença de baixo teor de P no solo, fato também verificado na safra das 'águas' de 2000/01 no presente estudo (Tabela 1). Provavelmente, o acréscimo do P solúvel proporcionado pelo aumento da dose de P₂O₅ na fase inicial de estabelecimento da cultura melhorou a nutrição e favoreceu o crescimento inicial das plântulas, principalmente de suas raízes, levando à maior tolerância aos efeitos salinos provocados pela utilização de potássio e das maiores doses de N.

O estande final médio de plantas foi de 189,9 mil plantas ha⁻¹ (Tabela 2), o que correspondeu a cerca de 9,5 plantas por metro linear. Observa-se que a população final da cultura diferiu nas diferentes safras, com aproximadamente de 10,4 plantas m⁻¹ na safra de 'inverno' de 2002 e 8,6 plantas m⁻¹ na safra das 'águas' de 2000/01. De certa forma, esses valores podem ser uma boa referência para a qualidade do ambiente em cada safra estudada. Na safra das 'águas' de 2000/01, por exemplo, o baixo estande final médio de plantas pode ser reflexo, além do efeito salino, do preparo inadequado do solo (com a presença de muitos "torrões"), e da maior competição com a tiririca (*Cyperus* sp.), conforme já apresentado, fato que influenciou o rendimento de grãos (Tabela 2). Por sua vez, na safra de 'inverno' de 2002, o estande médio de plantas de 10,4 plantas m⁻¹ não chegou a causar redução no rendimento médio de grãos, provavelmente devido à plasticidade dos componentes do rendimento da cultura, que se traduz, na prática, na obtenção de produtividades equivalentes com diferentes populações (Fernandes, 1987).

A significância da interação S x N x P em relação ao estande final de plantas indica que nas diferentes safras o efeito das doses de N diferiu em função das doses de P₂O₅ e vice-versa. Verificou-se que o incremento das doses de N associadas ao potássio reduziram o estande final de plantas, possivelmente devido à maior mortalidade inicial de plantas.

Mesmo utilizando doses menores do que as do

presente trabalho, Rodrigues *et al.* (2002) já haviam verificado esse efeito tanto sobre o estande inicial de plantas de feijão como no estande final de plantas das variedades comerciais Carioca e Pérola. Como já mencionado, é possível que o aumento das doses de N tenha elevado o efeito salino desse fertilizante, que associado ao potássio, tenha causado problemas à germinação dos feijoeiros, reduzindo o estande inicial e final de plantas. Esse efeito salino também havia sido constatado por outros autores, como Silveira e Damasceno (1993), Araújo *et al.* (1994) e Teixeira *et al.* (2000).

A água aplicada via irrigação por aspersão pode ter sido insuficiente para atenuar o efeito salino do N e do K₂O, mas ter sido suficiente para facilitar a movimentação do fósforo pelo mecanismo de difusão, aumentando sua disponibilidade e proporcionando maior absorção, maior crescimento radicular e, conseqüentemente, maior sobrevivência de plantas. Rodrigues *et al.* (2002), mesmo trabalhando em solos com baixo teor de P, não observaram efeito das doses de P₂O₅ no estande final de plantas, embora verificaram influência sobre o estande inicial de plantas de feijão.

De modo geral, o incremento das doses de N reduziu o estande final de plantas. Entretanto, essa redução não seguiu o mesmo padrão na presença de diferentes doses de P₂O₅ e nas diferentes safras, o que ressalta a importância do ambiente. Do mesmo modo, o efeito das doses de P₂O₅ foi dependente da safra e das diferentes doses de N empregadas. Esses aspectos sinérgicos da interação P x N são interessantes e se somam a outros já descritos (Lopes, 1989; Fageria *et al.*, 2003), principalmente nos estágios iniciais da planta.

O rendimento médio de grãos, obtido na análise conjunta das quatro safras, foi de 1.654 kg ha⁻¹ (Tabela 2), superior aos rendimentos médios nacional (740 kg ha⁻¹) e de Minas Gerais (1.178 kg ha⁻¹) em 2002/03 (Agrianual, 2004). Considerando-se, entretanto, o nível de tecnologia empregado e somente o resultado obtido com o emprego das maiores doses de N e de P₂O₅ (Tabela 2), a produtividade média obtida foi coerente com a prevista por Chagas *et al.* (1999) para o nível 3 de tecnologia, que foi de 1.800 a 2.500 kg ha⁻¹ de grãos.

Quando se compara o rendimento médio de grãos obtido em cada uma das safras, verifica-se que nas safras de 'inverno' a produtividade superou os 1.800 kg ha⁻¹, enquanto na safra das 'águas' esse valor foi inferior (Tabela 2). Todavia, o rendimento médio obtido na safra das 'águas' de 2001/02 não diferiu daquele obtido nas duas safras de 'inverno' (Tabela 2). Já o desempenho inferior da lavoura do

feijoeiro na safra das 'águas' de 2000/01, em relação às safras de 'inverno' (Tabela 2), vem apoiar o que ocorre com maior frequência na região sul de Minas Gerais já discutido por Andrade (1998). Nessa safra, a obtenção de um menor rendimento de grãos foi influenciada por fatores edáficos (Tabela 1), e pelo preparo inadequado do solo, que resultou em grande quantidade de torrões quando da implantação da cultura, e também pela elevada infestação por ciperáceas, as quais contribuíram para a redução do estande final de plantas.

Ao contrário da população de plantas, o rendimento de grãos não foi influenciado pelas interações N x P e S x N x P; entretanto, como as demais interações duplas (S x N e S x P), foram significativas. Nota-se que a resposta da produtividade de grãos às doses de N ou de P_2O_5 foi dependente da safra considerada (Figura 1).

À medida que se aumentou a dose de N, o rendimento de grãos elevou-se de forma quadrática, em diferentes taxas em cada safra, conforme observado na Figura 1A.

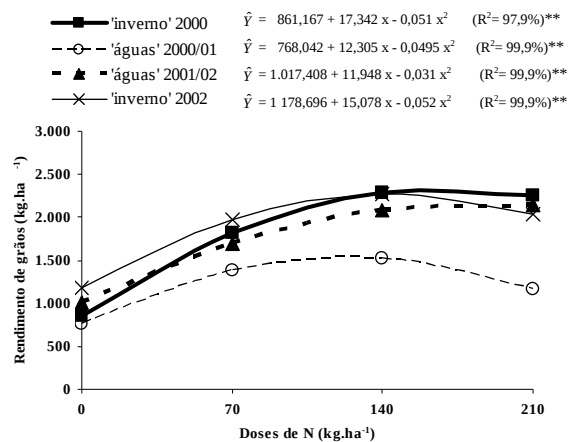
Deve salientar que em todas as safras o incremento da dose de N aumentou o rendimento de grãos até doses relativamente altas quando comparadas às recomendações oficiais. Esse fato é relevante porque indica que a diminuição da população, tanto inicial quanto final de plantas, provocada pelo N associado ao potássio (Tabela 2) não resultou em imediata diminuição de rendimento de grãos (Figura 1A). Para esse resultado, certamente contribuíram a adequada capacidade de compensação do feijoeiro e a plasticidade entre os componentes do rendimento da espécie (Fernandes, 1987).

As menores respostas em termos de rendimento de grãos ao incremento das doses de N foram observadas nas safras das 'águas' (Figura 1A). Verifica-se que na safra das 'águas' de 2000/01 não se conseguiu um preparo adequado do solo e, além disso, houve grande infestação por tiririca (*Cyperus* sp.), a qual não foi devidamente controlada, o que limitou o crescimento e, conseqüentemente, a produtividade de grãos. A produtividade máxima alcançada nesse experimento foi de apenas 1.533 kg ha^{-1} , com o emprego da dose de 124 kg ha^{-1} de N, ou seja, 62 kg ha^{-1} de N na semeadura associado a mesma dose em cobertura.

Na safra das 'águas' de 2001/02, o rendimento médio de grãos foi intermediário, sendo superior ao do ano agrícola anterior, por não ter apresentado problemas relacionados ao preparo do solo e manejo de plantas daninhas, desfavoráveis nessa época de cultivo e que poderiam influenciar o

estabelecimento inicial da cultura.

(A)



(B)

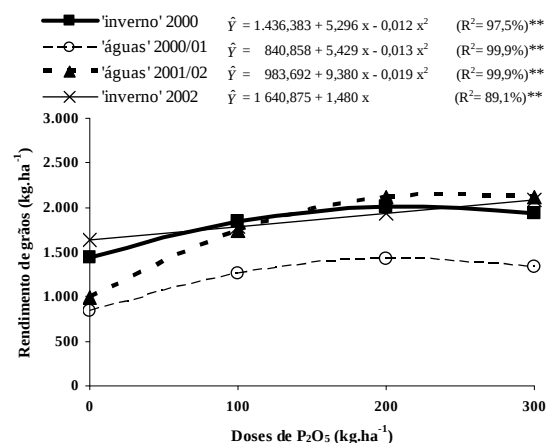


Figura 1. Rendimento de grãos de feijão BRS-MG Talismã em função de doses de N (A) e de doses de P_2O_5 (B), em quatro safras. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2000/2002.

Na safra de 'inverno' de 2002, a dose de 144 kg ha^{-1} de N proporcionou o máximo rendimento de grãos (2.264 kg ha^{-1}). A maior resposta à aplicação de N, no entanto, ocorreu na safra de 'inverno' de 2000, quando o rendimento máximo foi de 2.332 kg ha^{-1} de grãos, alcançado com a dose de 170 kg ha^{-1} de N (Figura 1A).

A resposta às doses de P_2O_5 foi linear na safra de 'inverno' de 2002 e quadrática nas demais safras (Figura 1B). Em todas as safras, o máximo rendimento ocorreu com doses de P_2O_5 bem superiores às recomendadas para a cultura do feijão no estado de Minas Gerais (Chagas *et al.*, 1999).

Na safra de 'inverno' de 2002, as adequadas condições de solo (Tabela 1) possivelmente resultaram em uma maior produtividade da testemunha. Por outro lado, a boa disponibilidade de P no solo (Tabela 1) provavelmente reduziu a

magnitude da resposta de rendimento de grãos em relação às doses de P_2O_5 adicionadas. Nessa safra, o máximo rendimento de grãos não foi atingido, indicando ainda a possibilidade de respostas a doses ainda superiores a 300 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 1B).

Calculando-se a derivada primeira das equações ajustadas em cada uma das demais safras e igualando-as a zero, foi possível obter as doses de P_2O_5 correspondentes às máximas produtividades fisiológicas ou máximas eficiências físicas – MEF's (Braga, 1982; Alvarez V., 1985). Na safra das 'águas' de 2000/01, o ponto de máximo rendimento, que foi de 1.422 kg ha^{-1} , foi estimado com a dose de 214 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Figura 1B).

Na safra das 'águas' de 2001/02, o ponto de máximo rendimento de grãos foi de 2.161 kg ha^{-1} , estimado com a dose de 251 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Essa maior resposta se deve, certamente, às melhores condições de solo e de manejo da cultura, que possibilitaram maior desenvolvimento das plantas e maior absorção de nutrientes, culminando em maior produtividade da cultura em comparação com a safra das 'águas' de 2000/01 (Figura 1B) abordadas nas discussões anteriores. Esse resultado pode ser considerado como uma indicação da importância da umidade do solo para a eficiência da adubação fosfatada pelo fato de a difusão ser o mecanismo principal de contato do P com as raízes (Rosolem, 1996).

Por sua vez, na safra de 'inverno' de 2000, o ponto de máximo rendimento de grãos foi de 2.013 kg ha^{-1} , obtido com a dose estimada de 219 kg ha^{-1} de P_2O_5 , bem próxima à obtida para a safra das 'águas' de 2000/01 (Figura 1B).

Para alguns autores, dentre eles Alvarez V. (1985), as doses a serem recomendadas devem ser equivalentes a 90% da dose que proporciona a produtividade máxima (PM), por corresponder à máxima eficiência econômica (MEE). Resumindo os resultados relativos ao rendimento de grãos, na Tabela 3 são apresentadas essas doses de N e de P_2O_5 , calculadas em cada uma das safras estudadas, baseadas nas regressões obtidas nas Figuras 1A e 1B.

Embora as doses de N necessárias para alcançar os pontos de máxima produtividade tenham variado de 124 a 192 kg ha^{-1} de N, o mencionado critério para recomendação, baseado em 90% da PM, remete a doses totais de 69 a 108 kg ha^{-1} de N (Tabela 3), doses bem mais próximas das recomendadas oficialmente para a cultura do feijão em Minas Gerais (Chagas et al., 1999), que variam de 40 a 100 kg ha^{-1} de N. Considerando especificamente o patamar de produtividade alcançado em cada safra, contudo, verifica-se que nas 'águas' de 2000/01

(1.533 kg ha^{-1} de grãos) o rendimento foi equivalente ao nível 2 de tecnologia-NT2, para o qual espera-se uma produtividade entre 1.200 e 1.800 kg ha^{-1} , com recomendação oficial de doses de 20 kg ha^{-1} de N na semeadura associadas a 30 kg ha^{-1} de N em cobertura, totalizando 50 kg ha^{-1} de N. O critério de 90% do máximo rendimento elevou a dose recomendável para 69 kg ha^{-1} de N 38% acima da recomendada oficialmente. Nas demais safras, a produtividade foi correspondente ao nível tecnológico 3-NT3, para o qual as doses recomendadas para o feijão em Minas Gerais (Chagas et al., 1999) são de 30 kg ha^{-1} de N na semeadura associada a 40 kg ha^{-1} de N em cobertura, totalizando 70 kg ha^{-1} de N. Na Tabela 3 observa-se que as doses para 90% da PM superam as doses oficiais para a cultura de feijão em Minas Gerais, principalmente na safra de 'inverno' de 2000 (46%) e na safra das 'águas' de 2001/02 (54%). Na safra de 'inverno' de 2002, observou-se efeito positivo da adubação nitrogenada na produtividade de grãos até a maior dose utilizada, o que impossibilitou a determinação da produtividade máxima de grãos de feijão nessa safra.

Tabela 3. Produtividade máxima (PM) e correspondente a 90% da máxima (0,9 PM), com as respectivas doses necessárias. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2000/2002.

Safras	PM	Dose para PM	0,9 PM	Dose para 0,9 PM
----- kg ha ⁻¹ -----				
Nitrogênio (N):				
'Inverno' 2000	2.332	170	2.099	102
'Águas' 2000/01	1.533	124	1.380	69
'Águas' 2001/02	2.162	192	1.946	108
'Inverno' 2002	2.264	144	2.038	78
Fósforo (P₂O₅):				
'Inverno' 2000	2.013	218	1.812	88
'Águas' 2000/01	1.422	214	1.280	108
'Águas' 2001/02	2.161	251	1.945	108
'Inverno' 2002	-	-	-	-

As doses de P_2O_5 correspondentes à produção máxima variaram de 214 a 251 kg ha^{-1} de P_2O_5 , sendo que as doses recomendáveis pelo critério de 90% da produtividade máxima variaram de 88 a 108 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 3). De acordo com o teor de P no solo e com o nível de tecnologia, as doses recomendadas oficialmente para a cultura de feijão em Minas Gerais (Chagas et al., 1999) variam de 30 a 110 kg ha^{-1} de P_2O_5 . Nas safras de 'inverno' de 2000 e 'águas' de 2001/02, o solo apresentou teor médio e bom de P e a produtividade de grãos correspondeu ao NT3; em contrapartida, as doses indicadas pelo critério de 90% da produtividade máxima superaram as recomendadas em 26% e 116%, respectivamente. Na safra das 'águas' de 2000/01 (NT2 e P baixo), a dose de 108 kg ha^{-1} de P_2O_5 (Tabela 3) superou a

recomendada (60 kg ha^{-1} de P_2O_5) em 80%.

De forma geral, portanto, no presente estudo o critério de 90% da produtividade máxima indicou doses de N e de P_2O_5 superiores às oficialmente recomendadas para a cultura de feijão em Minas Gerais. No caso do N, as doses indicadas superaram as recomendadas em 38% a 54%, dependendo da safra. Em relação às doses de P_2O_5 indicadas neste estudo, verifica-se que elas também superaram as doses oficialmente recomendadas em 26% a 116%, em função da safra. Esses resultados confirmam o caráter generalizado das recomendações e, por outro lado, a necessidade de estudos em maior número de ambientes, face ao grande número de variáveis envolvidas. Embora a inclusão do nível tecnológico como critério de recomendação oficial de adubação tenha representado um avanço, a adoção de outros critérios adicionais é necessária para o seu aprimoramento.

Conclusão

As doses suplementares de N, associadas ao potássio, aumentaram a mortalidade de plantas de feijão, e as doses de P_2O_5 atenuaram esse efeito.

As doses de N e de P_2O_5 influenciaram o rendimento de grãos de feijão com intensidade variável entre as safras de cultivo.

A máxima eficiência foi obtida com doses de N e de P_2O_5 maiores do que as recomendadas oficialmente para a cultura do feijão em Minas Gerais.

Referências

- AGRIANUAL 2004 – *Anuário da agricultura brasileira*. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2004, p.301.
- ALVAREZ V., V.H. *Avaliação da fertilidade do solo: superfícies de resposta - modelos aproximativos para expressar a relação fator resposta*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, n. 228, 1985., 75p.
- ALVAREZ V., V.H. *et al.* Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C. *et al.* (Ed.) *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação*. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 25-32.
- ALVAREZ V., V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C. *et al.* (Ed.) *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação*. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 43-60.
- ANDRADE, M.J.B. de. Clima e solo. In: VIEIRA, C. *et al.* (Ed.) *Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1998. cap. 4, p. 83-97.
- ARAÚJO, G.A. de A. *et al.* Efeito da época de aplicação do adubo nitrogenado em cobertura sobre o rendimento do feijão, no período de outono-inverno. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 14, n. 236, p. 442-450, 1994.

ARAÚJO, G.A. de A. Preparo do solo e plantio. In: VIEIRA, C. *et al.* (Ed.) *Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1998. p. 99-122.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. *Experimentação agrícola*. Jaboticabal: FUNEP, 1995.

BRAGA, J.M. *Avaliação da fertilidade do solo: ensaios de campo*. Viçosa: UFV, 1982. 101p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Normais climatológicas (Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro). Brasília: Mara, 1992. 84p.

CABALLERO, S.S.V. *Dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta na cultura do feijão (Phaseolus vulgaris L.) cultivar Carioca*. 1982. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1982.

CASSINI, S.T.A.; FRANCO, M.C. Fixação biológica de nitrogênio. In: VIEIRA, C. *et al.* (Ed.) *Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas*. Viçosa-UFV, 1998. p. 153-180.

CHAGAS, J.M. *et al.* Feijão. In: Ribeiro, A.C. *et al.* (Ed.) *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação*. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 306-307.

EL HUSNY, J.C. Limitações nutricionais para a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solo do Norte de Minas Gerais. 1992. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1992.

EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documento, 1).

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa, 1999.

FAGERIA, N.K. *et al.* Resposta do feijão à adubação fosfatada. *Inf. Agron.*, Piracicaba, n. 102, p. 8, 2003.

FERNANDES, M.I.P.S. *Efeito da variação de estande dos experimentos com a cultura do feijoeiro*. 1987. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1987.

GEPTS, P.; FERNÁNDEZ, F. Etapas de desarrollo de la planta de frijol comum (*Phaseolus vulgaris* L.). Cali: CIAT, 1982. 10p. (Mimeografado).

LOPES, A.S. (Trad.) *Manual de fertilidade do solo*. São Paulo: Anda/Potafós, 1989.

PIMENTEL GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1990.

RODRIGUES, J.R.de M. *et al.* População de plantas e rendimento de grãos do feijoeiro em função de doses de nitrogênio e fósforo. *Cienc. Agrotecnol.*, Lavras, v. 26, n. 6, p. 1218-1227, 2002.

ROSOLEM, C.A. Calagem e adubação mineral. In: ARAÚJO, R.S. *et al.* (Coord.) *Cultura do feijoeiro comum no Brasil*. Piracicaba: Potafós, 1996. p.353-416.

SILVEIRA, P.M. da; DAMASCENO, M.A. Doses e parcelamento de K e de N na cultura do feijoeiro irrigado. *Pesq. Agropecu Bras.*, Brasília, v. 28, n. 11, p. 1269-1276, 1993.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em

solos da região do cerrado. *Inf. Agron.*, Piracicaba, n. 102, p. 1-16, 2003.

TEIXEIRA, I.R. et al. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola) a diferentes densidades de semeadura e doses de nitrogênio. *Cienc. Agrotecnol.*, Lavras, v. 24, n. 2, p. 399-408, 2000.

UFLA/UFV/Embrapa/Epamig. *Cultivar de feijão Talismã*. Sete Lagoas: UFLA/UFV/Embrapa/Epamig, 2002. Folder.

YAMADA, T.; ABDALLA, S.R.S. Simpósio destaca a essencialidade do fósforo na agricultura brasileira. *Inf. Agron.*, Piracicaba, n. 102, p. 1-9, 2003.

Received on February 11, 2005.

Accepted on September 20, 2005.