

Nutrição mineral do feijoeiro em influência de nitrogênio e palhadas de milho solteiro e consorciado com feijão-de-porco

Cícero Monti Teixeira^{1*}, Gabriel José de Carvalho², Carlos Alberto Silva², Messias José Bastos de Andrade² e José Mauro Valente Paes¹

¹Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Rua Afonso Rato, 1301, 38060-040, Uberaba, Minas Gerais, Brasil.

²Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: cicero@epamig.br

RESUMO. O objetivo foi avaliar o efeito das palhadas de milho (*Pennisetum typhoides* (Burm.) Stapf) e milho + feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes* (L.) DC.) e diferentes doses de nitrogênio, na nutrição mineral do feijoeiro. O delineamento foi em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas, em Latossolo Vermelho, em plantio direto. As parcelas foram constituídas pelas palhadas e as subparcelas por um fatorial $2 \times 4 + 1$, representado por duas doses de N na semeadura (30 e 60 kg ha⁻¹) e quatro em cobertura (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹), mais um tratamento adicional, correspondente a 30 kg ha⁻¹ de N na semeadura, sem cobertura, com inoculação das sementes com *Rhizobium tropici* e aplicação foliar de Co e Mo. A palhada de milho + feijão-de-porco proporcionou maiores teores foliares de N e Mg. A cobertura nitrogenada aumentou o teor do nutriente até a dose de 116 kg ha⁻¹, proporcionando incrementos lineares nos teores de K e S. Para os teores de Mg houve interação tripla. O tratamento adicional aumentou o teor de N sob palhada de milho, os teores de K e Cu e o rendimento de grãos sob ambas palhadas e reduziu os teores de Ca e Mg, sob palhadas de milho e milho + feijão-de-porco, respectivamente. As doses de N em cobertura aumentaram o rendimento de grãos em ambas as doses de base, com maior resposta na de 30 kg ha⁻¹ de N.

Palavras-chave: plantas de cobertura, sistema plantio direto, consórcio gramínea x leguminosa, adubação nitrogenada, fixação biológica de nitrogênio.

ABSTRACT. **Bean mineral nutrition influenced by nitrogen and straws of millet and millet plus jack bean intercropping.** This study was carried out to evaluate the effect of straws of millet (*Pennisetum typhoides* (Burm.) Stapf) and millet plus jack bean (*Canavalia ensiformes* (L.) DC.) intercropping and nitrogen fertilization levels on bean mineral nutrition in a no-till system. The experiment was carried out in a randomized blocks design and four replications in a split-plot arrangement, with the straws in the plots and nitrogen levels at sowing (30 and 60 kg ha⁻¹) and at topdressing (0, 40, 80 and 120 kg ha⁻¹) as a $2 \times 4 + 1$ factorial in sub-plots, plus an additional treatment with 30 kg ha⁻¹ at sowing, without topdressing, and seed inoculation with *Rhizobium tropici* with Co and Mo foliar application. The millet plus jack bean straw provide the highest N and Mg contents. N topdressing levels increased N foliar concentration up to 116 kg ha⁻¹, providing a linear effect in K and S contents and differenced effects on Mg concentration, depending on the N level at sowing and straw combinations. The additional treatment increased the N concentration only in millet straw, K and Cu in two straws, and reduced the Ca and Mg contents, under millet and millet plus jack bean straws, respectively. The topdressing levels increased the grain yield, with the bigger response in 30 kg ha⁻¹ at of N sowing.

Key words: cover crops, no-till, grassy x leguminous intercropping, nitrogen fertilizer, biology nitrogen fixation.

Introdução

Atualmente, o sistema plantio direto (SPD) é largamente empregado em diversas regiões do Brasil, abrangendo, na safra de 2003/2004, uma área de aproximadamente 22 milhões de hectares. No início da década de 1990, o SPD rompeu as fronteiras da região Sul, ocupando, em 2000/2001, 4,9 milhões de hectares na região dos cerrados, o que representou, naquele ano, aproximadamente

30% da área manejada sob tal sistema no Brasil. A principal dificuldade encontrada para implantação do SPD, em áreas de menor latitude, refere-se à manutenção da palhada sobre a superfície do solo. Isso ocorre pelas estações bem definidas, com precipitação concentrada na primavera/verão, dificultando a produção de fitomassa na entressafra, e com altas temperaturas acelerando a decomposição da palhada.

A obtenção dos benefícios dessa forma de cultivo está diretamente ligada à adição de quantidade de fitomassa suficiente para a proteção do solo pela palhada, conforme puderam comprovar Silveira e Stone (2001), os quais concluíram que os benefícios do sistema não se manifestaram dada a não-utilização de plantas de cobertura. Como a expansão do SPD para diferentes regiões agrícolas do país é relativamente recente, resultados relativos às melhores plantas de cobertura e seus efeitos nas culturas comerciais ainda são escassos.

As respostas do feijoeiro a doses de N dependem do histórico da área de plantio, das doses de adubo nitrogenado na semeadura e em cobertura, do teor e da composição da matéria orgânica do solo, da quantidade e do tipo de palhada adicionada antes da implantação da cultura, do esquema de rotação de culturas e da classe de resposta do solo ao nitrogênio que, segundo Rajj et al. (1997), representa a interação dos fatores mencionados anteriormente. Oliveira et al. (1996) afirmam que doses superiores a 100 kg ha⁻¹ de N são necessárias para se garantir a extração do nutriente associada a altas produções, tendo alguns autores encontrado respostas lineares a aplicações de tais doses (TEIXEIRA et al., 2000; RODRIGUES et al., 2002; CARVALHO et al., 2003). No SPD, principalmente nos primeiros anos de implantação, a resposta do feijoeiro à aplicação de N pode ser ainda maior, pela imobilização do elemento por meio de sua incorporação pelos microrganismos do solo, os quais mediam a decomposição da palhada.

Na região Sul, alguns trabalhos foram realizados com leguminosas de inverno como ervilhaca, ervilha forrageira, tremoço azul e chícharo e o consórcio ervilhaca + aveia preta, com vista à economia de N na cultura do milho. Resultados promissores foram obtidos por Amado et al. (1999), Basso e Ceretta (2000), Bortolini et al. (2000) e Aita et al. (2001), o que resultou na introdução, por Amado et al. (2002), de uma recomendação de adubação nitrogenada para a cultura do milho nos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, baseada na expectativa de produção, no teor de matéria orgânica do solo e na quantidade e qualidade da palhada (exclusiva de leguminosa, consórcio gramínea x leguminosa ou exclusiva de gramínea). De acordo com Giacomini et al. (2003), o consórcio entre gramíneas e leguminosas produz palhada com relação C/N intermediária àquela das espécies em cultivos isolados, resultando em menor taxa de decomposição, se comparada aos resíduos de leguminosas, proporcionando cobertura de solo por mais tempo e sincronização das etapas de fornecimento pela palhada e maior demanda de N pelas culturas. Cita-se, ainda, a liberação mais rápida

dos nutrientes contidos na palhada da leguminosa, disponibilizando-os mais rapidamente para a cultura principal. Isso foi constatado por Teixeira et al. (2008), em cujo trabalho a palhada produzida pelo consórcio entre milho e feijão-de-porco proporcionou melhor nutrição do feijoeiro e, conseqüentemente, maior rendimento de grãos.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de doses de nitrogênio, na semeadura e em cobertura, na nutrição do feijoeiro de inverno/primavera, em sucessão à adição das palhadas de milho (M) e feijão-de-porco (FP).

Material e métodos

O trabalho foi conduzido em área experimental, localizada no Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no período de março a novembro de 2005. A área era conduzida sob SPD há quatro anos, alternando períodos de pousio com o cultivo de feijão. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico típico (EMBRAPA, 2000) com as seguintes características químicas na camada de 0-20 cm, na média das parcelas com M e M+FP: pH em água (1:2,5) 5,2; 8,3 mg dm⁻³ de P; 73 mg dm⁻³ de K; 2,7 cmol_c dm⁻³ de Ca; 0,9 cmol_c dm⁻³ de Mg; 0,2 cmol_c dm⁻³ de Al, soma de bases de 3,8 cmol_c dm⁻³, CTC efetiva de 4,0 cmol_c dm⁻³, CTC potencial de 7,4 cmol_c dm⁻³, saturação por bases de 51,2%, 2,7 dag kg⁻¹ de matéria orgânica, 6,5 mg dm⁻³ de Zn, 24,1 mg dm⁻³ de Fe, 34,3 mg dm⁻³ de Mn, 2,1 mg dm⁻³ de Cu e 0,3 mg dm⁻³ de B. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, temperado úmido, com verão quente e inverno seco (VIANELLO; ALVES, 1991). A irrigação por aspersão convencional foi monitorada por meio de três tensiômetros instalados à profundidade de 15 cm, aplicando-se uma lâmina de 18 mm sempre que a tensão de água no solo atingia a faixa de 30 a 40 kPa (SILVEIRA; STONE, 2004).

Na área sob pousio foram aplicados 2 L ha⁻¹ do herbicida glifosato, com pulverizador tratorizado com 250 L ha⁻¹ de calda, visando dessecar a vegetação existente. Posteriormente, procedeu-se ao sulcamento com semeadora adubadora de plantio direto de três linhas, com tração mecanizada, e à semeadura manual das plantas de cobertura, sem adubação, no dia 11 de março de 2005. O feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes* (L.) DC.) foi semeado na densidade de oito sementes por metro linear (CALEGARI, 1992) e o milho (*Pennisetum typhoides* (Burm.) Stapf, cultivar ADR-500), na densidade de 15 kg ha⁻¹. O espaçamento utilizado foi de 0,5 m, com semeadura simultânea de linhas alternadas no caso do consórcio. O manejo químico das plantas de cobertura foi realizado no dia 1º de agosto de 2005,

quando o milho se encontrava com grãos farináceos e o feijão-de-porco entre o final da floração e início da frutificação. A dessecação foi realizada com glifosato, aplicando-se 5 L ha⁻¹ com pulverizador costal, com volume de calda de 300 L ha⁻¹. Com esse manejo, toda a parte aérea do milho foi dessecada, porém, algumas plantas de feijão-de-porco permaneceram vivas, sendo cortadas com roçadora costal motorizada, às vésperas da semeadura do feijão. As produções de fitomassa seca do milho solteiro e do consórcio com feijão-de-porco foram de 2,36 e 4,18 Mg ha⁻¹, respectivamente, com o feijão-de-porco contribuindo com 72,9% da produção do consórcio.

A semeadura direta do feijoeiro foi realizada 15 dias após a dessecação das plantas de cobertura. A área foi sulcada com a mesma semeadora adubadora utilizada anteriormente para semeadura das plantas de cobertura. Após a demarcação das parcelas experimentais, procedeu-se à distribuição manual dos adubos e sementes. Aos 15 dias após a emergência (DAE), foram contadas todas as plantas da área útil da parcela para a determinação do estande inicial.

O delineamento estatístico foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas. As parcelas foram constituídas pelas palhadas de milho e seu consórcio com feijão-de-porco, e as subparcelas por um fatorial 2 x 4 + 1 constituído das combinações entre duas doses de N na semeadura (30 e 60 kg ha⁻¹) e quatro doses de N em cobertura (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹). O tratamento adicional foi constituído pela dose de base de 30 kg ha⁻¹ de N, sem cobertura, com inoculação das sementes do feijoeiro com *Rhizobium tropici* e aplicação foliar de Co e Mo. A adubação de base constou da aplicação de 320 kg ha⁻¹ da fórmula NPK 08-28-16, utilizando-se ureia para se complementar as adubações nitrogenadas da semeadura para 30 e 60 kg ha⁻¹, conforme os tratamentos. Para adubação de cobertura também foi utilizada a ureia, em duas aplicações, aos 20 e 30 DAE, aplicando-se 12 mm de água após cada cobertura para incorporação. Nos tratamentos adicionais, as sementes foram inoculadas com inoculante turfoso, preparado pelo Laboratório de Microbiologia do Solo do Departamento de Ciência do Solo da UFLA. Para 10 kg de sementes foram utilizados 100 g do inoculante com a estirpe UFLA 02-100 de *Rhizobium tropici*. Foram aplicados Co e Mo com pulverizador costal, aplicando-se 60 g ha⁻¹ de Mo aos 20 DAE (CHAGAS et al., 1999) e 25 g ha⁻¹ de Co (JUNQUEIRA NETTO et al., 2001), dividido em duas aplicações, aos 20 e 30 DAE. Cada subparcela foi constituída por cinco linhas de 5 m de

comprimento, no espaçamento de 0,5 m, com 4,5 m² de área útil (três linhas de 3 m). Aos 30 DAE, procedeu-se à aplicação de mistura comercial (1 L ha⁻¹, 300 L ha⁻¹ de calda) dos herbicidas fomezafen e fluzazifop p-butyl, para controle das plantas daninhas em pós-emergência.

A cultivar de feijoeiro utilizada foi a BRS-MG Talismã, desenvolvida pelo convênio UFLA/UFV/Epamig/Embrapa e recomendada para o Estado de Minas Gerais. Apresenta grãos tipo carioca, crescimento indeterminado com guias longas (tipo III), porte prostrado, ciclo médio de 85 dias, resistência à raça alfa Brasil (patótipo 89) de antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) e ao mosaico comum (VMCF) e resistência intermediária à mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*) (CULTIVAR, 2002).

Quando 50% das plantas se encontravam com flores abertas, foram coletadas, aleatoriamente, dentro da área útil, cinco plantas por subparcela, as quais foram secas em estufas de circulação forçada de ar para a determinação da produção de fitomassa seca, utilizando-se a massa média das cinco plantas multiplicada pelo estande final. Para determinação dos teores foliares de macro e micronutrientes, foram coletadas folhas trifolioladas do terço médio de 20 plantas por subparcela. Após a coleta, as folhas foram lavadas em água, passando as mesmas, após a lavagem, por água destilada e procedendo-se, posteriormente, à secagem em estufa. As folhas secas foram moídas em moinho tipo Wiley e encaminhadas ao Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, onde foram determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn. Os teores de macro e micronutrientes foram expressos em dag kg⁻¹ e mg kg⁻¹, respectivamente. Os acúmulos de macro e micronutrientes foram estimados pela relação entre os teores dos nutrientes em cada subparcela e a sua produção de fitomassa seca, sendo utilizados para se complementar a discussão dos teores foliares.

Os efeitos das palhadas e doses de base foram avaliados pelo teste F, a 5% de probabilidade. Os efeitos das doses em cobertura foram estudados por meio de análises de regressão e, nos casos em que a interação foi significativa, procedeu-se ao desdobramento (GOMES, 2000) das doses em cobertura dentro das palhadas e das doses de base. Quando necessário, desdobraram-se as palhadas e doses de base dentro das doses de cobertura. O tratamento adicional foi comparado com o tratamento de dose correspondente de N do fatorial, por meio de dois contrastes ortogonais (ZIMMERMANN, 2004), visando verificar o efeito da inoculação e da aplicação de Co e Mo dentro de cada palhada.

Resultados e discussão

A análise de variância revelou efeito significativo das palhadas sobre os teores foliares de N, Mg e Cu no feijoeiro. As doses de N na base influenciaram os teores de Cu e Mn, enquanto as doses de cobertura influenciaram os teores de N, K, Mg e S. Ocorreram interações significativas entre palhadas e doses de base, para os teores de Cu, entre doses de base e doses de cobertura para o teor de Ca e rendimento de grãos, e interação tripla para os teores de Mg. As doses de N em cobertura influenciaram os acúmulos dos macronutrientes e do Cu, ocorrendo interação significativa entre doses de base e doses de cobertura para o acúmulo de S e interação tripla para o acúmulo de P.

Os teores de N (Tabela 2) ficaram acima da faixa de suficiência proposta por Martinez et al. (1999), de 3,00 a 3,50 dag kg⁻¹, e dentro daquela proposta por Oliveira et al. (1996), de 2,80 a 6,00 dag kg⁻¹. Utilizando-se como referência a faixa proposta por Malavolta et al. (1997), que é de 3,00 a 5,00 dag kg⁻¹, os valores médios sob palhada de milho, com a menor dose de N na semeadura e sem aplicação de N em cobertura, são considerados suficientes, estando os demais acima da faixa de suficiência. A faixa de suficiência é definida como a faixa de concentração do nutriente no tecido foliar, abaixo da qual a planta sofre carência nutricional e acima da qual pode ocorrer toxicidade.

De acordo com as faixas de suficiência propostas por Martinez et al. (1999), os teores médios de P, K, Ca, B e Mn, em todos os tratamentos, e o teor médio de Fe na dose de 40 kg ha⁻¹ de N em cobertura (Tabela 2) são deficientes, enquanto os teores médios de S e Cu, em todos os tratamentos, e os teores médios de Zn sob milho+feijão-de-porco, e sem aplicação de N em cobertura, são considerados tóxicos. Tomando-se como referência as faixas de suficiência propostas por Malavolta et al. (1997), os teores médios de S em todos os tratamentos e os teores médios de K e Mg, sem aplicação de N em cobertura, são considerados deficientes, e os teores de P e Ca se enquadram acima das faixas de suficiência, sendo considerados tóxicos. Todos os teores médios dos micronutrientes são considerados adequados. Já a faixa proposta por Oliveira et al. (1996), bem mais ampla, considera os teores médios de todos os nutrientes, em todos os tratamentos, como suficientes.

O feijoeiro cultivado sob palhada de milho+feijão-de-porco apresentou maior teor foliar de N (Tabela 1), ao contrário do que observou Teixeira et al. (2008), que não encontrou diferença significativa entre os teores de N do feijoeiro sob as

palhadas de milho, feijão-de-porco, guandu-anão e dos consórcios das gramíneas com as leguminosas. Com relação aos componentes de produção do feijoeiro, a massa de 100 grãos sob palhada de milho+feijão-de-porco, sem aplicação de N em cobertura, correspondeu à obtida sob palhada de milho na dose de 69 kg ha⁻¹. No entanto, o maior teor de N do feijoeiro, sob palhada do consórcio, não resultou em respostas diferenciadas às doses de N para o rendimento de grãos.

Tabela 1. Teores foliares de macro e micronutrientes do feijoeiro, cultivar BRS-MG Talismã, em diferentes doses de nitrogênio na base e em cobertura, em sucessão à adição ao solo das palhadas de milho e milho+feijão-de-porco no SPD. UFPA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2005¹.

	Macronutrientes (dag kg ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
M	4,91 b	0,35	2,06	2,45	0,41	0,35
M+FP	5,26 a	0,39	2,13	2,30	0,48	0,35
30	4,99	0,36	2,08	2,35	0,44	0,34
60	5,17	0,38	2,12	2,40	0,45	0,36
0	4,27	0,37	1,92	2,37	0,38	0,31
40	5,06	0,36	2,07	2,42	0,45	0,35
80	5,41	0,37	2,20	2,42	0,48	0,36
120	5,59	0,38	2,21	2,29	0,47	0,38
C.V.1 (%)	5,68	22,92	9,84	7,74	17,47	26,97
C.V.2 (%)	9,26	8,83	11,26	9,42	8,11	13,05
	Micronutrientes (mg kg ⁻¹)					
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
M	46,97	13,08	358,62	133,60	51,34	
M+FP	47,42	14,05	349,22	121,55	56,44	
30	47,27	13,15	385,66	113,14 b	53,24	
60	47,11	13,98	322,17	142,01 a	54,54	
0	49,17	12,96	355,40	143,07	57,12	
40	49,19	13,79	291,93	120,89	50,57	
80	44,70	13,82	351,89	127,79	53,88	
120	45,71	13,69	416,45	118,57	53,99	
C.V.1 (%)	19,24	7,52	61,45	63,70	35,05	
C.V.2 (%)	12,42	10,33	74,32	33,91	23,64	

¹Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente, pelo teste F a 5% de probabilidade.

A maior dose de N na semeadura (60 kg ha⁻¹) proporcionou maior teor foliar de Mn (Tabela 1), o que pode estar relacionado com a menor competição intra-específica, pelo menor estande na maior dose de N na semeadura. Cita-se ainda o fato de o feijoeiro ter respondido em produção de fitomassa à aplicação de N em cobertura em tal dose de base, o que pode ter diluído o nutriente nas maiores doses em cobertura. Esta justificativa se confirma pelo fato de a estimativa de acúmulo de Mn não ter sido influenciada pelas doses de base.

Os teores foliares de Cu foram influenciados pelas doses de base de forma diferenciada nas duas palhadas. Na palhada de milho, a maior dose de base proporcionou maior teor do elemento nas folhas do feijoeiro (Tabela 2), enquanto que, na palhada de milho+feijão-de-porco, os teores obtidos em ambas as doses de base não diferiram, o que pode estar relacionado à provável liberação mais rápida da palhada do consórcio, dada à maior

velocidade de decomposição. Assim como para o Mn, o efeito de diluição promovido pelo maior crescimento pode explicar o menor teor de Cu na menor dose de N na semeadura, já que não ocorreu diferença significativa entre as estimativas de acúmulo do nutriente.

Tabela 2. Teores foliares de Cu do feijoeiro, cultivar BRS-MG Talismã, em diferentes doses de N na semeadura em sucessão à adição ao solo das palhadas de milho e milho+feijão-de-porco, no sistema plantio direto. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2005¹.

Dose de N (kg ha ⁻¹)	Teor de Cu (mg kg ⁻¹)	
	M	M+FP
60	13,91 a	14,04 a
30	12,24 b	14,07 a

¹Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem significativamente, pelo teste F a 5% de probabilidade.

Apesar de o teor foliar de N ter sido maior sob a palhada de milho+feijão-de-porco (Tabela 1), não houve resposta diferenciada às doses em cobertura nas duas palhadas. Doses de N em cobertura até 116 kg ha⁻¹ promoveram incrementos nos teores foliares do elemento, os quais variaram de 4,28 a 5,57 dag kg⁻¹ (Figura 1). Este resultado está de acordo com o obtido por Carvalho et al. (2003), sob palhada de milho, em que o maior teor foi observado na dose de 108 kg ha⁻¹ de N. Rodrigues et al. (2002) e Nascimento et al. (2004) verificaram respostas lineares dos teores de N a aplicações de doses até 120 e 90 kg ha⁻¹, respectivamente, indicando que os teores máximos seriam alcançados com doses ainda maiores.

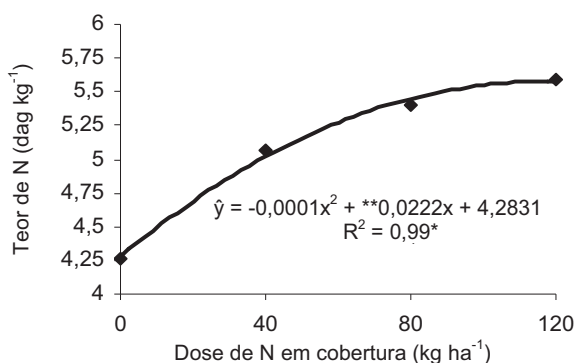


Figura 1. Teor de N do feijoeiro, cultivar BRS-MG Talismã, em diferentes doses de nitrogênio em cobertura no sistema plantio direto. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2005.

Observa-se na Figura 2 que a aplicação de N em cobertura proporcionou incremento linear nos teores de K, o que pode estar associado ao maior crescimento das plantas e, conseqüentemente, do sistema radicular, explorando maior volume de solo. O teor de S nas folhas do feijoeiro também aumentou linearmente com o aumento das doses de

N em cobertura, variando de 0,32 dag kg⁻¹, sem aplicação, a 0,39 dag kg⁻¹ na maior dose aplicada (Figura 3). Teixeira et al. (2000) também verificaram aumento nos teores de S com doses crescentes de N. O teor foliar de Ca foi influenciado pela aplicação de N em cobertura apenas na maior dose de N na semeadura, aumentando até a dose de 56 kg ha⁻¹ (Figura 4). Ao contrário do observado no presente trabalho, Teixeira et al. (2000) verificaram redução linear dos teores de Ca com o aumento das doses de N, o que os autores atribuíram ao efeito de diluição, proporcionado pelo maior crescimento.

Farinelli et al. (2006), trabalhando com doses de N em cobertura de 0 a 160 kg ha⁻¹, em dois anos, encontraram teores de N variando de 3,23 a 4,21 dag kg⁻¹, os quais seriam considerados suficientes ou até mesmo tóxicos, dependendo da faixa de suficiência utilizada. No entanto, os autores verificaram que a produção de grãos respondeu de forma quadrática até a dose de 78,12 kg ha⁻¹ de N no primeiro ano do estudo, com rendimento máximo de 1.870 kg ha⁻¹, e linear no segundo ano, alcançando uma produção de 3.114 kg ha⁻¹ de grãos.

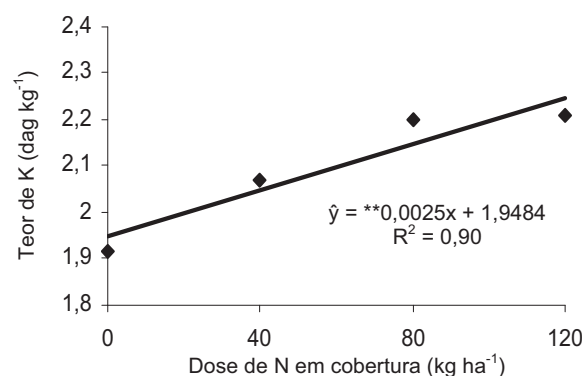


Figura 2. Teor de K do feijoeiro, cultivar BRS-MG Talismã, em diferentes doses de nitrogênio em cobertura no sistema plantio direto. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2005.

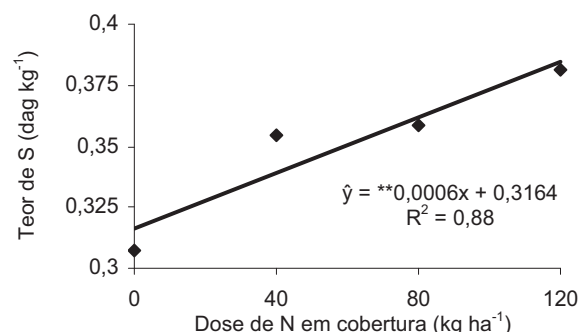


Figura 3. Teor de S do feijoeiro, cultivar BRS-MG Talismã, em diferentes doses de nitrogênio em cobertura no sistema plantio direto. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2005.

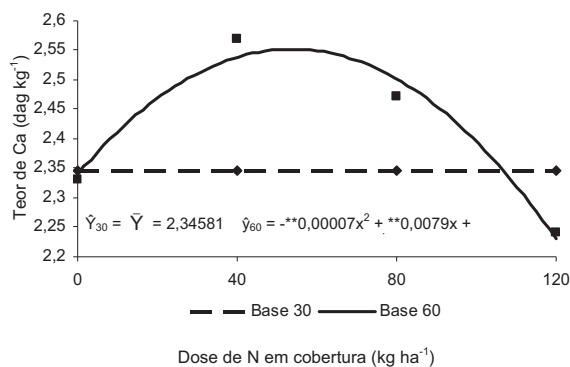


Figura 4. Teor de Ca do feijoeiro, cultivar BRS-MG Talismã, em diferentes doses de nitrogênio na semeadura e cobertura no sistema plantio direto. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2005.

As doses de N em cobertura alteraram o comportamento dos teores foliares de Mg no feijoeiro de forma diferenciada nas palhadas e nas doses de N na semeadura (Figura 5). Em ambas as palhadas houve aumento do teor de Mg, com aplicação de N em cobertura, semelhante aos dados observados por Teixeira et al. (2000), que verificaram aumento dos teores do elemento com aumento das doses de N. A palhada de milho+feijão-de-porco proporcionou maiores teores de Mg, podendo estar associado à maior ciclagem e à liberação mais rápida do nutriente pela mesma. Na palhada de milho, os teores de Mg responderam às doses de N em cobertura de forma linear, em ambas as doses de N na semeadura. Verifica-se, pelas equações, que essas respostas foram da mesma magnitude, porém, com teores inferiores na menor dose de N na semeadura, o que pode estar relacionado ao efeito de diluição, já que o feijoeiro respondeu em produção de fitomassa à adubação de cobertura em tal dose de base. Na palhada de milho+feijão-de-porco foram observados maiores teores de Mg na maior dose de N na semeadura, com exceção das doses inferiores a 18 e superiores a 103 kg ha⁻¹ de N em cobertura, onde ocorreram teores inferiores aos obtidos na menor dose de N na semeadura, com as mesmas doses em cobertura.

Os contrastes das médias dos tratamentos adicionais, com inoculação e aplicação de Co e Mo, com as médias dos tratamentos com doses correspondentes de N do fatorial, foram significativos para os teores de N e Ca na palhada de milho, de Mg na palhada de milho+feijão-de-porco e de K e Cu, em ambas as palhadas (Tabela 3). O teor de N aumentou com a inoculação + Co e Mo apenas na palhada de milho, passando de 3,67 para 4,70 mg kg⁻¹ (Tabela 3). Isso pode estar relacionado ao maior teor de N no solo sob palhada de milho+feijão-de-porco, aumentando-se os teores foliares do elemento no feijoeiro (Tabela 1).

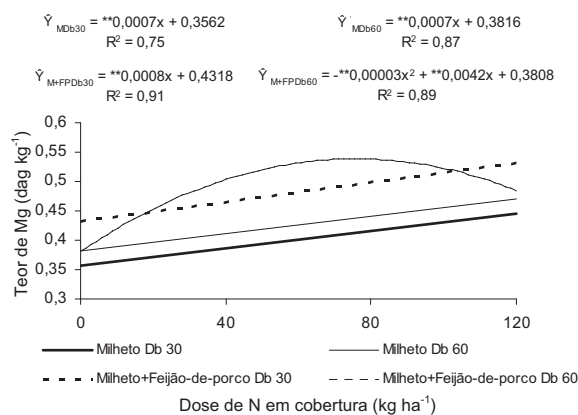


Figura 5. Teor de Mg do feijoeiro, cultivar BRS-MG Talismã, em diferentes doses de nitrogênio, na semeadura e em cobertura, em sucessão à adição ao solo das palhadas de milho e milho+feijão-de-porco, no sistema plantio direto. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2005.

Assim, a fixação biológica não proporcionou incremento nos teores foliares de N sob tal palhada, o que pode estar também associado ao fato de que o processo é inibido pela maior disponibilidade do nutriente no solo. Em todas as situações, os teores de N estiveram dentro da faixa de suficiência proposta por Malavolta et al. (1997) e acima daquela proposta por Martinez et al. (1999). Assim como para o N, o teor de Ca também foi influenciado pela inoculação + Co e Mo apenas na palhada de milho, porém, de forma inversa, ou seja, ocorreu redução dos teores de Ca com a inoculação e a aplicação dos nutrientes (Tabela 3). Os teores apresentados em todas as situações estiveram abaixo da faixa de suficiência proposta por Martinez et al. (1999), estando o menor teor dentro daquela proposta por Malavolta et al. (1997) e os demais acima da mesma.

Tabela 3. Teores de N, K, Ca, Mg e Cu, com e sem inoculação e aplicação de Co e Mo no feijoeiro, cultivar BRS-MG Talismã, em sucessão à adição ao solo das palhadas de milho e milho+feijão-de-porco, no sistema plantio direto. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2005¹.

Tratamentos	dag kg ⁻¹				mg kg ⁻¹	
	N	K	Ca	Mg	Cu	
M	Inoc + Co e Mo	4,70 a	2,95 a	1,93 b	0,29 a	16,91 a
	Sem inoculação	3,67 b	1,83 b	2,51 a	0,34 a	11,74 b
M+FP	Inoc + Co e Mo	4,33 a	2,93 a	2,02 a	0,35 b	19,23 a
	Sem inoculação	4,85 a	1,93 b	2,31 a	0,43 a	13,09 b

¹Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, para cada palhada, não diferem significativamente pelo teste F a 5% de probabilidade.

Ao contrário do Ca, o teor de Mg foi influenciado pela inoculação + Co e Mo apenas na palhada de milho+feijão-de-porco (Tabela 3), sendo superior no tratamento sem inoculação. Apenas o teor sob milho no tratamento adicional ficou abaixo da faixa de suficiência proposta por Martinez et al. (1999), estando o teor sob a palhada do consórcio, sem inoculação, dentro daquela

proposta por Malavolta et al. (1997). Com relação aos teores de K e Cu, o efeito da inoculação + Co e Mo foi positivo, aumentando-se os valores em ambas as palhadas. No caso do K, o efeito da inoculação permitiu que os teores se inserissem na faixa de suficiência proposta por Martinez et al. (1999) e ultrapassassem aquela proposta por Malavolta et al. (1997). Em ambas as faixas, o teor de K sem inoculação é classificado como deficiente. Os teores de Cu do tratamento adicional foram superiores em ambas as palhadas, estando todos os teores verificados acima da faixa de suficiência proposta por Martinez et al. (1999) e dentro daquela proposta por Malavolta et al. (1997).

O maior teor foliar de N do feijoeiro sob palhada de milho+feijão-de-porco (Tabela 1) não interferiu no rendimento de grãos, ocorrendo respostas lineares à aplicação de N em cobertura, em ambas as doses de N na semeadura (Figura 6). Nas menores doses de N em cobertura (0 e 40 kg ha⁻¹), os rendimentos com aplicação de 60 kg ha⁻¹ na base foram superiores à dose 30 kg ha⁻¹.

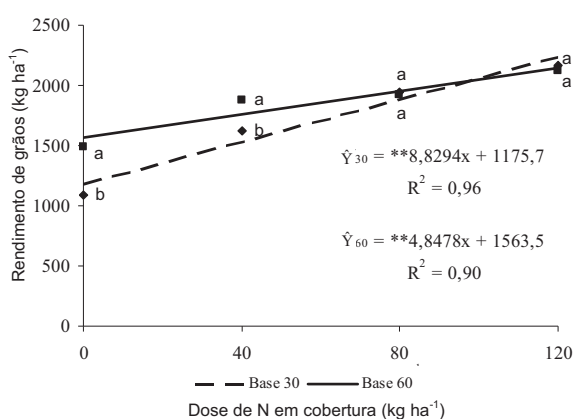


Figura 6. Rendimento de grãos do feijoeiro, cultivar BRS-MG Talismã, em diferentes doses de nitrogênio na base da semeadura e em cobertura no sistema plantio direto. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2005.

Médias seguidas de mesma letra, dentro de cada dose de N em cobertura, não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

No entanto, as maiores produções foram obtidas na maior dose de N em cobertura, não se diferenciando entre as doses de 30 e 60 kg ha⁻¹ na semeadura. Assim, pode-se afirmar que a maior dose de N na semeadura não proporcionou incremento no rendimento de grãos. Farinelli et al. (2006), comparando a resposta do feijoeiro a cinco doses de N em cobertura (0 a 160 kg ha⁻¹) no SPD, em sucessão às gramíneas aveia preta e milho e sistema convencional, também verificaram resposta linear no SPD; no sistema convencional, a resposta foi quadrática, indicando maior demanda por N no SPD. Com a evolução das cultivares e das técnicas de cultivo, o feijoeiro tem se mostrado cada vez mais

responsivo à aplicação de nitrogênio. Outros autores verificaram acréscimos no rendimento de grãos com a utilização de doses totais superiores a 120 kg ha⁻¹ de N no SPD (CARVALHO et al., 2003; MEIRA et al., 2005), o que está de acordo com os resultados obtidos no presente estudo.

Os contrastes entre as médias dos tratamentos adicionais (com inoculação e aplicação de Co e Mo) e as médias dos tratamentos do fatorial, com doses correspondentes de N também foram significativos, nas duas palhadas, para o rendimento de grãos. A inoculação e aplicação de Co e Mo proporcionaram incrementos no rendimento de grãos, aumentando em 616 e 671 kg ha⁻¹, nas palhadas de M e M+FP, respectivamente (Tabela 4), correspondendo, em média, a um acréscimo de 58,9%. Incrementos no rendimento de grãos com aplicação de Mo também foram observados por Andrade et al. (1998), Diniz et al. (1998), Amane et al. (1999) e Fullin et al. (1999). Estes resultados indicam a necessidade de mais estudos para verificar a interação entre o fornecimento de N pelo consórcio gramínea x leguminosa e a inoculação e aplicação de Co e Mo, visando à economia de fertilizante nitrogenado. Destaca-se a importância do Mo sob SPD estabelecido, quando a forma nítrica de nitrogênio no solo é favorecida pelo pH mais elevado. Como o Mo é cofator da enzima redutase do nitrato, sua aplicação pode aumentar a assimilação do N-NO₃ pelas plantas, refletindo em maior produtividade (TAIZ; ZEIGER, 2002).

Tabela 4. Rendimento de grãos, com e sem inoculação + aplicação de Co e Mo no feijoeiro, cultivar BRS-MG Talismã, em sucessão à adição ao solo das palhadas de milho e milho+feijão-de-porco, no SPD. UFLA, Lavras, Estado de Minas Gerais, 2005¹.

	Tratamentos	Rendimento (kg ha ⁻¹)
M	C/ inoc + Co + Mo	1.672 a
	S/ inoculação	1.056 b
M+FP	C/ inoc + Co + Mo	1.800 a
	S/ inoculação	1.129 b

¹Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, para cada palhada, não diferem significativamente pelo teste F a 5% de probabilidade.

Conclusão

Entre as palhadas, a palhada de milho+feijão-de-porco proporcionou maiores teores foliares de N e Mg no feijoeiro; a aplicação de N em cobertura aumentou o teor foliar de N do feijoeiro até a dose de 116 kg ha⁻¹; a aplicação de N em cobertura promoveu incrementos nos teores foliares de K, S e Mg; o rendimento de grãos do feijoeiro elevou-se linearmente com o aumento da dose de N em cobertura, com efeito maior na menor dose do nutriente na semeadura; a inoculação e

aplicação de Co e Mo aumentaram o teor de N apenas sob palhada de milho e os teores de K e Cu e o rendimento de grãos, sob ambas as palhadas, reduzindo o teor de Ca e Mg sob as palhadas de milho e de milho+feijão-de-porco, respectivamente.

Referências

- AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; DA ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 157-165, 2001.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 679-686, 1999.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 241-248, 2002.
- AMANE, M. I. V.; VIEIRA, C.; NOVAIS, R. F.; ARAÚJO, G. A. A. Adubação nitrogenada e molibídica na cultura do feijão na zona da mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 643-650, 1999.
- ANDRADE, M. J. B.; DINIZ, A. R.; CARVALHO, J. G.; LIMA, S. F. Resposta da cultura do feijoeiro à aplicação foliar de molibdênio e às adubações nitrogenadas de plantio e cobertura. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 22, n. 4, p. 499-508, 1998.
- BASSO, C. J.; CERETTA, C. A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 905-915, 2000.
- BORTOLINI, C. G.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G. Sistemas consorciados de aveia preta e ervilhaca comum como cobertura de solo e seus efeitos na cultura do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 4, p. 897-903, 2000.
- CALEGARI, A. Caracterização das principais espécies de adubo verde. In: CALEGARI, A. (Ed.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. p. 207-327.
- CARVALHO, M. A. C.; FURLANI JÚNIOR, E.; ARF, O.; SÁ, M. E.; PAULINO, H. B.; BUZZETTI, S. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila no feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 445-450, 2003.
- CHAGAS, J. M.; BRAGA, J. M.; VIEIRA, C.; SALGADO, L. T.; JUNQUEIRA NETO, A.; ARAÚJO, G. A. A.; ANDRADE, M. J. B.; LANA, R. M. Q.; RIBEIRO, A. C. Feijão. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª Aproximação)**. Viçosa: CFSEMG/UFV, 1999. p. 306-307.
- CULTIVAR de feijão Talismã. Sete Lagoas: UFLA, 2002. Folder.
- EMBRAPA–Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2000.
- DINIZ, A. R.; ANDRADE, M. J. B.; CARVALHO, J. G.; RAMALHO, M. A. P.; BERGO, C. L. Avaliação preliminar da resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à aplicação foliar de molibdênio e adubação nitrogenada em cobertura. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 22, n. 2, p. 226-231, 1998.
- FARINELLI, R.; LEMOS, L. B.; PENARIOL, F. G.; EGÉA, M. M.; GASPAROTO, M. G. Adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro, em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 307-312, 2006.
- FULLIN, E. A.; ZANGRANDE, M. B.; LANI, J. A.; MENDONÇA, L. F.; DESSAUNE FILHO, N. Nitrogênio e molibdênio na adubação do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 7, p. 1145-1149, 1999.
- GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; VENDRUSCOLO, E. R. O.; CUBILLA, M.; NICOLOSO, R. S.; FRIES, M. R. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2003.
- GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Esalq, 2000.
- JUNQUEIRA NETTO, A.; JUNQUEIRA, A. D. A.; JUNQUEIRA, G. D. A. Micronutrientes: recomendações práticas. In: JUNQUEIRA NETTO, A.; JUNQUEIRA, A. D. A.; JUNQUEIRA, G. D. A. (Ed.). **Sistemas de produção de feijão irrigado**. Piracicaba: Esalq, 2001. p. 43-62.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1997.
- MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnóstico foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª aproximação)**. Viçosa: CFSEMG/UFV, 1999. cap. 17, p. 143-168.
- MEIRA, F. A.; SÁ, M. E.; BUZZETTI, S.; ARF, O. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 383-388, 2005.
- NASCIMENTO, M. S.; ARF, O.; SILVA, M. G. Resposta do feijoeiro à aplicação de nitrogênio em cobertura e

- molibdênio via foliar. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 26, n. 2, p. 153-159, 2004.
- OLIVEIRA, I. P.; ARAÚJO, R. S.; DUTRA, L.G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAÚJO, R. S. (Coord.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996. p. 169-221.
- RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAJJIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997.
- RODRIGUES, J. R. M.; ANDRADE, M. J. B.; CARVALHO, J. G.; MORAIS, A. M.; REZENDE, P. M. População de plantas e rendimento de grãos do feijoeiro em função de doses de nitrogênio e fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, n. 6, p. 1218-1227, 2002.
- SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Teores de nutrientes e de matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistema de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 387-394, 2001.
- SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Irrigação. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. **Informe agropecuário: feijão de alta produtividade**. Belo Horizonte, 2004. p. 74-82.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Sunderland: Sinauer Associates, 2002.
- TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J.; FURTINI NETO, A. E.; ANDRADE, M. J. B.; FONTANETTI, A. Produtividade e teores foliares de nutrientes do feijoeiro sob diferentes palhadas e doses de nitrogênio em semeadura direta. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 123-130, 2008.
- TEIXEIRA, I. R.; ANDRADE, M. J. B.; CARVALHO, J. G.; MORAIS, A. R.; CORRÊA, J. B. D. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola) a diferentes densidades de semeadura e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 24, n. 2, p. 399-408, 2000.
- VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 1991.
- ZIMMERMANN, F. J. P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004.

Received on July 14, 2008.

Accepted on November 26, 2008.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.