

FONTES E DOSES DE NITROGÊNIO PARA O FEIJOEIRO EM SUCESSÃO A GRAMÍNEAS NO SISTEMA PLANTIO DIRETO⁽¹⁾

Carlos Alexandre Costa Crusciol⁽²⁾, Rogério Peres Soratto⁽³⁾, Laerte Marques da Silva⁽⁴⁾ & Leandro Borges Lemos⁽⁵⁾

RESUMO

O nitrogênio é um nutriente essencial ao feijoeiro. Contudo, ainda há dúvidas sobre qual fonte e dose utilizar para o fornecimento desse nutriente em cobertura à cultura, no sistema plantio direto. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de fontes e doses de N, aplicadas em cobertura, na nutrição e produtividade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado no sistema plantio direto, em um Nitossolo Vermelho. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, num esquema fatorial 2x4, constituído por duas fontes de N (nitrocálcio e uréia) e quatro doses de N (0, 30, 60 e 120 kg ha⁻¹) em cobertura. A aplicação de doses elevadas de N, na forma de nitrocálcio, promoveu maior absorção de nitrato, K, Ca e Mg pelo feijoeiro em plantio direto, em comparação com a aplicação de uréia. A adubação nitrogenada em cobertura, utilizando como fonte o nitrocálcio ou a uréia, proporcionou aumento no teor de N nas folhas, na massa de matéria seca da parte aérea, no número de vagens por planta e na produtividade do feijoeiro no sistema plantio direto, em sucessão a aveia-preta, até a dose estimada de 95 kg ha⁻¹ de uréia.

Termos de indexação: *Phaseolus vulgaris*, uréia, nitrocálcio, adubação de cobertura, N-nitrato, N-amônio, componentes da produção.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em abril de 2006 e aprovado em julho de 2007.

⁽²⁾ Professor Adjunto do Departamento de Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista – FCA/UNESP. Fazenda Experimental Lageado s/n, Caixa Postal 237, CEP 18603-970 Botucatu (SP). Bolsista CNPq. E-mail: crusciol@fca.unesp.br

⁽³⁾ Professor Assistente Doutor do Departamento de Produção Vegetal, FCA/UNESP. E-mail: soratto@fca.unesp.br

⁽⁴⁾ Engenheiro-Agrônomo, Doutor do Departamento de Produção Vegetal, FCA/UNESP.

⁽⁵⁾ Professor Assistente do Departamento de Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista – UNESP. Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/nº, CEP 14884-900, Jaboticabal (SP). E-mail: leandrobl@fcav.unesp.br

SUMMARY: NITROGEN SOURCES AND DOSES FOR COMMON BEAN IN SUCCESSION TO GRASSES UNDER NO-TILLAGE

Nitrogen is an essential nutrient for common bean. However, there are still doubts about which source and level should be used to supply crops with this nutrient via sidedressing application in no-tillage systems. The objective of this work was to evaluate the influence of sources and doses of sidedressed nitrogen on common bean nutrition and grain yield (Phaseolus vulgaris L.) under no-tillage, on a Rhodic Nitisol. It was used a randomized complete block design with four replications, in a 2x4 factorial scheme consisting of two nitrogen sources (nitrocalcium and urea) and four nitrogen doses (0, 30, 60, and 120 kg ha⁻¹) applied as sidedressing. Compared to urea, high nitrogen doses as nitrocalcium increased the uptake of nitrate, potassium, calcium, and magnesium by common bean under no-tillage. Sidedressed nitrogen fertilization (nitrocalcium or urea) increased the nitrogen leaf concentration, shoot dry matter, number of pods per plant, and grain yield of common bean under no-tillage, in succession to a black oat crop, up to an estimated urea dose of 95 kg ha⁻¹.

Index terms: Phaseolus vulgaris, urea, nitrocalcium, sidedressing fertilization, N-nitrate, N-ammonium, yield components.

INTRODUÇÃO

A produção de feijão no sistema plantio direto vem crescendo em todo o território nacional. Das tecnologias indicadas para esse sistema de cultivo, a adubação nitrogenada é a que tem gerado o maior número de questionamentos (Barbosa Filho & Silva, 2001).

O feijoeiro é uma planta exigente em nutrientes, dentre os quais o N é absorvido em quantidade mais elevada. Segundo Oliveira et al. (1996), quantidade superior a 100 kg ha⁻¹ de N é requerida para garantir a extração do nutriente associada a altas produtividades. Apesar da capacidade de fixar o N atmosférico, pela simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, mesmo quando é realizada inoculação, a quantidade do nutriente suprida por esse processo normalmente tem sido insuficiente (Bassan et al., 2001; Lemos et al., 2003), sendo a adubação nitrogenada sempre recomendada para atender às exigências da cultura (Ambrosano et al., 1996), principalmente no sistema plantio direto após gramíneas (Ambrosano et al., 1996; Soratto et al., 2001; Bordin et al., 2003; Soratto et al., 2004; Meira et al., 2005; Silveira et al., 2005).

Em sistema de preparo convencional, Silva et al. (2000) obtiveram resposta quadrática do feijoeiro ao N, e a produtividade máxima foi alcançada com 74 kg ha⁻¹ desse nutriente. No mesmo tipo de solo, sob sistema plantio direto, Soratto et al. (2001) e Silva (2002) verificaram respostas lineares da produtividade até a dose máxima testada, ou seja, 100 e 150 kg ha⁻¹, respectivamente. Já Soratto et al. (2004) observaram que no sistema de preparo convencional, em sucessão à cultura do milho, a produtividade máxima do feijoeiro foi alcançada com a dose estimada de

129 kg ha⁻¹ de N em cobertura, enquanto no sistema plantio direto a dose estimada para a máxima produtividade foi de 182 kg ha⁻¹ de N, indicando maior demanda do nutriente neste sistema.

Em razão das perdas que ocorrem no sistema solo-planta, o manejo da adubação nitrogenada é tido como um dos mais difíceis (Santos et al., 2003), fazendo com que a eficiência da adubação nitrogenada, na maioria das vezes, seja baixa. Dessa forma, técnicas que possibilitam a maximização da absorção de N pelo feijoeiro são de extrema importância, devido ao alto custo e à baixa eficiência dos fertilizantes nitrogenados. Nesse sentido, uma das alternativas indicadas seria a utilização de fontes menos sujeitas a perdas por volatilização, para o fornecimento do N em cobertura (Costa et al., 2003), principalmente no sistema plantio direto.

Quando aplicado ao solo, o N pode ser perdido por lixiviação; assim, para minimizar os efeitos desse processo, recomenda-se o parcelamento da adubação ou a manutenção da forma amoniacal em vez da nítrica, visto que o amônio não se perde facilmente por lixiviação (Silva, 1988). Quando se utiliza a uréia, que é o fertilizante nitrogenado mais empregado na agricultura brasileira, podem ocorrer perdas elevadas de N por volatilização (Barbosa Filho & Silva, 2001), especialmente quando a aplicação é feita sobre a palhada, como ocorre muitas vezes no sistema plantio direto. Lara Cabezas & Yamada (1999) observaram perdas de N por volatilização da uréia acima de 70 % em plantio direto, quando aplicada na superfície da palha. Segundo Cantarella et al. (2001), plantas adubadas com uréia apresentam menor absorção de N, devido, possivelmente, às perdas de NH₃ por volatilização.

Outro fator importante é que o suprimento de nutrientes em proporções adequadas é essencial para a ótima produção vegetal (Mengel & Kirkby, 1987), mas nem sempre isso é considerado na prática agrícola. As plantas são capazes de absorver N tanto na forma de nitrato (NO_3^-) como na de amônio (NH_4^+), mas algumas podem preferir uma fonte ou outra, dependendo da espécie (Marschner, 1995). A fonte de N pode afetar o desenvolvimento das plantas por meio de vários processos dentro do sistema solo-planta e dentro da planta (Wiesler, 1997). O uso de diferentes fontes de N pode afetar o estado nutricional das plantas devido a alterações na rizosfera, decorrentes de modificações no balanço iônico naquela fração do solo. Quando plantas se desenvolvem em ambientes semelhantes e posteriormente são supridas com N-NO_3^- ou N-NH_4^+ , elas podem diferir em muitos aspectos relacionados à atividade metabólica e composição iônica, como resultado da resposta fisiológica diferenciada.

A redução do N-NO_3^- em plantas consome grande quantidade de energia. Considerando a energia bioquímica necessária para redução do N-NO_3^- , poder-se-ia supor que uma planta suprida exclusivamente com N-NH_4^+ se desenvolveria melhor que uma suprida com N-NO_3^- ; entretanto, na maioria dos casos ocorre o oposto, sendo compensado por alterações na arquitetura da planta e rápido desenvolvimento (Beltrano et al., 1999).

Vale et al. (1998) observaram redução no crescimento de plantas de feijão supridas apenas com amônio, em solução nutritiva. Essa redução é atribuída aos efeitos combinados da acidificação da rizosfera, em virtude do menor influxo de ânions, comparado à absorção de cátions e ao acúmulo tóxico de amônio nos tecidos vegetais (Mengel & Kirkby, 1987; Vale et al., 1998).

Em experimento de campo, com capim-coastcross, Primavesi et al. (2005) verificaram que, com a aplicação de nitrato de amônio, as plantas absorveram mais N na forma de nitrato do que quando foi aplicada uréia, sobretudo nas doses mais elevadas de N. Isso é explicado pelo fato de que, com a aplicação de uréia, todo o N é inicialmente convertido a NH_4^+ no solo (Luchese et al., 2001), tendo as plantas maior disponibilidade do nutriente nessa forma. Além disso, Kirkby & Knight (1977) relataram que plantas supridas com N na forma de nitrato aumentam a síntese de ânions orgânicos, com aumento na absorção dos cátions inorgânicos K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , o que pode alterar o balanço de nutrientes no interior das células. Por isso, o feijoeiro, assim como a maioria das espécies, quando suprido apenas com amônio, não cresce tanto como quando suprido apenas com nitrato ou com quantidade semelhante de N na forma de nitrato e amônio (Vale et al., 1998). No entanto, são escassas as informações sobre a eficiência de fontes e doses de adubos nitrogenados para aplicação em cobertura no feijoeiro cultivado no sistema plantio direto e sobre os seus efeitos na absorção de nutrientes na planta.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência de fontes e doses N, aplicadas em cobertura, na nutrição e produtividade do feijoeiro cultivado no sistema plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP, município de Botucatu, SP ($48^\circ 23' \text{ W}$ e $22^\circ 58' \text{ S}$; 765 m de altitude), num Nitossolo Vermelho distroférico. O clima, conforme a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, que se caracteriza como tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso. As precipitações pluviométricas e temperaturas máximas e mínimas, registradas durante a condução do experimento, estão representadas na figura 1.

Antes da instalação do experimento, foi coletada amostra composta de 10 subamostras, na camada de 0-0,20 m, para determinação das características químicas (Raij et al., 2001) e granulométricas (Embrapa, 1997) do solo, cujos resultados foram: $\text{MO} = 26,0 \text{ g dm}^{-3}$; $\text{pH} (\text{CaCl}_2 0,01 \text{ mol L}^{-1}) = 4,4$; $\text{P} (\text{resina}) = 14,9 \text{ mg dm}^{-3}$; K^+ , Ca^{2+} e $\text{Mg}^{2+} = 1,6, 41,3$ e $20,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente; $\text{V} = 56 \%$; e $\text{S-SO}_4^{2-} = 5,6 \text{ mg dm}^{-3}$, bem como 240, 110 e 650 g kg^{-1} de areia, silte e argila, respectivamente.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições, num esquema fatorial 2×4 , constituído por duas fontes de N (nitrocálcio e uréia) e quatro doses de N (0, 30, 60 e 120 kg ha^{-1}) em cobertura. Cada parcela foi constituída por seis linhas de 5 m de comprimento. A área útil foi constituída pelas quatro linhas centrais, desprezando-se 0,50 m em ambas as extremidades de cada linha.

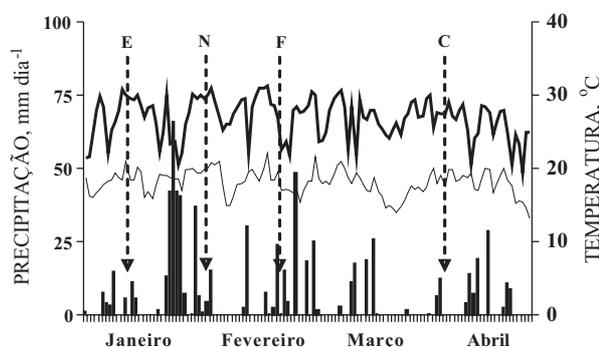


Figura 1. Precipitação pluviométrica (■) e temperaturas máxima (—) e mínima (___), obtidas na área do experimento, durante os meses de janeiro a abril de 2004. E: emergência; F: florescimento; N: adubação nitrogenada de cobertura; C: colheita.

A área experimental foi cultivada durante três anos no sistema plantio direto, com a sucessão milho (primavera)/milho (verão), milho (primavera)/arroz (verão) e aveia-preta (outono – inverno)/arroz (verão)/aveia-preta (outono – inverno). No momento da instalação do experimento a área encontrava-se coberta com palhada de aveia-preta (relação C/N = 48), que havia sido colhida para produção de grãos. A dessecação da cobertura vegetal foi realizada mediante a aplicação de glifosate na dose de 1,6 kg ha⁻¹ do ingrediente ativo. A semeadura do feijão foi realizada mecanicamente em 7 de janeiro de 2004, utilizando a cultivar Pérola, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e densidade de 15 sementes por metro. Por ocasião da semeadura, foram aplicados, em todos os tratamentos, 20 kg ha⁻¹ de N, 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 40 kg ha⁻¹ de K₂O, 11 kg ha⁻¹ de S e 1,25 kg ha⁻¹ de Zn, por meio de 250 kg ha⁻¹ da fórmula 08-28-16 + 4,5 % de S + 0,5 % de Zn.

O controle das plantas daninhas foi feito mediante duas aplicações sequenciais do herbicida fluazifop-p-butil + fomesafen (100 + 125 g ha⁻¹ do i.a. em cada aplicação). Durante o desenvolvimento da cultura foram realizados os tratamentos culturais fitossanitários.

A aplicação do N foi realizada no estágio V₄ (terceira folha trifoliolada totalmente expandida em mais de 50 % das plantas), ou seja, 22 dias após a emergência (DAE), distribuindo-se o adubo sobre a superfície do solo ao lado e aproximadamente 10 cm das fileiras de plantas.

A emergência das plântulas ocorreu 5 dias após a semeadura, o florescimento pleno 41 dias após a emergência (DAE), e o ciclo teve a duração de 86 dias, em todos os tratamentos.

Por ocasião do florescimento pleno, determinou-se a massa de matéria seca da parte aérea das plantas, coletando-se 10 plantas por parcela e secando-as em estufa com circulação forçada de ar a 60–70 °C, até atingir massa constante.

Para avaliação dos teores de nutrientes nas folhas, foram coletadas todas as folhas de 10 plantas de cada parcela no florescimento pleno e secadas em estufa, com circulação forçada de ar a 60–70 °C, até atingir massa constante. Em seguida, foram moídas e submetidas à análise, conforme método descrito em Malavolta et al. (1997). Os teores de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ foram determinados segundo Tedesco et al. (1985).

Por ocasião da colheita, foram coletadas 10 plantas de cada parcela e determinados o número de vagens/planta, o número de grãos/vagem e a massa de 100 grãos. Em duas fileiras da área útil de cada parcela, as plantas foram arrancadas, deixadas secar em pleno sol e em seguida submetidas à trilha mecânica; o teor de água dos grãos foi corrigido para 0,13 kg kg⁻¹ (base úmida), para determinação da sua produtividade.

Os resultados foram submetidos à análise de variância. As médias referentes às fontes foram

comparadas pelo teste DMS a 5 %, enquanto os efeitos das doses de N foram avaliados por meio de análise de regressão, adotando-se como critério para escolha do modelo a magnitude dos coeficientes de regressão significativos a 5 % pelo teste t.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adubação nitrogenada de cobertura proporcionou aumento linear no teor de N total nas folhas do feijoeiro, sem que houvesse influência da fonte utilizada (Figura 2), indicando que mesmo a maior dose (120 kg ha⁻¹) não foi suficiente para fornecer todo o N requerido pela cultura, apesar de os teores foliares, em todos os tratamentos, estarem dentro da faixa considerada adequada para o feijoeiro (30–50 g kg⁻¹), conforme Ambrosano et al. (1996). Soratto et al. (2004) verificaram aumento linear do teor de N nas folhas de feijoeiro cultivado sob sistema plantio direto, em sucessão à cultura do milho, até a dose de 210 kg ha⁻¹ de N. Os resultados reforçam a hipótese de que, no sistema plantio direto, para o adequado suprimento do feijoeiro é necessária a aplicação de maiores doses de N, devido à imobilização do nutriente, principalmente quando os resíduos culturais presentes na superfície do solo possuem alta relação C/N, como é o caso do milho e da aveia-preta (Aita et al., 2001; Soratto et al., 2004).

O aumento da dose de N, aplicado na forma de uréia, provocou acréscimo linear no teor de N-NH₄⁺ nas folhas do feijoeiro (Figura 2). Esse resultado é explicado pelo fato de que, quando aplicado ao solo na forma de uréia, todo o N é inicialmente convertido em amônio no solo (Luchese et al., 2001), possibilitando maior absorção do nutriente nessa forma pelas plantas. A aplicação de nitrocálcio não promoveu efeito no teor de N-NH₄⁺, já que, neste caso, todo o N aplicado foi disponibilizado para a planta diretamente na forma nítrica. Comparando fontes dentro de doses, não foi observada diferença significativa para essa variável.

A aplicação, tanto de nitrocálcio quanto de uréia, ocasionou aumento no teor de N-NO₃⁻ nas folhas, porém esse incremento foi maior com a utilização do nitrocálcio (Figura 2). Quando a fonte aplicada é o nitrocálcio, o N que é disponibilizado para o feijoeiro está na forma nítrica; entretanto, quando a fonte é a uréia, inicialmente ocorre a formação de NH₄⁺, que pode ser absorvido ou, em seguida, ser convertido em nitrato, mediante a ação de bactérias do solo (*Nitrosomonas* sp. e *Nitrobacter* sp.), passando então a ser absorvido pela planta sob essa forma (Luchese et al., 2001).

Segundo Gashaw & Mugwira (1981), o maior suprimento de amônio em relação ao nitrato tem acarretado aumento nos teores de P e S e redução nos de K, Ca e Mg. Todavia, no presente trabalho, os teores de P nas folhas não foram afetados pelas fontes e doses de N estudadas (Figura 2). A aplicação de N na

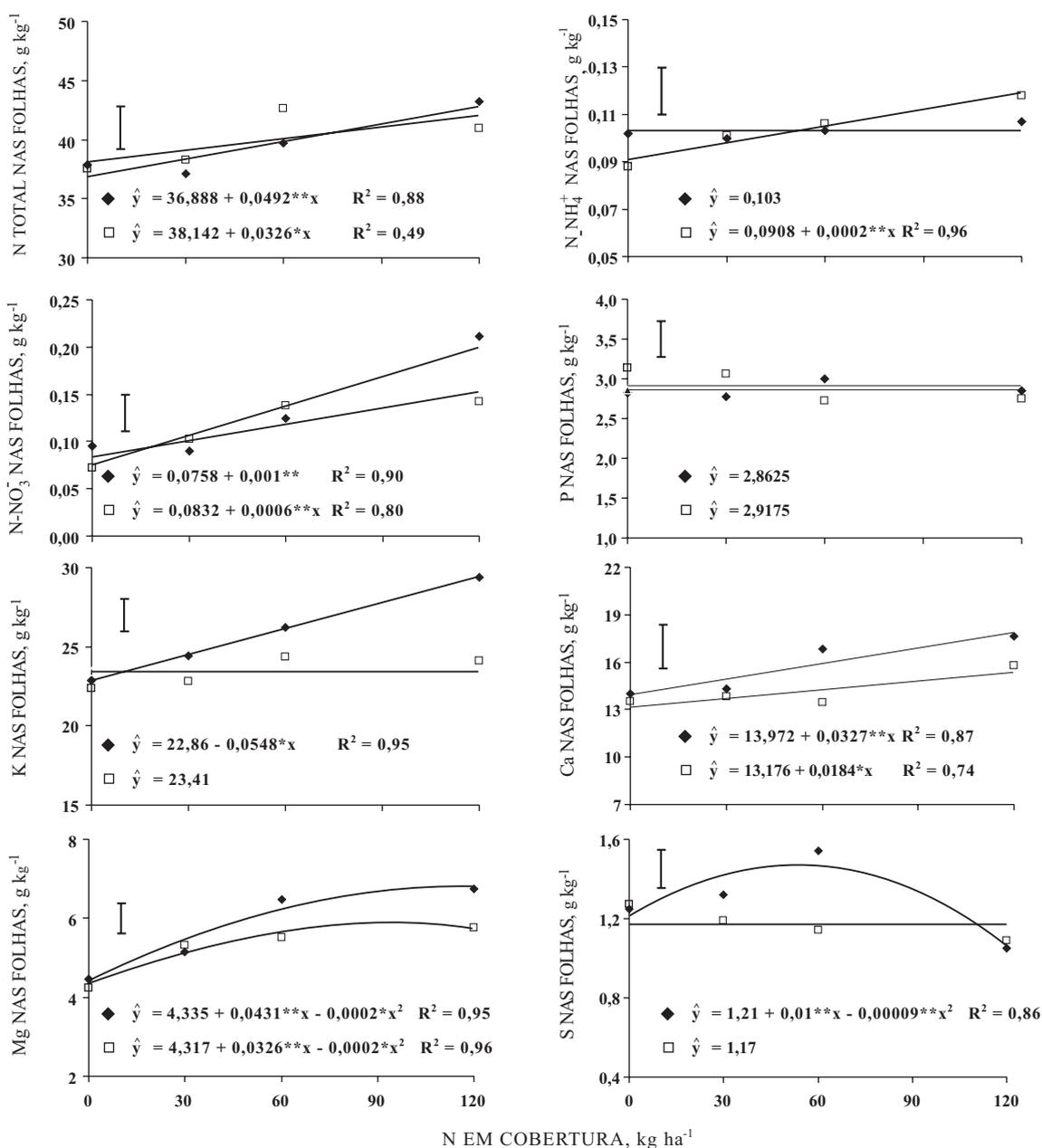


Figura 2. Teores de N total, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nas folhas do feijoeiro em função de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, utilizando como fonte nitrocalcário (◆) ou uréia (□). * e **: significativos a 5 e 1 % pelo teste t, respectivamente. Barras verticais indicam o valor de DMS a 5 %.

forma de nitrato (nitrocalcário) aumentou o teor de K nas folhas do feijoeiro, porém a aplicação de uréia não influenciou a absorção desse nutriente. Tanto o nitrocalcário quanto a uréia incrementaram os teores de Ca e Mg nas folhas. Contudo, verificaram-se maiores teores de Ca e Mg quando da aplicação de nitrocalcário. Além de o nitrocalcário possuir em sua constituição baixa quantidade de Ca e Mg, o fornecimento de N na forma de nitrato promove maior absorção dessa forma do nutriente e, conseqüentemente, de

nutrientes catiônicos (Kirkby & Knight, 1977). Esse mecanismo é utilizado pelas plantas e ocorre em razão da necessidade de manutenção do equilíbrio de cargas dentro das células da planta.

A aplicação de N, utilizando como fonte o nitrocalcário, até a dose estimada de 56 kg ha⁻¹ aumentou os teores de S nas folhas do feijoeiro (Figura 2). No entanto, doses acima desse valor levaram a decréscimo nos teores desse nutriente, devido, provavelmente, à maior competição pelos sítios

de absorção. A aplicação de uréia não afetou a absorção de $S-SO_4^{2-}$ pelo feijoeiro, em virtude da menor competição pelos sítios de troca, uma vez que a maior parte do N no solo, proveniente da uréia, se encontrava na forma amoniacal. Essa explicação é respaldada considerando o período entre a aplicação e a amostragem de folhas para diagnose foliar, que foi de apenas 19 dias, ou seja, provavelmente tempo insuficiente para transformação do N da uréia em $N-NO_3^-$. Contudo, é importante destacar que em todos os tratamentos os teores de S nas folhas estavam inferiores aos considerados adequados para o desenvolvimento do feijoeiro, que são de 2,0 a 3,0 $g\ kg^{-1}$ (Ambrosano et al., 1996), indicando que a obtenção de maior produtividade pode ter sido limitada pela deficiência do nutriente.

A massa de matéria seca da parte aérea foi incrementada com a aplicação de N, independentemente da fonte utilizada (Figura 3). O aumento da matéria

seca da parte aérea, provavelmente, está relacionado com o maior teor de N total nas folhas (Figura 2) proporcionado pelas maiores doses de N aplicado, pois esse nutriente aumenta o teor de clorofila (Soratto et al., 2004), o nível de crescimento e o índice de área foliar e, conseqüentemente, os níveis de fotossíntese líquida, resultando em maior acúmulo de matéria seca (Marschner, 1995). Soratto et al. (2001) também verificaram aumento da massa de matéria seca do feijoeiro cultivado em sucessão a gramíneas, em plantio direto, em função da aplicação de N em cobertura.

A fonte utilizada não influenciou o número de vagens por planta (Figura 3). No entanto, esse componente da produção aumentou linearmente com a elevação das doses de N, semelhante ao constatado na matéria seca da parte aérea. Esse resultado é justificado pelo fato de que plantas maiores e com maior quantidade de ramificações produzem maior número de estruturas reprodutivas (Portes, 1996). Assim, no

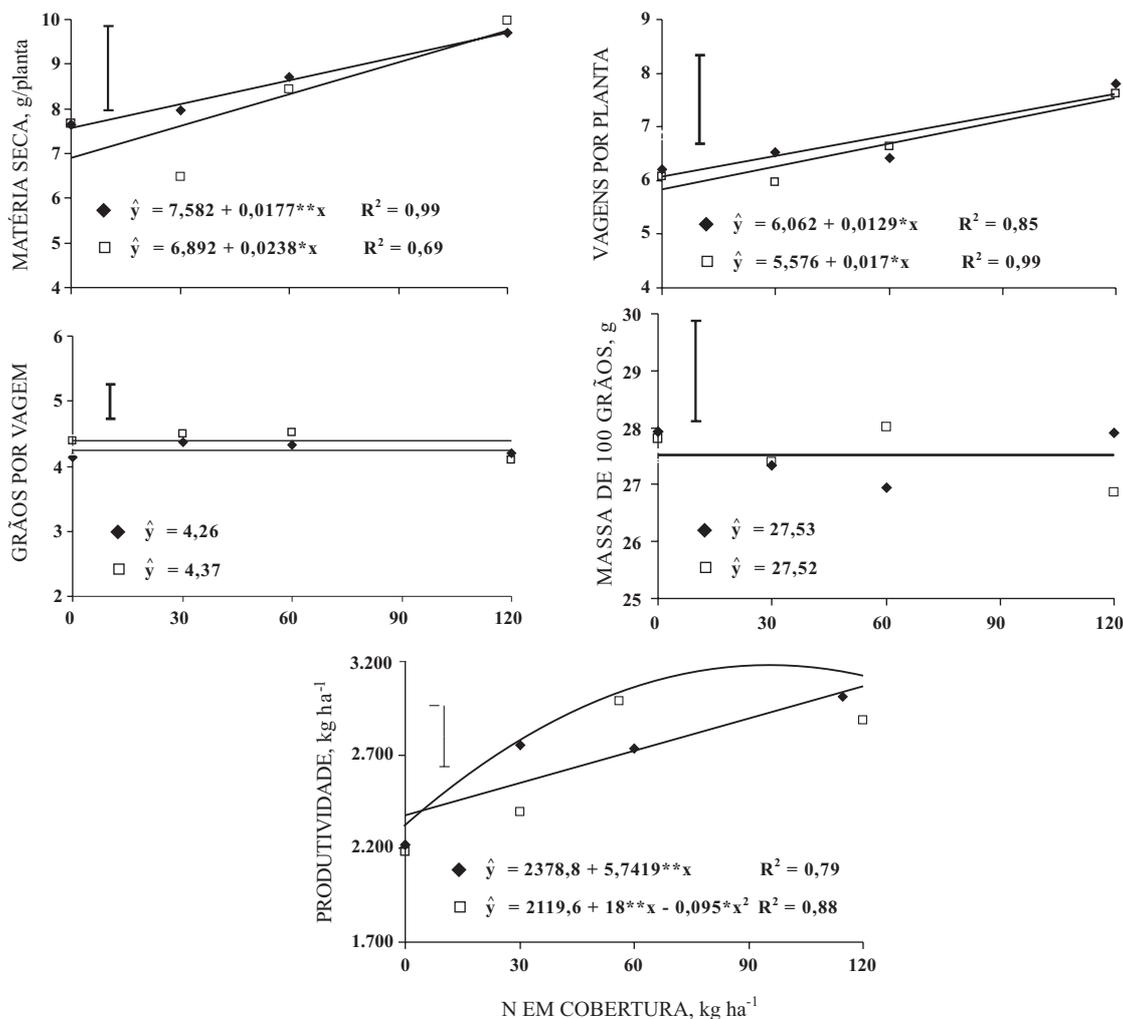


Figura 3. Massa de matéria seca da parte aérea, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos e produtividade de grãos do feijoeiro em função de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, utilizando como fonte nitrocalcio (♦) ou uréia (□). * e **: significativos a 5 e 1 % pelo teste t, respectivamente. Barras verticais indicam o valor de DMS a 5 %.

presente trabalho, verificou-se alta correlação ($r = 0,70^{**}$) entre essas duas variáveis.

Não houve efeito dos fatores estudados sobre o número de grãos por vagem (Figura 3). Isso pode ser explicado pelo fato de ser essa uma característica de alta herdabilidade e pouco influenciada pelo ambiente (Andrade et al., 1998). A massa de 100 grãos também não foi afetada pelos tratamentos, confirmando que essa é a característica que apresenta a menor variação percentual, em função das alterações do meio. Assim, em condições adversas, a planta de feijão preferencialmente formará poucos grãos nas vagens fixadas, em vez de vários e mal formados. Segundo Silva (2002) e Soratto et al. (2004), a aplicação de N não causa grande variação no número de grãos por vagem e na massa de 100 grãos.

A aplicação de N na forma de nitrocálcio proporcionou aumento linear na produtividade de grãos do feijoeiro, indicando que mesmo a aplicação de 120 kg ha^{-1} de N não foi suficiente para que a cultura atingisse a máxima produtividade (Figura 3). Mediante a figura 1, verifica-se que após a aplicação do adubo nitrogenado não ocorreu grande intensidade de chuvas, o que provavelmente tornou as perdas por lixiviação pequenas ou quase nulas, principalmente pelo alto teor de argila que contém o solo da área experimental.

A aplicação de uréia, apesar de ter promovido aumento linear na massa de matéria seca da parte aérea das plantas (Figura 3) e no número de vagens por planta, provocou incremento na produtividade de grãos até a dose estimada de 95 kg ha^{-1} de N (Figura 3). Assim, a aplicação de doses elevadas de N na forma de uréia não promoveu aumentos na produtividade, o que provavelmente está associado não à volatilização da uréia, e sim ao acúmulo linear de N-NH_4^+ nas folhas do feijoeiro, proporcionado por essa fonte (Figura 2), fato que não teria ocorrido se tivesse havido altas taxas de volatilização. Vale et al. (1998) relataram que plantas de feijoeiro supridas com N, predominantemente na forma amoniacal, têm redução no crescimento e, conseqüentemente, na produtividade – fato esse atribuído à acidificação da rizosfera e à menor absorção de Ca, Mg e K, provocada pelo amônio, o que não foi constatado no presente estudo. Além disso, a rápida assimilação de amônio pode, também, afetar seriamente o crescimento, a menos que a planta tenha elevado suprimento de carboidratos. Todavia, vale destacar que praticamente não houve diferença de produtividade quando foi utilizado o nitrocálcio ou a uréia, demonstrando eficiência semelhante das duas fontes para o fornecimento de N em cobertura para o feijoeiro no sistema plantio direto, pois em todos os tratamentos foram obtidas produtividades acima de 2.200 kg ha^{-1} , consideradas excelentes para o cultivo na época “da seca”, sem utilização de irrigação. Soratto et al. (2001), Silva (2002) e Carvalho et al. (2003), no sistema plantio direto, obtiveram resposta linear da produtividade até a dose máxima estudada: 100, 140

e 150 kg ha^{-1} de N, respectivamente, aplicado na forma de uréia.

Os resultados evidenciam que há elevada demanda de N pelo feijoeiro quando cultivado no sistema plantio direto em sucessão a gramíneas, conforme observado por Bordin et al. (2003), Soratto et al. (2004) e Silveira et al. (2005). Essa maior demanda se justifica pela quantidade insuficiente do nutriente que o solo fornece às plantas, resultado da intensa imobilização de N pelos microrganismos e, conseqüentemente, da menor disponibilidade do nutriente, principalmente, na fase inicial do desenvolvimento do feijoeiro, o que corrobora os relatos de Ceretta et al. (2002).

CONCLUSÕES

1. A aplicação de doses elevadas (120 kg ha^{-1}) de N em cobertura, na forma de nitrocálcio, promoveu maior absorção de nitrato, K, Ca e Mg pelo feijoeiro cultivado no sistema plantio direto, comparado com a aplicação de uréia.

2. A adubação nitrogenada em cobertura proporcionou aumento da produtividade do feijoeiro cultivado sob sistema plantio direto, em sucessão a aveia-preta, até a dose estimada de 95 kg ha^{-1} de uréia.

LITERATURA CITADA

- AITA, C.; BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; GONÇALVES, C.N. & DA ROS, C.O.C. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. R. Bras. Ci. Solo, 25:157-165, 2001.
- AMBROSANO, E.J.; TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. & CANTARELA, H. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo e Fundação IAC, 1996. p.189-203. (Boletim Técnico, 100).
- 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. Ci. Agrotec., 22:499-508, 1998.
- BARBOSA FILHO, M.P. & SILVA, O.F. Adubação de cobertura do feijoeiro irrigado com uréia fertilizante em plantio direto: Um ótimo negócio. Inf. Agron., 93:1-5, 2001.
- BASSAN, D.A.Z.; ARF, O.; BUZZETTI, S.; CARVALHO, M.A.C.; SANTOS, N.C.B.; SÁ, M.E. & GUERREIRO NETO, G. Inoculação de sementes e aplicação de nitrogênio e molibdênio na cultura do feijão de inverno: produção e qualidade fisiológica de sementes. R. Bras. Sementes, 23:76-83, 2001.
- BELTRANO, J.; RONCO, M.G.; BARREIRO, R. & MONTALDI, E.R. Plant architecture of *Paspalum vaginatum* Schwartz modified by nitrate and ammonium nutrition. Pesq. Agropec. Bras., 34:1159-1166, 1999.

- BORDIN, L.; FARINELLI, R.; PENARIOL, F.G. & FORNASIERI FILHO, D. Sucessão de cultivo de feijão-arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em semeadura direta. *Bragantia*, 62:417-428, 2003.
- CANTARELLA, H.; CORRÊA, L.; PRIMAVESI, A.C.; FREITAS, A.R. & SILVA, A.G. Ammonia losses by volatilization from coastcross pasture fertilized with two nitrogen sources. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., São Pedro, 2001. Proceedings. Piracicaba, FEALQ, 2001. p.190-192.
- CARVALHO, M.A.C.; FURLANI JÚNIOR, E.; ARF, O.; SÁ, M.E.; PAULINO, H.B. & BUZETTI, S. Doses e época de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:445-450, 2003.
- CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; HERBES, M.G.; POLETTI, N. & SILVEIRA, M.J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. *Ci. Rural*, 32:49-54, 2002.
- COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C. & CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:631-637, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Brasília, 1997. 212p. (Documentos, 1)
- GASHAW, L. & MUGWIRA, L.M. Ammonium-N and nitrate-N effects on the growth and mineral compositions of triticale, wheat, and rye. *Agron. J.*, 73:47-51, 1981.
- KIRKBY, E.A. & KNIGHT, A.H. Influence of the level of nitrate nutrition on ion uptake and assimilation, organic acid accumulation, and cation-anion balance in whole tomato plants. *Plant Physiol.*, 60:349-353, 1977.
- LARA CABEZAS, W.A.R. & YAMADA, T. Uréia aplicada na superfície do solo: Um péssimo negócio! *Inf. Agron.*, 86:9-10, 1999.
- LEMO, L.B.; FORNASIERI FILHO, D.; CAMARGO, M.B.; SILVA, T.R.B. & SORATTO, R.P. Inoculação de rizóbio e adubação nitrogenada em genótipos de feijoeiro. *Agronomia*, 37:27-32, 2003.
- LUCHESE, E.B.; FAVERO, L.O.B. & LENZI, E. Fundamentos da química do solo. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 2001. 182p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1997. 319p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press, 1995. 889p.
- MEIRA, F.A.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S. & ARF, O. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 40:383-388, 2005.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. 4.ed. Bern, International Potash Institute, 1987. 655p.
- OLIVEIRA, I.P.; ARAÚJO, R.S. & DUTRA, L.G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F. & ZIMMERMANN, M.J.O., coords. Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba, Potafos, 1996. p.169-221.
- PORTES, T.A. Ecofisiologia. In: ARAÚJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F. & ZIMMERMANN, M.J.O., coords. Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba, Potafos, 1996. p.101-137.
- PRIMAVESI, A.C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L.A.; CANTARELLA, H. & SILVA, A.G. Absorção de cátions e ânions pelo capim-coastcross adubado com uréia e nitrato de amônio. *Pesq. Agropec. Bras.*, 40:247-253, 2005.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 284p.
- SANTOS, A.B.; FAGERIA, N.K.; SILVA, O.F. & MELO, M.L.B. Resposta do feijoeiro ao manejo de nitrogênio em várzeas tropicais. *Pesq. Agropec. Bras.*, 38:1265-1271, 2003.
- SILVA, A.J. Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) à adubação nitrogenada. Lavras, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1988. 85p. (Tese de Mestrado).
- SILVA, T.R.B. Adubação nitrogenada e resíduos vegetais no desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em sistema plantio direto. Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2002. 56p. (Tese de Mestrado).
- SILVA, T.R.B.; SORATTO, R.P.; CHIDI, S.N.; ARF, O.; SÁ, M.E. & BUZETTI, S. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do feijoeiro de inverno. *Cult. Agron.*, 9:1-17, 2000.
- SILVEIRA, P.M.; BRAZ, A.J.B.P.; KLIEMANN, H.J. & ZIMMERMANN, F.J.P. Adubação nitrogenada no feijoeiro cultivado sob plantio direto em sucessão de culturas. *Pesq. Agropec. Bras.*, 40:377-381, 2005.
- SORATTO, R.P.; CARVALHO, M.A.C. & ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. *Pesq. Agropec. Bras.*, 39:895-901, 2004.
- SORATTO, R.P.; SILVA, T.R.B.; ARF, O. & CARVALHO, M.A.C. Níveis e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado em plantio direto. *Cult. Agron.*, 10:89-99, 2001.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J. & BOHNEN, H. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 188p. (Boletim Técnico, 5).
- VALE, F.R.; GUAZELLI, E.M.F.; FURTINI NETO, A.E. & FERNANDES L.A. Cultivo do feijoeiro em solução nutritiva sob proporções variáveis de amônio e nitrato. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:35-42, 1998.
- WIESLER, F. Agronomical and physiological aspects of ammonium and nitrate nutrition of plants. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 160:227-238, 1997.